

АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ СУДНОВОДІННЯ

Допущено науково-методичною комісією Міністерства освіти і науки України з судноводіння у вигляді підручника для морських академій

Київ

Видавництво «КВІЦ» 2000 р.

ББК 39.475 я73 В12

Вагущенко Л. Л., Кошовий А. А. Автоматизовані комплекси судноводіння Підручник для морських академій.—Видавництво "КВІЦ", Київ, 2000 292с.

В підручнику приводяться основні поняття про наукові методи, які використовуються при обробці інформації і управлінні рухом в бортових автоматизованих засобах та комплексах судноводіння, розглядають принципи побудови і структури локальних і комплексних автоматизованих систем судноводіння.

Підручник призначений для курсантів морських академій.

Іл. 59,табл. 15, бібл. 33.

Рецензенти: д.т.н. проф. Аксютін Л.Р., д.т.н. проф. Сізов В.Г.

ISBN 966-7192-24-5

©Видавництво "КВІЦ", 2000

ВСТУП

Сучасний етап у розвитку мореплавства характеризується підвищенням рівня автоматизації судноводіння. Цей процес має об'єктивні передумови. З одного боку, він диктується необхідністю підвищення ефективності експлуатації суден і безпеки плавання в умовах судноплавства, що ускладнюються; з Іншого боку, він визначається бурхливим прогресом розвитку електроніки і, в першу чергу, мікропроцесорної інформаційної техніки.

Автоматизація процесів судноводіння виконується в декількох напрямках, основні із них:

- використання мікропроцесорів у традиційних морських приладах для підвищення якості вимірювань і реалізації додаткових можливостей (створення: цифрових гірокомпасів, електронних магнітних компасів з нерухомим чутливим елементом, біноклів і підзорних труб з вмонтованим електронним магнітним компасом, що дозволять визначати пеленг і дистанцію по вертикальному куту, і т.д.);
- утворення автоматизованих прийомоіндикаторів радіонавігаційних систем з вмонтованими ЕОМ для обробки результатів вимірювань і рішення додаткових задач;
- опрацювання спеціалізованих "кишенькових" мікро-ЕОМ для рішення певних типів задач: астрономічних, попереднього обчислювання припливно-відпливних явищ і т.д.;
- застосування персональних ЕОМ для обробки навігаційних даних, рішення експлуатаційно-технічних задач, ведення діловодства;
- опрацювання автоматизованих систем локального типу для рішення певного класу задач судноводіння (системи: навігації, електронної картографії, попередження сутічок, управління рухом, реєстрації даних та ін..);
- утворення бортових комплексних автоматизованих систем, що забезпечують автоматизацію всіх задач судноводіння з урахуванням їх взаємозв'язків.

Ці системи одержали назву автоматизованих комплексів судноводіння.

Різноманітність напрямків дозволяє задовольнити існуючі вимоги до устаткування суден різноманітних типів засобами автоматизації судноводіння і потребу в них користувачів, враховуючи їх можливості і певні бажання. Найбільший ефект від автоматизації досягається по останньому напрямку за рахунок:

- комплексної автоматизації операцій зберігання, пошуку, обробки інформації та управління судном з використанням передових наукових методів і сучасної інформаційної техніки;
- об'єднання різноманітних частин судноводіння (навігації, лоції, попередження сутічок, управління рухом, забезпечення морехідності, гідрометеорології, картографії та ін.), як взаємопов'язаних сторін єдиного процесу;
- надання судноводію можливості прийняття рішень на основі інтегрального наочного зображення оперативної обстановки в районі плавання з відображенням всіх її істотних сторін і параметрів;
- виробітку стратегій функціонування і рішень, що враховують всі сторони процесу судноводіння. Автоматизація процесу судноводіння є невід'ємною складовою автоматизації судових виробничих процесів. Тому засоби автоматизації судноводіння повинні розглядатися і як елементи багатфункціонального комплексу автоматизованих систем управління судовими установками і технічними засобами, що забезпечує в цілому

функціонування судна як автономного організму. Ефективність роботи судна і безпека плавання залежать від міри ефективності і узгодженості роботи усіх автоматизованих систем, що входять у багатофункціональний комплекс. Це зумовило необхідність об'єднання обчислювальних машин, що працюють у судових інформаційних, керуючих і інформаційно-керуючих системах, в єдину локальну мікропроцесорну мережу, центр управління якої знаходиться на головному командному пункті судна—на мостіку. Таке об'єднання всіх автоматизованих систем, що знаходяться на судні, дозволяє підвищити безпеку плавання за рахунок реалізації можливостей оперативного контролю на мостіку за станом головної енергетичної установки, допоміжних механізмів, судових технічних засобів, запасів і інших елементів, які витрачаються в будь-який час доби, що необхідно для забезпечення можливості швидкого прийняття обґрунтованих рішень в складних ситуаціях. Управління судовими установками і технічними засобами безпосередньо з мостіка, обминаючи обслуговуючий ці засоби персонал, підвищує швидкість відпрацювання рішень, що приймаються, від чого в складних умовах залежить безпека судна.

Запропонована читачеві книга містить систематичний виклад предмету "Автоматизовані комплекси судноводіння". Основне призначення цієї книги —дати майбутньому судноводію теоретичну базу для компетентного і ефективного використання бортових засобів автоматизації судноводіння.

І. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУДНОВОДІННЯ

1.1. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРОЦЕС, ЙОГО ЦІЛІ, ЗАДАЧІ

Автоматизація операцій, що виконуються штурманським складом у процесі переходів, забезпечує детальний аналіз процесу судноводіння, в якому в Першу чергу повинні бути конкретизовані основна ціль цього процесу, склад їх ід них у нього завдань і їх цілі, можливість і доцільність рішення кожного ні планування за допомогою засобів автоматизації, переважні методи рішень. Як ні лом о, під судноводінням звичайно мають на увазі процес проведення судна і порту відходу в порт призначення, чи, іншими словами, процес виконання цілішого переходу. Основну ціль судноводіння для вантажних суден можна ми кінчити як: виконання заданого переходу в найкоротший чи заданий термін, забезпечення безпеки судна і вантажу, мінімуму витрати енергоресурси. Успішність досягнення цілей судноводіння визначається ефективністю обраної перед переходом початкової стратегії (плану, програми) його викопні їм я, якістю корегування цієї стратегії в процесі переходу, коли це вимагаєтєся умовами плавання, ефективністю реалізації наміченого плану.

У процесі судноводіння звичайно виділяються наступні основні локальні задачі: навігаційного і експлуатаційного планування переходу (складання його програми) для найбільш імовірного прогнозу умов; корекції початкового навігаційного плану в процесі рейсу при істотній відміні умов від їх прогнозу, використаного при розробці початкового плану; спостереження за навколишніми обставинами; навігації; розходження з суднами; управління рухом, відображення і реєстрації даних процесу судноводіння. Для допоміжних суден вирішується своє коло характерних завдань судноводіння, наприклад, для криголамів додатково до перелічених задач вирішуються задачі: прокладання каналу в

льоду; проведення суден у каравані по каналу, околка суден, що проводяться, буксирування суден впритул. Розглянемо склад основних локальних задач і цілі, що переслідуються при їх рішенні.

НАВІГАЦІЙНЕ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕХОДУ І ПРОГНОЗ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ. До завдань планування переходу відносяться: вибір маршруту слідування, розрахунок його елементів, визначення режимів контролю і управління для ділянок маршруту, попередня оцінка безпеки руху по обраному шляху. Комплекс задач з оцінювання безпеки наступного плавання включає в себе прогнози: точності навігації і судноводіння; безпеки плавання в стиснених водах і в штормових умовах та ряд інших.

Оцінка безпеки наміченого переходу для відкритого моря полягає в оцінюванні морехідних якостей для штормових умов. Оцінка безпеки плавання по наміченому маршруту в стиснених водах включає в себе: оцінку траєкторій руху судна на повороті і параметрів повороту, відстані до точки перетину курсів, в якій слід почати поворот, ширини смуги руху для різноманітних умов плавання; оцінку точності місцезнаходження; розрахунок впливу мілководдя на осадку і швидкість судна, розрахунок припливно- відпливних явищ і інших величин.

Вибір плану переходу пов'язаний з необхідністю ознайомлення з великою інформацією по районах переходу і з її проробкою. Основними цілями цього завдання є: знаходження найкращого плану виконання переходу, скорочення до мінімуму часу, витраченого на його складання (пошук і обробку даних, здійснення прогнозування, реєстрацію і відображення результатів). Ефективність рішення цього завдання істотно залежить від досвіду судноводія! тому остаточне рішення з цього питання приймає капітан судна.

КОРЕКЦІЯ ПЛАНУ ПЕРЕХОДУ В ПРОЦЕСІ РЕЙСУ. Найбільш частою причиною корекції обраного плану переходу в процесі рейсу є виникнення штормових умов на шляху слідування і необхідність у зв'язку з цим зміни маршруту і для забезпечення безпеки судна і вантажу. З хвилюванням і хитаннями судна пов'язані несприятливі для судна явища, такі як заливаємість, слемінг, збільшення навантаження на корпус, погіршення режиму гребного гвинта, погіршення стійкості, збільшення опору руху судна і ряд інших. Ці явища можуть бути небезпечними для судна, вантажу і впливати на економічні показники; рейсу. Завдання корекції плану переходу полягає у визначенні зон, в яких перелічені несприятливі явища стають небезпечними або мають місце, і в виборі найкращого маршруту на основі прогнозів полів хвилювання і даних про морехідні якості судна. Найкращим, звичайно, вважається маршрут, при слідуванні по якому забезпечується безпека судна і вантажу і час якого мінімальний.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ І ОКОМІРНА ОЦІНКА. Однією з важливих складових частин процесу судноводіння є спостереження за навколишніми обставинами з метою своєчасного виявлення зустрічних суден, предметів, що плавають (крижин, айсбергів, рибальських сітей та ін. об'єктів), які можуть! представляти небезпеку для судна, а також небезпечних гідрометеорологічних явищ (смерчів, шквалів і т.д.). Спостереження буває візуальним (неозброєним оком і за допомогою оптичних засобів) і радіолокаційним. Воно має! бути постійним. Результати спостереження досить часто є основою рішень, що приймаються судноводієм. При плаванні в вузькостях, наприклад, управління рухом судна проводиться на основі

окомірної оцінки положення судна. Безперечно, такий спосіб судноводіння вимагає наявності у судноводія достатньо великого досвіду плавання.

Утворення автоматичних засобів, що забезпечують надійне в повному обсязі виконання задачі спостереження, на цьому етапі ускладнено, що є однією з причин необхідності безпосередньої участі людини в процесі судноводіння.

З появою автоматизованої ідентифікаційної системи (системи автоматичного розпізнавання (AIS)) згідно з резолюцією ІМО MSC.74(69) з'являється можливість одержувати в зоні дії УКХ по кожному судну декілька видів інформації: навігаційної, пов'язаної з судном і керуванням рухом.

ЗАДАЧА ОПЕРАТИВНОЇ НАВІГАЦІЇ полягає в здійсненні контролю за положенням судна і елементами його руху і включає ряд додаткових заходів, таких як визначення поправок навігаційних вимірювальних приладів. Основні цілі поточної навігації: визначення елементів руху судна з точністю, не гірше необхідної, при мінімальних витратах часу на визначення. Сучасні вимоги до точності навігації затверджені резолюцією ІМО. Основною характеристикою точності навігації згідно з цією резолюцією є фігура похибок з ймовірністю 95%. Цією фігурою може бути або еліпс, одержаний шляхом збільшення середнього квадратичного еліпса похибок в 2.5 рази, *иГн*) коло похибки, радіус якого вдвічі більший радіальної середньої квадратичної похибки місця судна. Згідно з вимогами ІМО місце судна повинно бути відоме з наступною точністю: в районах, в яких обмежена свобода маневру судна, на підходах до гаваней і на вході до них необхідна точність писання визначається місцевими умовами; в інших водах похибка місця судна з ймовірністю 95% не повинна перевищувати 4% відстані до ближчої навігаційної небезпеки. Максимальне значення цієї похибки не повинно перевищувати 4 милі.

Вимоги до інтервалу часу між обсерваціями для суден, які обладнані ГК І підносними лагами і здійснюють плавання з урахуванням інформації про течію і дрейф, приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Необхідні інтервали часу між обсерваціями (в хвилинах)

Мінімальна відстань до небезпеки (милі)	Необхідна точність координат (милі)	Похибка останньої обсервації					
		0,1	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0
10	0.4	12	12	9	—	—	—
20	0.8	28	28	27	22	—	—
30	1.2	48	48	47	44	27	—
40	1.6	72	72	71	68	56	—
50	2.0	100	100	99	97	87	—
60	2.4	132	132	131	129	120	73
70	2.8	168	168	167	165	157	118
80		208	208	207	206	198	162
90	3.6	252	252	251	250	242	210
100	4.0	300	300	300	298	291	260

При плаванні поблизу небезпек крім оцінок точності при оцінці ефективності судноводіння повинні враховуватися і показники надійності навігації, призначення яких полягає в одержанні кордонів області гарантованого знаходження в ній судна. Характеристики надійності повинні враховувати можливу відміну точності вимірювань навігаційних параметрів від тієї, що приймається при оцінці, і можливий неординарний вплив збурюючих чинників. Частіше всього ці кордони одержують, виходячи з принципу гарантовано результату, що засновується на аналізі максимальних похибок.

МЕТОЮ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА ПО ОБРАНОМУ МАРШРУТУ вибір найкращої стратегії рішення поставлених задач управління і точна та своєчасна реалізація цієї стратегії. В управлінні рухом судна по маршруту звичайно виділяють задачі стабілізації курсу та стабілізації на траєкторії (управління боєвим зміщенням і управління рухом на повороті). Ефективність рішення цих задач залежить від якості рішення навігаційної задачі, точності прогнозування руху ряду інших чинників. Про неї судять по мірі безпеки і величині витрат, що виникають при управлінні, зокрема, через збільшення опору руху судна і пройдену нив відстань. При плаванні по відрізьку маршруту якість стабілізації курсу звичайне! мало залежить від управління боковим зміщенням, тому ефективність рішення першого завдання звичайно розглядається без урахування другого.

Ефективність стабілізації курсу характеризується поліпшенням ходових якостей, що приводить до скорочення часу переходу. Основним показником ефективності стабілізації є величина швидкості судна при заданій постійній потужності силової установки. Проте поки що немає можливості оцінити цей показник. Тому якість стабілізації курсу оцінюють за непрямыми величинами, що впливають на швидкість судна і доступні вимірюванню. Основними чинниками, що викликають зменшення швидкості судна при стабілізації курсу на тихій воді, інерційне гальмування, опір руху від перекидаю стерна і подовження шляху, що викликається зміщеннями центру маси судна з лінії шляху при ризиканні.

Інерційне гальмування полягає в збільшенні опору подовжньо переміщенню судна через зростання приєднаної маси при накладенні це переміщення обертання корпусу судна відносно вертикальної осі. Котра через інерційне гальмування зростають при збільшенні амплітуди і шви, кості ризикання. Гальмуюча дія стерна пропорційна величині кута йог перекидаю і часу знаходження у відхиленому положенні. Відносно положення шляху судна при ризиканні пропорційно дисперсії відхилення вектора швидкості судна від заданого напрямку руху. У порівнянні з двома першими чинниками при стабілізації курсу цим можна знехтувати. В умовах хвилювання втрати в швидкості ходу, крім викликаних хвилювим он ром, виникають через перекидаю стерна у відповідь на хвилюве ризикання і обумовлений ним додатковий опір від стерна і інерційного гальмування. Дозвіл судну вільно ризикати з частотою хвилювого руху приводить д менших енергетичних втрат і меншого зносу стернової машини, ні безупинна контрдія стерна хвилювому ризиканню.

Виходячи з вище згаданого, пристрій стабілізації судна на курсі вважається ефективним, коли він забезпечує утримання судна на курсі з високо точністю малими і рідкими перекидаю стерна.

Розглянемо питання ефективності виконання поворотів. При рішенні задач судноводіння повороти судна необхідно здійснювати по різному: з певною кривизною траєкторії, без істотного падіння швидкості ходу, з заданою перекидаю стерна, в найкоротший термін. Основні цілі цього завдання та-мім чином полягають у виборі

найкращого плану виконання повороту і в забезпеченні своєчасного і точного виконання цього плану. Загальні вимоги до виконання поворотів можуть бути сформульовані наступним чином:

- на лінію нового курсу судну слід приходити з заданою точністю з малим ієрегулюванням чи без нього;
- її процесі повороту неприпустимий вихід судна за межі судноплавної частини фарватеру;
- по можливості в процесі зміни курсу не треба допускати істотного падіння швидкості ходу через значну кутову швидкість повороту;
- поворот повинен виконуватися малим числом переключень стерна.

Коли в районі плавання судна немає близьких небезпек, поворот повинен виконуватися без істотного падіння швидкості ходу, що досягається уповиненною зміною курсу. При виборі критерію якості для району, що розглядається, слід виходити з того, що тут найкращим, мабуть, є мінімальний: виконання повороту з максимальною кутовою швидкістю, при якій вели на падіння швидкості ходу залишається допустимою.

Для здійснення поворотів у вузьких і стиснених водах засіб повороту повинен забезпечувати безпечну траєкторію руху судна при зміні курсу і мінімум втрати швидкості ходу. Критерієм якості виконання поворотів у цьому випадку є міра близькості дійсної траєкторії руху судна до наміченої.

При виникненні безпосередньої небезпеки при розходженні суден, або щоб уникнути сутички з перешкодою, що з'явилася по курсу (плавучими крижинами, предметами і мілинами), виробляється одворот на заданий кут у найкоротший термін. Треба визнати, що забезпечити надійне виконання цього завдання в складних умовах за допомогою засобів автоматики поки що скрутно.

Ефективність управління боковим зміщенням при плаванні по маршруту полягає в досягненні необхідної безпеки і максимальної швидкості руху при постійній потужності енергетичної установки, що забезпечується **ВИСОКІЙ**) точністю судноводіння і малою інтенсивністю порушень корегуваннями курсу режиму роботи системи кутової стабілізації. Про ефективність плавання по обраному маршруту можна судити на основі аналізу властивостей векторної похибки, що становить відхилення дійсної траєкторії руху судна від заданого маршруту. Проведення судна по маршруту є ефективним, коли величина траєкторної похибки мала і зміна її з часом мала, повільна, тобто M_y задана точність і безпека руху досягаються малими і рідкими підправленнями курсу. В цей час основним із показників точності плавання по маршруту є 95% величина траєкторної похибки. Траєкторна похибка $Y(i)$ в загальному випадку може бути представлена у вигляді математичного чекання (статистичної похибки) M_y і центрованої величини Дисперсія похибки $Y(t)$ знаходиться за формулою

$$D = D_y + M_y^2;$$

де D_y — дисперсія $Y_u(t)$. Показниками плавності зміни траєкторної похибки є дисперсія швидкості бокового зміщення, або дисперсія відхилення шляхового кута від заданого напрямку руху. Ці показники пов'язані залежністю

$$D_{vy} = D_{yu} V^2;$$

де V — шляхова швидкість.

Основними показниками навігаційної надійності проведення судна звичайно служать або оцінка середньої кількості N викидів траєкторної похибки за певний рівень γ в

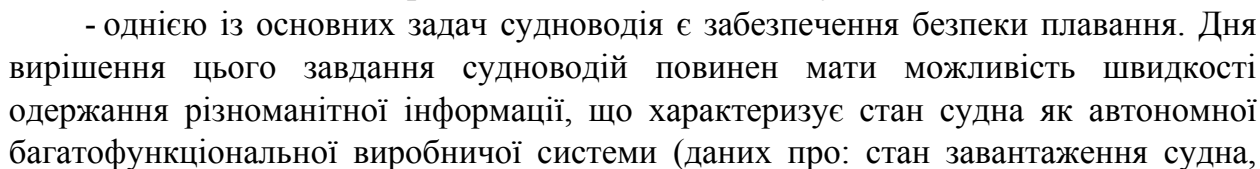
одиницю часу, або імовірність P того, що за заданий проміжок часу не станеться жодного виходу траєкторної похибки за межі $+r$, $-r$ встановленої ходової смуги. Таким чином, пристрій управління боковим зміщенням є ефективним, коли необхідна точність стабілізації судна на лінії шляху досягається малими і рідкими корегуваннями системи кутової стабілізації по курсу.

ЗАВДАННЯ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН полягає в своєчасному виявленні зустрічних суден, визначенні їх елементів руху, аналізі ситуації зближення, виборі стратегії на розходження і її реалізації, поверненні до попереднього шляху руху. Ефективність рішення першої задачі визначається величиною імовірності виявлення суден на заданій дистанції. Показником якості рішення другого завдання може служити мінімум часу на визначення з необхідною точністю елементів руху зустрічних суден. З запровадженням у практику судноводінні автоматизованої ідентифікаційної системи (AIS), котра потребує установку на судах транспондерів, заявляється можливість додатково до отриманих обчислювальних параметрів руху суден одержувати дійсні значення цих параметрів. Ефективність аналізу ситуації полягає в швидкому виявленні суден, що становлять небезпеку. Показником якості стратегії розходження (з урахуванням повернення до попереднього шляху руху) є її доцільність, своєчасність, безпека мінімум викликаних маневруваннями втрат в часі чи відстані, відповідності МППЗС і добрій морській практиці. Врахувати за допомогою засобів автоматики всі можливі чинники, що впливають на безпеку розходження суден в різноманітних умовах плавання, ускладнено, тому відповідальність за рішення по розходженню, що приймається, повністю в цей час покладено на судноводія

ВІДОБРАЖЕННЯ І РЕЄСТРАЦІЯ ДАНИХ ПРОЦЕСУ СУДНОВОДІННЯ Одним із важливих напрямків підвищення надійності судноводіння є відображення на робочому місці судноводія даних зовнішньої обстановки, картографічної інформації, стану технічних засобів судноводіння, результатів рішення задач оперативної навігації і контролю руху судна на обраному маршруті і реєстрація даних в обсязі "Правил ведення судового журналу" і вимог "Рекомендацій по організації штурманської служби на судах". В судовий журнал, у хронологічному порядку з вказівкою точного часу, заносяться всі дані і події, пов'язані з судноводінням і забезпеченням безпеки судна: обсервовані координати, пеленги і відстані до орієнтирів при визначеннях місця, результати вимірювання глибин, маневри судна з вказівкою зчислимих координат, основані і параметри руху зустрічних суден, моменти включення/виключення технічних засобів судноводіння, умови і результати рішення задач судноводіння, аварійні випадки, їх наслідки і обставини; опис якірних, швартовних і вантажних операцій, а також інших можливих при плаванні подій і обставин.

СКЛАДАННЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ. Завдання складання вантажного плану, хоч і не відноситься до судноводіння, але розглядається тут, бо тісно з ним пов'язане. Від його рішення залежать морехідні властивості судна, його жидкість і керованість, а отже і ефективність судноводіння. За планом завантаження судна враховується ряд важливих вихідних даних, що безпосередньо приймають участь при рішенні задач управління рухом і оцінці безпеки плавання. Тому при плануванні завантаження прагнуть не тільки забезпечити ним краще використання вантажопідйомності і вантажомісткості судна, технологічність навантаження і вивантаження, але і придати судну найбільш сприятливі

- процес судноводіння містить організаційну частину, що полягає в виробі перед переходом і корекції в процесі його виконання програми плавання (узагальнено — стратегії управління); і виконавчу частину, що полягає в виконанні наміченої програми. Звідси випливає, що бортова система судноводіння відноситься до класу так званих систем організаційно-програмного управління;



його стійкість, маневрені і морехідні якості, стан енергетичної установки, допоміжних і інших технічних засобів) і зовнішніх, діючих на безпеку його функціонування, чинників (інформації про навігаційні, гідрографічні і гідрометеорологічні умови плавання; існуючі в районі плавання судна і параметри їх руху, вплив збурюючих чинників на маневрені, морехідні інші властивості судна). Звідси випливає необхідність зв'язку системи судно водіння через радіоканали з зовнішніми джерелами інформації і сполучення її з всіма локальними судновими системами для можливості одержання в і них інформації, необхідної при забезпеченні безпеки судноводіння; — за задачами, що вирішуються, система комплексної автоматизації судно водіння відноситься до класу інформаційно—керуючих систем (ІКС), цю поєднують як принцип централізованого, так і децентралізованого управління в автоматичному і діалоговому режимах, і що забезпечують обробку, інтеграцію, зберігання і передачу великих обсягів інформації, а також класифікацію ситуацій. Особливістю сучасного етапу розвитку ІКС є їх опрацювання у вигляді уніфікованого ряду багатофункціональних ієрархічних модульних систем;

- враховуючи широку спеціалізацію суден транспортного флоту, при їх автоматизації доцільним є виробництво реконфігурованих систем відкритого типу, які легко пристосувати до особливостей задач, що вирішуються на різноманітних типах суден.

1.2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПЛЕКСИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ.

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ (ОПКУ) ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ. Особливістю ряду виробничих задач є залежність програм їх виконання від завдання (наприклад, для судноводіння — від заданого рейсу). Крім того, навіть при одному завданні (для судноводіння — при переході між певними двома портами) програм рішення може бути декілька. Це пов'язане з тим, що для рішення цих задач є багато засобів організації управління, що приводять до досягнення цілі. Задачу управління, що включає в себе як опрацювання програми (плану, стратегії) рішення, так і управління виробничим процесом відповідно до обраної стратегії, будемо звати задачею організаційно-програмного управління. Відповідно і системи, що вирішують такі задачі, називаються нижче організаційно — програмними системами або комплексами управління. Основна відмінність цих комплексів від системи програмного управління полягає в тому, що вони самі складають програму

відповідно до якої змінюються величини, що регулюються. Пристрій, що складає програму для рішення поставленої задачі, нижче називається організаційно — задавальним. ОПКУ звичайно становить сукупність взаємозв'язаних і взаємодіючих систем і пристроїв (елементів ОПКУ). Задачі, що вирішує ОПКУ, будемо називати загальними задачами. Системи, що входять в ОПКУ, і задачі, що вирішуються ними, називаються нижче локальними.

Розрізняють автоматизовані і автоматичні комплекси. До автоматизованих відносять комплекси, які працюють при участі оператора або колективу людей. На відміну від цього автоматичні комплекси функціонують без безпосередньої участі людини. Треба визначити, що в практиці зустрічаються та-також і комбіновані комплекси управління, коли один і той же комплекс в одних **режимах** функціонування є автоматичним, а в інших—автоматизованим.

Задачі, які вирішуються ОПКУ, мають конкретні вхідні дані і цілі. Цілі, якими підпорядковується робота комплексу при рішенні задачі, називаються цілими його функціонування. Організаційно—задавальний пристрій для забезпечення рішення поставленого завдання визначає локальні задачі для вхідних в ОПКУ систем і виробляє керуючі діяння, що передають ці завдання системам. Перелік задач, що повинні виконати локальні системи для досягнення рішення загальної задачі, і графік їх виконання представляють собою програму рішення поставленого перед комплексом завдання.

Якщо рішення поставленої задачі може бути досягнуто при використанні декількох алгоритмів, вони називаються можливими стратегіями управління. При такій особливості в комплексі спочатку вибирається або синтезується найкраща по певному критерію стратегія управління і після цього відповідно до неї одержується рішення. В інших ОПКУ, додатково до функцій, що приведені вище, в процесі виконання завдання при зміні зовнішніх умов змінюється (коректується) і обрана стратегія управління, щоб ефективніше здійснити рішення.

Успішність досягнення системою цілей функціонування звичайно називається ефективністю системи або якістю її роботи. Вираз чи їх сукупність, що дозволяють кількісно оцінити ефективність системи при різноманітних умовах, називається цільовою функцією системи чи загальним критерієм її ефективності (якості). Основний зміст використання цільової функції системи полягає в тому, щоб кількісно, об'єктивно оцінити переваги однієї системи (або однієї стратегії рішення) перед іншою і одержати дані для прийняття рішення. Цілі, успішність яких можна оцінити кількісно, називаються кількісними цілями. Існують системи, ряд цілей функціонування яких кількісно оцінити наданому етапі не представляється можливим (системи і якісними цілями функціонування). При оцінці якості таких систем, крім кількісних показників, необхідно враховувати і не кількісні характеристики. Треба визнати, що процес розвитку систем і дослідження їх роботи часто приводять до можливості заміни якісних цілей кількісними.

Якість роботи ОПКУ в загальному випадку визначається вибором стратегії управління, своєчасним корегуванням її при зміні зовнішніх умов і успішністю реалізації обраної стратегії (відпрацювання елементами системи дій, що задаються). Стратегія рішення задач ІОПКУ, що забезпечує при заданих умовах найкраще значення критерію шості, називається оптимальною по цьому критерію для даних умов. Відповідно оптимальними називаються і алгоритми роботи елементів системи, що забезпечують в процесі функціонування системи найкраще

(за певними критеріями) рішення локальних задач, передбачених обраною стратегією рішення загальної задачі.

ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ОПКУ. Організаційно—програмні комплекси що застосовуються в різноманітних областях, відрізняються один від одного, але в загальному плані в них умовно можна виділити наступні локальні системи (рис 1.2): сприймання інформації, планово-задавальну, оцінки стану, управління об'єктом, контролюючи, а також інформаційний банк (або база даних) з системою управління ним і пульт оператора ("робоче місце"), що включає систему відображення і реєстрації інформації, клавіатуру і інші органи для) "спілкування" з ОПКУ.



Рис. 1.2. Блок-схема організаційно-програмного комплексу управління

СИСТЕМА СПРИЙМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ служить для одержання інформації, необхідної для рішення поставленої задачі. Вона включає підсистеми: вимірювальну і зв'язку. Вимірювальна підсистема служить для одержання інформації про стан системи шляхом вимірювань і складається із сукупності вимірювальних приладів. Підсистема зв'язку призначена для одержання необхідних при функціонуванні ОПКУ відомостей по каналах зв'язку.

ПЛАНОВО-ЗАДАВАЛЬНА СИСТЕМА (ПЗС) призначена для вибору стратегії (плану, варіанту) рішення задач ОПКУ і складання програми виробітку задавальних дій для управління складовими частинами ОПКУ в процесі виконання цих задач, або для виробітку рекомендацій по вибору таких стратегій і по складанню названих програм. ПЗС порівняно з системою управління об'єктом є вищою по ієрархії керуючою системою, призначення якої полягає формуванні оптимальних стратегій функціонування ОПКУ.

ІНФОРМАЦІЙНИЙ БАНК З СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ НИМ становить набір апаратних і програмних засобів для зберігання необхідних при функціонуванні ОПКУ документів, даних та інших відомостей, видавання інформації за запитами інших систем і оператора, занесення в банк нової інформації, що поступає каналами зв'язку або від оператора, очищення застарілої

інформації, а також виконання ряду інших операцій з даними. Функції обробки і зберігання інформації звичайно покладаються на ЕОМ. Велика частина використовуваних при роботі ОПКУ відомостей зберігається в зовнішньої пам'яті ЕОМ, що реалізується на магнітних і оптичних дисках, інтегральних схемах. У цій пам'яті інформація зберігається у вигляді певних баз даних і без знань. Під базою даних мають на увазі відомості, об'єднані за якоюсь ознакою і упорядковані таким чином, щоб будь-яка інформація, що міститься в них, могла бути легко знайдена. Так, стосовно до бортової автоматизована системи судноводіння це може бути: картографічна база даних, база рекомендованих або типових маршрутів і т.д. Інформаційна база складається з однієї чи деяких частин, названих файлами, де під файлом мають на увазі послідовність записів, що розташовується в зовнішній пам'яті і що розглядається при зберіганні і обробці інформації як єдине ціле під однією назвою. Під базою знань мають на увазі упорядковані певним чином накопичені фахівцями знання про шляхи рішення завдань системи.

СИСТЕМА ОЦІНКИ СТАНУ становить комплекс засобів обчислювальної техніки, периферійного устаткування і програмного забезпечення для одержання в концентрованому вигляді інформації про стан системи за результатами вимірювань і відомостям, що зберігаються в пам'яті ОПКУ.

Досить часто в ОПКУ передбачається можливість навчання оператора роботі з системою без участі викладача. Комплекс апаратних і програмних засобів, що дозволяє навчати і контролювати знання, є автоматизованою підсистемою навчання. Її робота визначається закладеним у неї алгоритмом навчання.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ (САУ) ОБ'ЄКТОМ реалізує функції управління об'єктом для забезпечення зміни його стану відповідно до задавального чинника. Вона формує сигнали управління, видає їх на органи управління, що в свою чергу забезпечують необхідні діяння на об'єкт.

Об'єкт автоматичного управління—це технічний пристрій (або їх сукупність, що потребує надання спеціально організованих впливових чинників для забезпечення необхідного йому стану. Елементи стану об'єкта, що навмисне змінюються або зберігаються в процесі управління, називаються ре-регульованими величинами. Значення, що приймають регульовані величини в процесі управління, називаються дійсними чи поточними. Різниця між запропонованим задавальною системою і дійсним значенням регульованої величини становить похибку управління. послідовностями вхідних даних і значеннями вихідних величин в минулі моменти часу. Зокрема, якщо відома диференціальна модель процесу, то різнична представляється виразами того чи іншого виду для чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь, що входять в диференціальну модель.

Математичні моделі ОПКУ одержують на основі аналізу процесів, що протікають в ОПКУ, теоретичних досліджень і експериментів, що проводяться системами. Зважаючи на складність багатьох систем і вплив на їх роботу великого числа чинників, теоретичні засоби побудови звичайно не забезпечують достатньої міри адекватності моделі реальному процесу. Тому досить часто теоретичні моделі підстроюють за результатами спостережень за входом і виходом системи. Ця процедура називається ідентифікацією. Для ідентифікації використовується інформація про проходження процесу в системі як в минулому так і в

теперішньому часі. Уточнення виду і параметрів моделі за минулими спостереженнями (апріорною інформацією) називається ретроспективною ідентифікацією моделі, а уточнення моделі за поточною інформацією про процес управління — оперативною ідентифікацією або просто ідентифікацією. Ідентифікуватися в процесі управління можуть параметри (або структура і параметри) моделей похибок вимірювань, моделі об'єкта управління, моделей збурень. Необхідність в оперативній ідентифікації звичайно виникає тоді, коли властивості системи недостатньо стійкі за часом чи при зміні умов роботи.

АДАПТАЦІЯ ОПКУ І СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ. Зміна умов роботи системи впливає на якість її функціонування і система, оптимальна в одних умовах, може мати незадовільну ефективність в інших. При впливі зміни збурюючих чинників на ефективність ОПКУ для забезпечення задовільної якості його роботи в всьому діапазоні умов передбачається можливість підстройки до них функціонування комплексу. Коли таке налагодження виконується вручну оператором, ОПКУ називається системою з ручним налагодженням. Якщо функція підстройки до умов роботи в ОПКУ виконується автоматично, то він називається адаптивним. Адаптивні—це такі ОПКУ які в процесі експлуатації при зміні динамічних властивостей об'єкта чи характеристик зовнішніх дій самостійно, без участі людини коригують стратегію управління, змінюють свої параметри, чи структуру і параметри для підтримки оптимального режиму функціонування. Коли автоматична підстройка виробляється до зміни тільки частини чинників, що впливають на якість роботи, то ОПКУ називається комплексом з частковою адаптацією.

Адаптивні системи для доцільної зміни стратегії управління, своєї структури і параметрів використовують оперативну і прогностичну інформацію про зовнішні дії, стан об'єкта, якість обробки і управління і відомості про минуле функціонування. Є досить багато видів адаптації систем. Ряд із них припускає ідентифікацію моделі ОПКУ і наступний синтез алгоритму функціонування. Коли ідентифікація моделі системи проводиться заданими про поточний стан збурень і апріорної інформації по відповідній цим умовам моделі, то адаптацію називають пасивною. Вона відрізняється великою швидкістю і дає добрі результати, коли відповідні різним умовам роботи перспективні моделі задовільно відбивають властивості системи. В ряді випадків адаптацію проводять на основі оперативної ідентифікації моделі. Засоби адаптації ОПКУ, що характеризувалися вище, називаються безпошуковими. В пошукових ОПКУ адаптація здійснюється без ідентифікації моделі системи різноманітними засобами автоматичного пошуку. В таких ОПКУ є програма пошуку найкращих значень параметрів пристроїв обробки і управління і передбачена можливість оперативної оцінки якості роботи системи. Пошукові адаптивні системи не потребують достатньо повної інформації про об'єкт управління і властивості збурень, але вимагають витрат часу на проведення пошуку і оцінювання якості роботи системи.

Для складних задач управління, для яких не існує заздалегідь відомих алгоритмів рішення і які зв'язані з необхідністю розпізнавати обставини, накопичувати знання про навколишнє середовище, завбачувати умови і вирішувати інші інтелектуальні задачі, в наш час створюються системи штучного інтелекту. Системою штучного інтелекту називається система, що спроможна сприймати і розпізнавати обставини і стан середовища, в якій вона діє, будувати модель

середовища, автоматично приймати рішення про свої дії і виконувати їх в обставинах, що склалися, змінювати свою поведінку при зміні обставин, самовдосконалюватися по мірі накопичення власного досвіду діяльності відповідно до завдання, закладеного в загальному вигляді в її пам'ять.

1.3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ СУДНОВОДІННЯ

Загальними принципами побудови АКС служать: системний підхід, математичне обґрунтування, модульність і ієрархічність, багаторівневість обробки, перехід на єдині дискретні основи побудови апаратури, підвищена надійність технічного, інформаційного і програмного забезпечення, пріоритет оператора, самоконтроль [9,15,18].

Системний підхід полягає в обліку всіх істотних зв'язків як між різноманітними частинами системи, так між нею і зовнішнім середовищем, а також оператором з метою досягнення максимальної ефективності АКС. Однією основних особливостей судноводіння з використанням АКС є чільна ролі судноводія в прийнятті остаточних рішень по управлінню судном відповідні до вироблених АКС рекомендацій або всупереч їм. Це пояснюється складністю цього процесу і повинно враховуватись при опрацюванні АКС. Таким чином, роль судноводія в автоматизованому судноводінні не зводиться як і ряді інших систем до контролю за роботою і обслуговування засобів автоматизації. На основі системного підходу намічаються загальна структура комплексу, види вимірювальних приладів, бази даних, склад інформаційної математичного і лінгвістичного забезпечення, організація взаємодії між частинами АКС і базами даних, склад устаткування для комплексного відображення інформації і ряд інших питань.

Принцип математичного обґрунтування складається в обов'язковій одержанні кількісних оцінок, що об'єктивно доводять перевагу обраного варіанту АКС перед альтернативними.

Модульність припускає розділення апаратури АКС і /або його програмного забезпечення на окремі в певній мірі автономні структури (модулі, блоки, підсистеми), що можуть функціонувати як окремо, так і спільно про рішенні комплексної задачі.

Ієрархічність полягає в розподіленні процесу судноводіння на ряд основних процесів, підпорядкованих головному, і в свою чергу в розподіленні основних процесів на ряд більш дрібних процесів, підпорядкованих своїм основним і т.д. Підпорядковані процеси мають самостійні апаратні і/або програмні засоби автоматизації, а задача автоматизації вищих процесів полягає в об'єднаних координації і контролі підпорядкованих засобів. В модульних системах ієрархічність означає наявність таких зв'язків між модулями, коли одні (нижчі модулі) функціонують відповідно до своїх локальних цілей, а інші, розміщені в більш високому рівні ієрархії, коригують їх, забезпечуючи досягнення більш загальних цілей. Найбільш розповсюдженою є дворівнева ієрархічна модель комплексу судноводіння, на верхньому рівні якого

знаходиться інтегроване робоче місце судноводія, що включає пульти судноводіння і автоматичної радіолокаційної прокладки, на нижньому рівні—датчики інформації.

Багаторівневість обробки полягає в її децентралізації, розділенні на певні рівні і максимальній підготовці інформації до подальшого використання кожному з рівнів, починаючи з нижчих.

Велике значення має в цей час виготовлення всієї апаратури комплексу (вимірювальних приладів, засобів обробки, відображення і передачі інформації, а також інших пристроїв, входних в АКС) на базі мікропроцесорів. Такий перехід на єдині дискретні основи дозволяє по новому, більш просто і надійно організувати взаємодію між частинами системи і спростити утворення різноманітних конфігурацій АКС, що найбільш повно відповідають різноманітним типам суден.

Підвищена надійність технічного, інформаційного і програмного забезпечення АКС обумовлюється підвищеною небезпекою процесу судноводіння, високою вартістю об'єкту управління, вантажу, що перевозиться, і важкими екологічними наслідками аварій суден, не кажучи вже про цінність життя людей на судні. Один із шляхів підвищення технічної надійності АКС полягає в дублюванні датчиків навігаційної інформації і інших вузлів. Підвищення інформаційної надійності полягає в використанні найбільш точних датчиків інформації, паралельних каналів одержання інформації про проходження одного і того ж процесу, тобто в одержанні про процес обсягу інформації, що перевищує необхідний для управління цим процесом, але необхідного для своєчасного вияву збоїв апаратури, грубих помилок в рішеннях і для підвищення точності на підставі об'єднання всієї інформації, що надається. Підвищена надійність програмного забезпечення полягає в відсутності в ньому помилок. Це досягається багаторазовими його перевірками.

В багатьох автоматизованих системах операторові відводиться пасивна роль спостерігача за роботою. Зовсім інша його роль при автоматизованому судноводінні. Зважаючи на неможливість запрограмувати всі випадки, що можуть постати в процесі судноводіння, і врахувати всі впливаючі на нього чинники, головна роль у прийнятті рішень у цьому процесі або в відповідності з рекомендаціями засобів автоматизації або всупереч їм належить операторові. Ця вимога не означає, що засоби автоматизації звільняються від роботи в цьому напрямі, а повинна розумітися як забезпечення апаратурою АКС судноводію можливості швидко і оперативно оцінювати обставини, приймати рішення і реалізувати їх. Можливості сучасних ЕОМ дозволяють автоматично визначати з урахуванням певного числа чинників стратегії управління чи параметри обраних стратегій, наприклад, маневри на розходження з іншими судами, маршрути слідування з порту відходу в порт призначення і ряд інших. Незважаючи на те, що ці стратегії можуть бути недосконалими і вимагати контролю і корекції з боку судноводія, ці можливості повинні реалізуватися, бо вибір із рекомендованих ЕОМ планів підходящого чи корекція рекомендованої стратегії, звичайно займають у судноводія

менш часу, ніж запровадження в ЕОМ свого плану і аналіз його ефективності.

Маючи на увазі підвищену безпеку процесу судноводіння, можливість великих збитків від виходу з ладу АКС, необхідно реалізувати автоматичний постійний контроль за роботою АКС (самоконтроль) і автоматичну діагностику несправних елементів. Більш того, на судах, що управляються з мостика однією людиною, АКС доповнюється системою, що забезпечує безперервний контроль за дієздатністю самого судноводія.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОПРАЦЮВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Опрацювання математичного забезпечення включає визначення моделей, засобів і алгоритмів для рішення функціональних і системних задач. При постановці задач судноводіння основними вважаються принципи безпеки оптимальності. Гідно з останнім прагнуть обрати засіб рішення, що забезпечує найвищу точність результатів чи найбільший ефект при заданих витратах або заданий ефект при мінімальних витратах. Постановка задач включає в загальному випадку наступні етапи: вибір математичних моделей для вхідних величин, вибір засобу рішення, аналіз результатів. Виконання всіх цих етапів тісно пов'язане особливостями задачі, її характером, стаціонарним або динамічним, необхідною точністю і т.д., а також можливістю засобів обробки. Крім того, як засіб рішення залежить від моделей вхідних процесів, так і побудова моделей цих процесів здійснюється з попередньою орієнтацією на засіб рішення. Точність результатів рішення залежить як від похибок вимірювальних приладів, так і від міри адекватності моделей реальним процесам і міри відповідності засобу рішень обраним моделям. Тому з підвищенням вимог до точності і поліпшенням можливостей обробки використовувані моделі і засоби періодично удосконалюються.

Під моделлю процесу тут мають на увазі сукупність математичних виразів що відображають закономірності його протікання. Основними властивостями моделей є їх адекватність реальним процесам і економність. Під адекватність моделі мають на увазі задовільність відображення істотних для завдання сторін явищ і процесів. Розрізняють моделі неадекватні (грубі), адекватні, надмірні (більш докладні, ніж вимагається). При розгляді адекватності звертається увага на дві сторони: структурну (якісну) і кількісну. Структурно вид моделі повинен відбивати характер закономірності розвитку реального процесу чи явища. Значення що одержані по моделі, повинні бути близькими до значень реального процесу при таких же умовах. Модель, підігнана з високою точністю до результатів експерименту без урахування структурної сторони, ще не гарантує високої точності прогнозу по ній. Економність моделі укладається в використанні в ній найменшого можливого числа параметрів для адекватного подання процесу чи явища.

Істотний вплив на процес судноводіння мають випадкові чинники, що при водять до широкого використання при рішенні завдань судноводіння стохастичних моделей. Такі моделі створюють шляхом певних комбінацій детермінованих імовірної складових. Ще недавно при рішеннях задач судноводіння детермінованою основою стохастичних

моделей служили тільки алгебраїчні і трансцендентні (тригонометричні і показові) рівняння, що зв'язують вхідні і вихідні величини. В останні роки все ширше при рішенні задач судноводіння в якості такої основи застосовують диференціальні і різничні рівняння, що повністю економніше дозволяють відбити характер динамічних стохастичних процесів

Для рішення задач вибирають по можливості оптимальні засоби, адекватно використаним моделям. Для найбільш загальних цільових умов в математиці розроблені ефективні засоби одержання рішень, що широко використовуються АКС. Так, при рішенні задач місцезнаходження застосовується узагальнений засіб найменших квадратів; універсальним засобом обробки різночасної і різновидної навігаційної інформації, що надходить від різноманітних датчиків, є засіб фільтрації Калмана; при виборі законів автоматичного управління судном застосовують засоби стохастичного і адаптивного управління. Все більш широке розповсюдження при рішенні задач судноводіння одержують засоби імітаційного моделювання, що базуються на застосуванні різничних імітаційних моделей.

Алгоритмізація полягає в записі послідовності дій необхідних для одержання правильного рішення поставленої задачі. Алгоритм характеризується дискретністю, масовістю, однозначністю, формальністю і результативністю. Перша властивість означає, що алгоритм повинен складатися з окремих закінчених ходів; друге — застосування при будь-яких можливих значеннях вхідних даних. Під однозначністю алгоритму мають на увазі ясність, недвозначність кожної його вказівки. Формальність алгоритму полягає в тому, що будь-який пристрій, що сприймає і виконує його вказівки, і цілком незнайома з завданням людина, одержать її рішення, виконавши всі вказівки алгоритму. Результативність алгоритму припускає завершення рішення за кінцеве число ходів.

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. При рішенні цього завдання опрацьовуються засоби організації зберігання, поповнення і оновлення інформації, необхідної для ефективної роботи АКС. Перспективним напрямом розвитку АКС є використання баз даних і баз знань. Основними інформаційними базами АКС є: база даних про судно (корпус, рухово-стерновий комплекс, вантажні та баластні приміщення і інші відомості); картографічна база, що включає дані про всі картографічні і навігаційно-гідрографічні об'єкти; база відомостей для розрахунку приливних явищ у вузькостях і портах; база даних типових маршрутів; інформаційна база про правила плавання в різноманітних районах та ін. База даних про судно є основою для розрахунку математичних моделей різноманітного рівня (судна як об'єкта навантаження, судна як об'єкта управління, судна як об'єкта хитання та ін.) для задач, що вирішуються АКС. Картографічна база дозволяє будувати на екрані дисплея електронні карти і є джерелом цифрових даних (про картографічні, навігаційні об'єкти, системи навігації та ін.), що використовуються при рішенні багатьох задач. Для виконання операцій з інформаційними базами складається алгоритм управління ними.

СКЛАДАННЯ ЛІНГВІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Організація найбільш зручної взаємодії судноводія з засобами автоматизації і максимального пристосування до його потреб відображення інформації є найважливішим складником опрацювання АКС. Процеси судноводіння характеризуються різноманітністю і складністю, що вимагає реалізації в АКС можливостей здійснення прогнозів, запитів у системи рекомендацій, корегування програми плавання, зміни заданого маршруту, запровадження директив по

прийнятим рішенням і т.д. Найбільш відповідним такій особливості функціонування видом спілкування судноводія з АКС є режим інтерактивного діалогу. Узвичасними формами цього режиму стали багаторівневі меню (каталоги видів директив, сервісу, задач, даних) і вмонтовані інструкції, що дозволяють познайомитися з можливостями АКС і засвоїти правила роботи з ним. Для вибору конкретної директиви (задачі чи виду сервісу) при інтерактивному режимі використовуються меню, робота з якими складається в наведенні курсору на поле потрібної директиви і підключенні її натиском клавіші вводу інформації.

ОПРАЦЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. При програмуванні алгоритми математичного, інформаційного і лінгвістичного забезпечення записуються на певних мовах програмування і одержані програми вводяться в пам'ять ЕОМ. Після цього проводиться налагодження програм, в процесі якого виявляють допущені при алгоритмізації і програмуванні помилки. Для полегшення і прискорення налагодження користуються спеціальними засобами.

ПОНЯТТЯ ПРО МЕРЕЖИВНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. АКС становить тільки одну з функціональних частин системи автоматизації суднових технологічних процесів (АСУ СТП). Іншими частинами АСУ СТП є автоматизовані системи управління: енергетична, вантажна, зв'язку, адміністративна — господарська. До недавнього часу розвиток цих систем здійснювався ізольовано один від одного, що було виправдано економічно, враховуючи рівень розвитку інформаційної техніки. В цей час на порядок денний поставлено питання оптимізації структури АСУ СТП шляхом обліку взаємозв'язків між її частинами і забезпечення взаємодії між ними. Дослідження, виконані фахівцями, показують, що найкращою в структурному відношенні є АСУ СТП, збудована у вигляді локальної мікропроцесорної мережі з розподіленим або колективним пристроєм запам'ятовування великої ємності на оптичних дисках для зберігання суднових інформаційних баз даних (рис. 1.3). В такій мережі всі системи можуть взаємодіяти між собою, обмінюватися інформацією одна з одною; більш того, з пультів управління мережею і систем може надаватися можливість працювати з будь-якій ЕОМ мережі.

Передача інформації між системами в мережі виробляється комунікаційною підмережею, найбільш вдалою формою якої для АСУ СТП є моноканал. Моноканал — це єдиний канал зв'язку, що служить для передачі інформації всіх систем мережі. Така побудова АСУ СТП дозволяє забезпечити раціональне розміщення і використання інформаційних ресурсів, високу надійність

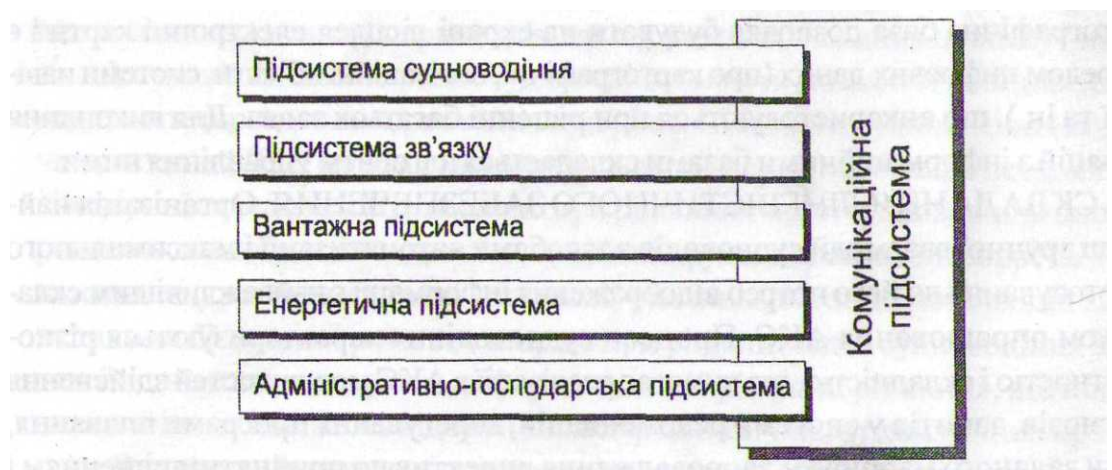


Рис. 1.3. Структурна схема системи автоматизації суднових технологічних процесів

функціонування, можливість гнучкого нарощування функцій, мо-швидкість уніфікації схемно-технічних рішень при проектуванні АСУ СТП, контроль і управління всіма технологічними процесами з центру управління мережі на мосту судна.

Найбільш тісно примикають до задач судноводіння задачі вантажної і енергетичної систем. З одного боку від завантаження судна залежать властивості судна як об'єкта управління рухом і як об'єкта хитання, що необхідно врахувати при судноводінні, з іншої сторони запаси на рейс залежать від рейсу, що планується.

При сполученні функціональних систем автоматизованого судна в мережу. крім названих вище видів забезпечення при проектуванні опрацьовується також і програмне забезпечення, що визначає в процесі експлуатації мереж і взаємодію вхідних до неї систем.

Треба визначити, що по задачах, що вирішуються, системи автоматизації технологічних процесів судна відносяться до класу ергатичних інформаційно-керуючих систем (ПУС), в яких основну роль відіграють системи підтримки рішень. Основні модулі систем відносяться до різноманітних підкласів ІУС: інформаційно-пошукових (ШС), розрахунково-логічних (РС) і експертних систем (ЕС). Так, якщо модулі реєстрації, електронної картографії відносяться до ІПС, то модулі планування рейсу, навігації, управління силовою установкою і (рухом судна, складання вантажного плану з контролем морехідно-міцносних характеристик суцна—до РС. Якщо вхідним і вихідним даним властива висока розмірність, непевність (як це зустрічається в задачах виявлення цілей, попередження сутичок з ними, діагностики судових технічних засобів, енергетичного устаткування в першу чергу), то для рішення цих задач використовуються експертні системи. ІПС і РС сьогодні широко використовуються на практиці, ЕС знаходяться на стадії накопичування досвіду і базових технічних рішень.

1.4. СТРУКТУРА БОРТОВОГО АКС І ПРИЗНАЧЕННЯ ЙОГО СКЛАДОВИХ СИСТЕМ

СТРУКТУРА АКС. В загальному плані бортовий АКС становить сукупність інформаційних баз даних, технічних і програмних засобів для рішення ЗАДАЧ судноводіння. До технічного забезпечення відносяться засоби навігації, попередження сутичок, пристрої управління рухом, обчислювальна техніка, пристрої відображення інформації, виконавчі механізми та ін. Програмне забезпечення складають програми загального застосування і пакети прикладних програм для рішення задач судноводіння. Структури АКС надто різноманітну тому можна казати тільки про певні їх типи, залежно від яких розрізняють на ступні АКС: централізовані; децентралізовані, до останніх відносяться модульні системи. Модульні комплекси ще називають системами з розподіленою структурою і програмним забезпеченням. Оптимальність тієї чи іншої структури АКС залежить від рівня розвитку інформаційної техніки, особливостей об'єкта з урахуванням ефекту, що одержується при експлуатації.

В централізованих АКС рішення всіх задач здійснюється одним процесором. Цей тип характерний для початкового етапу комплексної автоматизації судноводіння. Його недоліки: складність програмного забезпечення високі вимоги до продуктивності ЕОМ, її надійності, режимів обробки інформації, жорсткість структури, вузькість областей використання, відсутність можливості розповсюдження функції системи на задачі, що не охоплюються, понижена життєздатність, низька модернізаційна спроможність, мінімальний обсяг апаратури і програм. Перевагою є облік взаємозв'язків задач, що вирішуються.

Децентралізований розподілений АКС складається з окремих систем, зв'язок між якими здійснюється судноводієм. Обробка даних в цьому комплексі децентралізована, він має високу життєздатність, відносну простоту програмного забезпечення. Основною його хвилю є неможливість врахувати взаємозв'язок задач, що вирішуються системами.

На сучасному етапі розвитку найбільш розповсюджені модульні АКС. Модульний характер апаратури і програмних засобів забезпечує високу надійність комплексу, простоту організації зв'язків, можливість гнучкого нарощування функцій (відкритість системи) і підбору конфігурації АКС стосовно до суден і їх спеціалізації, простоту освоєння і експлуатації [15].

МОДУЛЬНІ АКС складаються з окремих, самостійних систем, кожна у яких може використовуватись як окремо, так і в рамках всього комплексу проте основний наголос при утворенні цих АКС зроблений на можливість окремого застосування систем, що входять до нього. Враховуючи це, в системах, що утворюють такий комплекс, для поширення їх можливостей передбачається звичайно рішення не тільки властивих їм задач, але і деяких завдань інших систем. Крім того, як правило, кожна вхідна в АКС система має свій локальний пульт оператора. Коли модулі АКС виконують операції, що відносяться до різних класів задач судноводіння, наприклад, до навігації і до управління рухом, то систему називають по класу задач, який є для неї головним але додається, що вона має комбінований режим роботи. До основних систем модульних АКС відносяться:

- Автоматизована система навігації (АСН);
- Автоматизована система попередження сутичок (АСПС);
- Автоматизована система управління рухом (АСУР);
- Автоматизована система реєстрації даних судового журналу (АСРД).

Автоматизована система навігації служить для складання плану переходу його корекції в процесі рейсу, коли це вимагається умовами плавання, контролю за рухом судна, оцінки навігаційної безпеки, виробітку рекомендацій з безпечного маневрування, наочного відображення процесу судноводіння. В останні роки в практиці судноводіння стали використовуватися АСН з електронними картами (ЕК) — АСНК, які відповідають вимогам ECDIS (Electronic Chart Display and Information System). Узагальнено АСНК складається з 4 підсистем: вимірювальної, планово-задавальної, відображення ЕК, оперативної навігації. Вимірювальна навігаційна підсистема включає в себе датчики навігаційної інформації і призначена для одержання оперативної інформації про процес навігації і про навколишнє середовище. Планово-задавальна навігаційна підсистема служить для складання програми переходу або виробітку рекомендацій до цієї програми і включає рішення задач, пов'язаних з плануванням переходу, розрахунком його елементів, плануванням визначень, вибором шляху у вузькостях і в умовах хвилювання, вибором

засобів управління для стабілізації судна на лініях шляху і при здійсненні маневрів, оцінку безпеки обраних стратегій і ряд інших. Система відображення ЕК служить для будування електронних карт на екрані дісгеля, виконання операцій по підйому цих карт і їх корекції, відображення процесу судноводіння на ЕК і постачання картографічної інформації до інших підсистем і систем АКС. Підсистема оперативної навігації призначена для рішення задач оперативного контролю за рухом судна.

Система попередження сутичок служить для виявлення зустрічних суден, визначення їх кінематичних параметрів, оцінки небезпеки сутички з ними, вибору стратегії для розходження при наявності цієї небезпеки і формування задавальних дій для системи управління рухом по реалізації наміченої стратегії. Узагальнено АСПС складається із 4 підсистем: вимірювальної, планово-задавальної, відображення ЕК, обробки радіолокаційної інформації. Вимірювальна підсистема включає в себе радіолокатор (РЛС), ГК, час і лічильник часу і призначена для одержання оперативної інформації про судна, що знаходяться в зоні огляду РЛС. Планово-задавальна підсистема служить, для визначення стратегії розходження. Підсистема відображення ЕК служить, для зображення електронної карти району, в якому знаходиться судно, і даних про рух свого і зустрічних судів. Існуючі в цей час судові АСПС виконують рішення завдання розходження в обсязі, що не включає формування стратегій розходження і управління рухом при їх виконанні. Такі АСПС одержали назву автоматичних судових радіолокаційних систем з засобами авто-прокладки (РЛС/АРП), де АРП—автоматичний радіолокаційний прокладач.

Система управління рухом судна служить для відпрацювання стратегій управління, що виробляються планово-задавальними підсистемами або оператором. Вона включає технічні засоби і програмне забезпечення. До технічних засобів відносяться обчислювальні пристрої (мікропроцесори, микроЕОМ, або анало гові обчислювачі), що формують керуючі сигнали відповідно до закладеного алгоритму; цифро-аналогов і перетворювачі, підсилювачі керуючих сигналів по амплітуді і потужності, виконавчі механізми. Програмне забезпечення включає пакет підпрограм управління рухом для стабілізації судна на курсі, стабілізації по боковому відхиленню, для виконання маневрів курсом і швидкістю, для реалізації режимів сумісного управління стерном, гвинтом, підрулюючими пристроями. Складність процесу судноводіння і неможливість обліку при утворенні алгоритмів управління всіх ситуацій, що можуть постати, визначають одне із найважливіших вимог до системи управління — забезпечення можливості швидкого і простого переходу від автоматичного режиму управління до ручного. Відповідно повинна забезпечуватися і можливість повернення до автоматичного режиму на будь—якому етапі виконання програми плавання.

Система реєстрації даних судового журналу служить для відображення діяльності судноводія та роботи судових технічних засобів (СТЗ) и процесі експлуатації судна. Обсяг та форма реєстраційної інформації визначається встановленнями правилами та вимогами до судового журналу Узагальнено АСРД складається з датчиків СТЗ, блоків сполучення та обробки інформації, а також принтера. Програмне забезпечення блоку обробки інформації дозволяє реалізувати обслуговування заявок на обробку, схоронення та реєстрацію даних судового журналу. Частина системи АСНК (вимірювальна, планово-задавальна, відображення ЕК) та АСРД можуть бути об'єднані в систему електронної картографічної навігаційної інформації та документування (СЕКНІД).

Пульти оператора (пристрої вводу інформації і системи відображення) служать для запровадження директив, запитів і даних в АКС, відображення і реєстрації інформації, що характеризує процес судноводіння. До системи відображення інформації пред'являються такі вимоги. Відображення повинно бути: оперативним і характеризувати ситуацію на поточний момент часу; якісним, тобто чітким, достатньо яскравим, контрастним, без тремтіння; на очним, тобто незагромадженим другорядними деталями, важлива інформація повинна бути виділена (кольором, яскравістю, умовними знаками та ін. засобами); точним і вірогідним, де під точністю відображення мають на увазі величину помилок в відображенні, а під вірогідністю — середню кількість втрат і похибок, що припадають на певну площу; повним, тобто повинно давати всю необхідну інформацію для прийняття рішень. Мова діалогу з системою повинна бути максимально простою і забезпечувати її освоєння без спеціальної підготовки.

МОДУЛЬНИЙ ОБ'ЄДНАНИЙ АКС становить єдину комплексну систему автоматизації судноводіння, апаратура якої і програмне забезпечення мають модульну побудову, і як правило, має один пульт управління, що включає одне-два робочих місця з системою відображення інтегрованої інформації (картографічної, навігаційної, радіолокаційної, гідрометеорологічної і т.д.),

котра характеризує всі сторони процесу судноводіння. Основними складовими (не обов'язково конструктивно розподіленими) частинами модульних об'єднаних АКС є:

- система сприймання інформації;
- банк даних по судноводінню, з ЕК;
- інформаційно-обчислювальна система, що об'єднує функції підсистеми оперативної навігації і АРП;
- планово-задавальна система;
- система управління об'єктом;
- пульт оператора (пристрій вводу інформації з системами відображення і реєстрації інформації).

Програмне забезпечення такого АКС будується по модульно— ієрархічному принципу. Програми становлять сукупність окремих функціонально закінчених блоків, розташованих на деяких ієрархічних рівнях. Програмне забезпечення комплексу включає програми, які за їх функціями можна розбити на групи: управління обчислювальним процесом, рішення функціональних задач, обмін інформацією з абонентами, контроль і діагностика. Програми управління обчислювальним процесом комплексу включають програму початкового пуску і програми диспетчери. Перша забезпечує початкову установку ОЗП абонентів відповідно до заданого алгоритму організації обчислювального процесу. Організація обчислювального процесу полягає в знаходженні алгоритму виконання заявок, якими є вимоги на виконання програм процесором. Принциповою особливістю задач судноводіння є те, що їх характеристики заздалегідь відомі, тому для АКС доцільно використати свою спеціальну операційну систему з метою зниження витрат часу на системні потреби.

Основна мета розробок АКС на сучасному етапі—створення надійних систем для забезпечення можливості управління судном в більшості районів одним судноводієм. В параграфі 1.5 приведені вимоги до навігаційного обладнання суден, що управляються з мостика одним судноводієм.

ВИМОГИ ДО АПАРАТУРИ АКС. В силу специфіки експлуатації до апаратури АКС пред'являються наступні вимоги: наявність мінімальних розмірів маси і потужності споживання; висока надійність роботи; можливість роботи в умовах хитання, вібрації,

ударів, в широкому діапазоні температури і вологості; простота експлуатації; наявність системи контролю за станом апаратури і правильністю рішення задач; помірна вартість.

Правила Регістру встановлюють, що надійність роботи суднових автоматизованих систем не повинна порушуватися при тривалому крені до 15° і диференті до 10° , при бортовому хитанні до 22.5° . Система повинна надійно працювати при температурі повітря від -10° до 55°C , при відносній вологості до $95 + 3\%$ для температури $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Працездатність електронних засобів автоматизації повинна зберігатися при тривалому відхиленні напруги суднової мережі в межах від 6 до 10%, а при короткочасних (не більш 1.5 с)—від 15 до 30%.

1.5. ВИМОГИ ДО АКС, ЩО ПРАЦЮЄ В СКЛАДІ СУДНОВОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ МЕРЕЖІ

АКС чи системи, що входять у нього, можуть бути елементами суднової локальної мікропроцесорної мережі АСУ СТО, яка включає також системи управління іншими технологічними процесами на судні: вантажної системи, енергетичної установки та ін. (рис. 1.3). Зв'язок між вхідними в мережу системами забезпечується через комунікаційну підмережу, найбільш підходящим видом який для суднових систем є моноканал. Моноканал складається з фізичного середовища (власне каналу) і блоків доступу до нього (інтерфейсних блоків), що забезпечують підключення окремих систем до каналу. Блоки доступу надають точку інтерфейсу, в яких до мережі підключаються системи, що входять до неї. Під інтерфейсом звичайно мають на увазі правила стикування компонентів інформаційної мережі. Інтерфейси інформаційних мереж стандартизовані міжнародними організаціями і повинні неухильно дотримуватися при побудові мереж.

ЕОМ системи, що входять в інформаційну мережу, повинна крім прикладних процесів (задач, пов'язаних з управлінням технологічним процесом виконувати і процеси взаємодії з іншими системами і мати для цього додаткове програмне забезпечення і пристрій для передачі інформації. Цей пристрій називається станцією. Вона може виконуватися у вигляді окремого блоку чи бути вмонтованою в ЕОМ. В загальному випадку процеси взаємодії систем у інформаційних мережах поділяються на сім рівнів: фізичний, каналний мережний, транспортний, сеансовий, представницький і прикладний. Процедури і правила взаємодії систем на цих рівнях визначаються спеціальними документами, що називаються протоколами інформаційних мереж¹. Для моноканальних мереж і мереж ряду інших видів ці протоколи затверджені міжнародними організаціями і представляють собою стандарти, що повинні дотримуватися при побудові мереж.

В АСУ СТП одна з вхідних до неї систем, що знаходиться на мості (АКС або АСНК), вважається головною в мережі і виконує функції центру управління (ЦУМ). ЦУМ повинен надавати можливість контролю за роботою всіх систем, що входять у мережу, і управління ними. На центрі управління рекомендується мати три дисплеї (див. рисі .1). Характеристики цих дисплеїв приведені в розділі 2 при освітленні вимог до АСНК. На першому з дисплеїв СЕКНІД рекомендується представляти інтегровані дані, що характеризують оперативні обставини в районі плавання: дату, час, електронну карту, положення судна на ЕК, його шлях і маршрут, що планується, зустрічні судна з векторами їх швидкості і інші дані, а також у перспективі повинна бути можливість відображення за запитом первинної РЛ-інформації.

Другий дисплей пульта судноводія рекомендується використати для подання за запитом у наочному вигляді "екранів" даних окремих технологічних процесів. Для навігаційної системи це може бути навігаційний "екран" (Navigation display) з цифровим і графічним поданням даних

контролю за рухом судна на маршруті і екран для швартовки (Docking display), який відображає кінетичні параметри судна (курс, швидкість, кутова швидкість, бокова швидкість носу і корми, швидкість і напрям знесення), положення органів управління (частота обертання гвинта, кут повороту лопасті ГРК, положення стерна...), збурюючих чинників (елементи повітря, хвилювання, течії).

"Екрани" РЛ-системи повинні містити первинну і вторинну РЛ-інформації та інші дані в режимах істинного і відносного руху і в режимі програвання маневрів, а також елементи ЕК, маршрут, дані оперативної навігації. По організаційно-задавальній (плануючій) підсистемі один з "екранів" (Route-select display) може служити для вибору маршруту із бази даних рекомендованих маршрутів (List of routes), відображати дані обраного маршруту і використовуватися для подання і вибору засобів контролю за рухом (зчислення, GPS, ГЛОНАСС, Loran-C або комплекс цих засобів). Цей "екран" може використовуватися для складання нового маршруту чи редагування обраного. На другому "екрані" можуть представлятися параметри морехідності судна кильове і бортове хитання, зміни метацентричної висоти, осадка і диферент, величина падіння швидкості ходу, оптимальна в аналізованих умовах швидкість, руху, діаграма навантаження на корпусі і ін. Цей "екран" може використовуватися для оцінки наступних маневрів, зміни осадки, швидкості та ін. елементів в вузькостях і на мілководді.

На інформаційному "екрані" енергетичної установки звичайно представляється частота обертання гвинта, кут повороту лопасті ГРК, потужність на валу, тиск повітря на запуск машини, витрати олії, діаграми основних характеристик енергетичної установки.

"Екрани" системи по розрахунку навантаження містять таблиці і діаграми про кількість і розміщення вантажу, запасів, посадку, характеристики стійкості і міцності.

На інформаційному "екрані" системи управління курсом відображається інформація про режим управління, коефіцієнти закону управління, задані обмеження на управління і параметри, що характеризують якість управління.

Для зменшення вартості АСУ СТП в ній можуть бути колективні пристрої: дорогі термінали, сервер та ін. (наприклад: колективний банк даних з системою управління ним, система відображення і реєстрації, спеціальний кодуючий планшет (chart digitizer)). В судновому інформаційному банку зосереджується необхідна для управління технологічними процесами інформація, бази даних і бази програм. В бази даних входять відомості про корпус судна, його вантажні приміщення, рухово-стерновий комплекс, картографічні об'єкти, рекомендовані маршрути, правила плавання, різноманітного роду документи і т.д. В бази програм включаються програми прикладних процесів та інші. Кодуючий планшет в судових системах використовується для вводу в пам'ять системи: даних електронних карт шляхом роботи з звичайною паперовою картою, що розміщена на столі планшету; даних лоцманських карт і полів хвилювання; рекомендованих маршрутів, діаграм характеристик двигуна і іншої інформації.

АКС, що працює в складі АСУ СТП і виконує функції центру управління створює можливості управління судном однією людиною, бо дозволяє з мостика керувати роботою енергетичної установки, контролювати її роботу, стан

морехідності судна, оперативну обстановку в районі плавання, положення і шлях судна ЕК і виконувати інші операції. У складі світового флоту уже з'явився новий клас автоматизованих транспортних суден—Ombo-ship (One Man Bridge Operated ship), що управляються з мостика однією людиною [21]. На цих суднах ходовий мостик є єдиним постом управління, на якому безперервну вахту несе в мор оператор. Машинне відділення є автоматизованим, що забезпечує безвахтове обслуговування суднових силових установок і механізмів.

Класифікаційними товариствами ряду країн: Бюро Верітас (Франція), Регістр Ллойда (Англія), Германським Ллойдом, Норвезьким Верітасом, Японським Регістром, Американським Бюро судноплавства, а також Міжнародною асоціацією класифікаційних товариств (МАКО) розроблені мінімальні вимоги до устаткування ходових мостиків суден класу Ombo-ship і встановлені спеціальні знаки в символи класу судна. В Німеччині, Англії, Норвегії, Франції і Японії в цьому класі суден виділяється два підкласи: перший дає право управління судном одній людині тільки в відкритому морі (ВМ), а другий — в відкритому морі і прибережних районах (ПВ).

Розглянемо основні вимоги до ходового мостика Ombo-ship. З метою забезпечення оптимальних умов роботи вахтового помічника капітана вважається необхідним мати ходовий мостик з круговим оглядом, обладнаний:

1. Автоматизованим комплексом судноводіння, що включає один пульт управління і засоби контролю технічних приладів, внутрішній судновий і зовнішній радіозв'язок;

2. Прийомо-передавальним приладом, що працює в діапазоні звукових частот (як мінімум від 70 до 700 гц.), який ретранслює зовнішні звукові сигнали (що подаються іншими судами чи станціями туманних сигналів) в стерно в рубку, і забезпечує хорошу чутність зовнішніх звукових сигналів в стерновий рубці при закритих дверях.

3. Системою, що забезпечує безперервно контроль за дієздатністю суд.

Пульт управління АКС повинен мати два робочих місця: одне для вахтового помічника капітана, друге для капітана чи підвахтового помічника. Конструкція мостика, його устаткування, робочі пости управління і контролю повинні забезпечувати можливість управління судном і додержання навігаційної безпеки плавання як одним вахтовим помічником, так і при взаємодії двох судноводіїв (в районах, де один судноводій не в стані забезпечити безпечне плавання), і при лоцманському проведенні. На крилах мостика повинні бути встановлені бортові пульти управління (пости швартовки), що забезпечують управління головним двигуном, стерном і підрулюючими приладами. Пости Швартовки повинні бути обладнані засобами внутрішнього і зовнішнього зв'язку і мати органи управління приладів подання звукових сигналів.

АКС повинен забезпечувати безперервний контроль за рухом судна, контролювати роботу системи управління рухом судна по курсу і/або траєкторії, подавати тривожні сигнали в наступних ситуаціях: при відхиленні судна від заданого курсу і/або траєкторії на величину, більше встановленої; при наближенні до точки повороту; при виконанні повороту, коли кутова швидкість перевищить, допустиму величину. АКС повинен автоматично попереджати про можливість посадки на ґрунт, перш ніж глибина моря, зміряна ехолотом, стане недостатньою для плавання по заданому курсу. Судноводію повинна бути надана можливість

установки величини інтервалу часу включення попереджувальної сигналізації до можливої посадки на мілину в межах від 6 до 30 хв. За такий же інтервал часу комплекс судноводіння повинен автоматично попереджати про небезпеку сутички з іншими судами і об'єктами.

Будь-який з тривожно-попереджувальних сигналів, що вимагає відповідної реакції вахтового помічника капітана, повинен ретранслюватися підвахтовому помічнику і капітану, якщо протягом однієї хвилини його прийняття не буде підтверджено вахтовим помічником. Якщо прийняття сигналу про небезпеку не підтверджено вахтовим помічником, то підвахтовий помічник і капітан зобов'язані в мінімально можливий термін піднятися на мостик.

На ходовому мостіку повинен бути телефонний зв'язок з іншими постами управління і всіма житловими приміщеннями судноводіїв. Ця система зв'язку повинна бути незалежною від основного джерела електроенергії на судні.

Присутність вахтового помічника на мостіку і його психофізіологічний стан повинен контролюватися спеціальною системою. У простому варіанті система контролю дієздатності судноводія може складатися з блоку часу, що періодично вимагає відповідного сигналу судноводія. Інтервал запиту повинен мати можливість регулювання в межах до 12 хвилин. Доступ до приладу установки інтервалу контролю повинен мати тільки капітан. Якщо на запит системи на протязі 1 хв. не надійде відповідний сигнал вахтового помічника, то підвахтовому помічнику і капітану буде поданий сигнал тривоги і виклик на мостик. Прилад для підтвердження прийому сигналу системи контролю треба розміщувати на посту управління судном в стерновій рубці і постах швартовки на крилах мостіка. Повинні бути передбачені спеціальні заходи, що виключають несанкціоноване використання системи контролю дієздатності судноводія. В звичайному варіанті перевірка дієздатності судноводія здійснюються комп'ютером за допомогою спеціальної програми, що визначає як задачу сигналів запиту, так і задання судноводію простих контролюючих питань по судноводінню, на які вахтовий помічник повинен дати відповідь в межах 1 хвилини. За відсутності відповіді чи при помилковій відповіді система викликає капітана і підвахтового помічника на мостик.

Виключення/включення системи контролю дієздатності судноводія і інших систем аварійно-попереджувальної сигналізації повинно автоматично реєструватися. При виході із ладу цих систем повинна включатися звукова світлова сигналізація.

Перелік обов'язкових навігаційних приладів і систем, що повинні бути на мостіку судна, щоб одержати клас Omvo-ship, який дає право на управління судном однією людиною, поданий в табл. 1.2.

Таблиця 1.1

Перелік устаткування ходового мостіка Omvo-ship

Склад устаткування	Німецький Ллойд		Верігас (Норвегія)		Регістр Ллойда (Англія)	
	ВМ	ПВ	ВМ	ПВ	ВМ	ПВ
Радіолокатор	1	1	2	2	2	2
ЗАРП	1	1	1	1	1	1
Вимірювач кутової швидкості	1	1	—	1	1	1
Гірокомпас	1	1	1/2	1/2	1	1
Магнітний компас	1	1	1	1	1	1
Лаг	1	1	1	1	1	1
Ехолот	1	1	1	1	1	1
Електронна система навігації (РНС іабо СНС)	1	1	1	1	1	1
Автостерновий	1	1	1	1	1	1
Авт. приймач Navtex	1	1	—	—	—	—
Автопрокладач	—	1	—	1	—	—
Система ЕК	—	—	—	1	—	—
Авт. система управління рухом на траєкторії	—	—	—	1	—	—
Суднова система часу	1	1	—	—	—	—
Система прийому зовнішніх звукових сигналів	—	1	—	1	1	1

1.6. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА АКС

Елементною базою систем автоматизації судноводіння є мікропроцесора техніка і мікроЕОМ, що мають малі розміри, високу надійність і володіють широкими можливостями при обробці інформації. Впровадження засобів мікропроцесорної техніки (ЗМПТ) дозволяє успішно вирішувати завдання уніфікації і стандартизації модулів, пристроїв на різноманітних рівнях, що дає можливість гнучкого підходу до реконфігурації систем в залежності від вимог до об'єкта. При цьому складові елементи виробів, збудовані на базі уніфікованих засобів, повинні бути сумісними по ряду признаков: конструктивному, електричному, інтерфейсу і т.д. Всю різноманітність ЗМПТ можна об'єднати в агрегатировану систему, виділивши в неї наступні рівні: елементну базу;

- модулі, прикладне програмне забезпечення, конструктивні елементи модулів;
- пристрої (підсистеми), системне програмне забезпечення;
- виріб, як розподілена система.

Одним із основних елементів ЗМПТ є мікроЕОМ. За своєю природою ЕОМ універсальні, що робить їх придатними до рішення різноманітних завдань судноводіння. Вони володіють високою швидкістю і дають можливість опрацьовувати інформацію синхронно з ходом процесу в реальному масштабі часу, як і вимагається при управлінні об'єктами. ЕОМ забезпечують будь-яку необхідну

точність розрахунків, що має велике значення при рішенні навігаційних задач. ЕОМ мають запам'ятовуючі пристрої великої ємності, що дозволяють зберігати багаточисленні відомості, необхідні при управлінні судном, а також дають можливість по новому організувати суднове діловодство. Крім цього, вони володіють найважливішою для судноводіння можливістю приймати інформацію в свою пам'ять через супутникові радіоканали і інші канали зв'язку. Звичайно в ЕОМ розрізняють апаратні засоби і програмне забезпечення.

АПАРАТНІ ЗАСОБИ. Основними частинами ЕОМ є: процесор, пам'ять, канали передачі інформації і термінали.

Процесор — це програмно-керуючий блок, що включає арифметично-логічний пристрій, пристрій управління, пам'ять високої швидкості. Процесор виконує арифметичні і логічні операції, задані програмою, управляє обчислювальним процесом і координує роботу периферійних пристроїв. Процесор характеризується системою команд і швидкістю обчислень. Система команд процесора становить набір з декількох десятків чи сотень окремих операцій. Під швидкістю розуміють деяке усереднене число машинних команд (включаючи арифметичні операції), що виконуються процесором за одну секунду. Мікропроцесор — процесор, виконаний на напівпровідникових інтегральних мікросхемах, часто у вигляді однієї ВІС. Інтегральна мікросхема становить мікроелектронний виріб в плоскому пластмасовому або керамічному корпусі з металевими виводами, що виконує певну функцію перетворення інформації і має високу щільність упакування елементів. ВІС-велика інтегральна схема, що містить від декількох сотень до десятків мільйонів елементів і компонентів. Кількість компонентів, що об'єднується інтегральною схемою, називається мірою її інтеграції. ЧІП-інтегральна схема в окремому корпусі.

Запам'ятовуючий пристрій служить для запису, зберігання і видавання інформації. В ЕОМ розрізняють внутрішню і зовнішню пам'ять. Нагромаджувачі зовнішньої пам'яті бувають на гнучкому магнітному диску, на магнітному

твердому диску, на магнітній стрічці, на оптичному диску, на циліндричних магнітних доменах, а також інтегральними напівпровідниковими. Найбільш розповсюджені нагромаджувачі на магнітних дисках. Магнітний диск — це тонкий диск із немагнітного матеріалу, покритий з однієї чи двох сторін шаром ферромагнітної речовини. Основою гнучкого диску є кругла пластмасова пластина, твердий диск виробляється з металу. Інформація записується (зчитується) з диску при його обертанні магнітними головками, розміщеними на концентричних доріжках. Пошук потрібної доріжки здійснюється зміщенням головки по радіусу диска. Ємність нагромаджувача на одному твердому диску досягає 1-2 Гбайт. Нагромаджувач інформації у вигляді гнучкого магнітного диску, укладеного в нерозбірний гнучкий, напівжорсткий або жорсткий пластиковий корпус, називається дискетою або флоппі-диском. Дискети випускаються діаметром 3.5 і 5.25 дюйми і ємністю до 2 Мбайт. Оптичні диски — це плоскі круглі металеві або пластмасові пластини, на поверхні яких променем лазера записується і зчитується погірбна інформація. Ємність ЗП з одним оптичним диском в цей час складає від 0.5 до 10 Гбайт. ЗП на циліндричних магнітних доменах (ЦМД) мають ємність до декількох сот мегабайт з наробкою на відмову до 100000 годин. Інтегральна

напівпровідникова пам'ять знаходить застосування у вигляді окремих мініатюрних блоків касет з ємністю до декількох сотень Кбайт.

Внутрішня пам'ять — це пам'ять ЕОМ, конструктивно об'єднана з процесором і призначена для зберігання команд і даних, необхідних для виконання програми. Розрізняють оперативний (ОЗП), над оперативний (НОЗП) і постійний (ПЗП) запам'ятовуючі пристрої. ОЗП становить основну частину внутрішньої пам'яті ЕОМ для тимчасового зберігання про грами і даних у процесі виконання програми. НОЗП швидкодіючий ЗП, що застосовується у вигляді регістрів процесора для тимчасового зберігання даних, що часто використовуються, і констант. Ємність НОЗУ в багато разів менша ємності ОЗП. Існують ПЗП декількох видів: постійне; постійне, що програмується; постійне, що перепрограмується. Перше характеризується постійністю інформаційного змісту в процесі експлуатації ЕОМ. В постійному, що програмується, ЗП інформація заноситься самим користувачем одноразово на початку експлуатації і після цього не змінюється. Постійне, що перепрограмується, ЗП надає можливість багаторазового занесення в нього інформації самим користувачем. Всі види ПЗП спроможні зберігати дані при тривалому відключенні живлення.

Термінал—пристрій, що дозволяє вводити в ЕОМ програми і дані, пере давати програми на виконання і виводити одержані результати. Список най більш часто вживаних терміналів показаний в табл. 1.3. Найбільш розповсюдженим терміналом

Таблиця 1.3.

Типи терміналів

№	Термінал	Впровадження інформації	Одержання інформації
1	Дісплей	Клавіатура	Показ на екрані
2	Сенсорний екран	Спеціальна матриця	—
3	Друкарська машина, телетайп	Клавіатура	Друк на папері
4	Друкарський пристрій	—	Друк на папері
5	Графобудівник	—	Креслення на папері
6	Аудіотермінал	Мікрофон	Динамік
7	Пристрій управління магнітними картами	Читання магнітних карт	Запис на магнітні карти
8	Пристрій зчитування товарних знаків	Читання товарних шифрів	—
9	Кодуючий планшет (дїттайзер)	Чутливий елемент у вигляді олівця або візиру	—
10	Натискний планшет	Запис на папері, що лежить на поверхні планшету	—
11	Оптичний сканер	Зчитування за допомогою мініатюрної телекамери	—
12	Відеоперо	Чутливий елемент у вигляді олівця	—

є дисплей—пристрій візуального відображення інформації, до якого підключається блок з клавіатурою для вводу інформації. Дисплеї поділяються на літерно-цифрові (символьні) і графічні, вони бувають монохромними (однокольоровими) і кольоровими.

Найбільш простими пристроями для вводу і реєстрації на папері інформації електрифіковані друкарські машинки. Представники цього виду термінів, що використовуються для роботи з далеко розміщеною ЕОМ по каналах телеграфного

чи телексного зв'язку, одержали назву телетайпів. Широке розповсюдження одержали також графобудуючі прилади, призначені для креслення по сигналах ЕОМ.

В ряді випадків для взаємодії з ЕОМ (наприклад, в багатьох АРП) застосовується сенсорний екран. Принцип дії цього екрану базується на тому, що в ньому використовується площа, на якій зображені компоненти: літери, знати слова, малюнки. Користувач, доторкнувшись пальцем руки до будь-якого з них, передає певну інформацію ЕОМ. Компоненти сенсорного екрану можуть бути намальовані на пластмасовій пластині чи створені у вигляді зображення на екрані дисплея. В останньому випадку в списку зображених на екран компонентів можуть бути і два особливі, що позначаються словами "Наступний" і "Попередній". Доторкнувшись до одного із них, користувач дає команду міняти сторінку з набором компонентів сенсорного екрану на наступну або попередню. Ніяких кнопок сенсорний екран не має. Сенсорні екрани можуть бути як невеликими, що містять декілька компонентів, так і з багатьма сотнями компонентів.

Кодуючий планшет (дигитайзер) є розповсюдженим засобом для вводу в ЕОМ креслень, схем, планів. Він складається з плоскої панелі і чутливого елемента у вигляді шпичака спеціального олівця чи спеціального візиру. Чутливий елемент з'єднаний з панеллю кабелем. Панель має рівну поверхню для креслення, під якою розміщені електронні датчики, що ви значать положення чутливого елемента на поверхні з помилкою не більше 0.1 мм. Процес вводу даних полягає в торканні шпичаком олівця точок, які хочуть ввести. Порівнянно недавно для вводу інформації в ЕОМ застосовується натискний планшет. Якщо покласти на чутливу до натиску поверхню такого планшета аркуш паперу, то все, що буде написано на ньому кульковою ручкою, звичайним чи спеціальним олівцем, перетворюється в набір даних. Сприйнята інформація може дублюватися на вмонтованому в планшет дисплеї. Вся введена інформація запам'ятовується в пам'яті дисплея. Кодуючі і натискні планшети можуть використовуватися при роботі з звичайною паперовою навігаційною картою і застосовуватися при плануванні переходів. У планшет може вмонтовуватися мікроЕОМ, та робить певні дії з введеною інформацією і відображає результати цих дій на екрані дисплея.

Оптичні сканери служать для зчитування графічної (рисунок, діаграми фотографії, навігаційні карти...) і текстової інформації в ЕОМ. виготовлять ся різноманітні типи сканерів, які відрізняються один від одного розміру кількістю кольорів, що сприймаються, роздільною здатністю. За допомогою програми аналізатора сканер розпізнає образи символів і передає в ЕОМ, коди. Такий аналізатор в принципі може розпізнавати будь-які шрифти будь-якого алфавіту. Програма, що обслуговує сканер, звичайно дозволяє перевищати, масштабувати тексти і рисунки по будь-якій координаті і виконувати ними різноманітні інші дії.

В останній час все більше значення набувають аудіотермінали, призначені для вводу і виводу промови. Вони перетворюють слова, в дискретні сигнали, що записуються в пам'яті ЕОМ, і синтезують мову по дискрету сигналам ЕОМ. Вони вже знаходять застосування в АКС.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. Під програмним забезпеченням (Приймають на увазі сукупність програм, що зберігаються в пам'яті ЕОМ. Звичайно його ділять

на дві частини: загальне і спеціальне ПЗ. Перша служить для організації обчислювального процесу, забезпечення вигод роботи машиною і т.д. Друга становить набір програм прикладних завдань. вирішуються ЕОМ.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Сформулюйте ціль і назвіть основні завдання процесу судноводіння.
2. Який пристрій стабілізації судна на курсі вважається ефективним?
3. Які показники визначають ефективність виконання поворотів?
4. Дайте визначення організаційно-програмного комплексу управління!
5. Які основні системи можна виділити в ОПКУ?
6. Яка стратегія рішення завдання вважається оптимальною?
7. Які функції виконує система сприймання інформації?
8. Напишіть основні принципи автоматичного правління.
9. Дайте класифікацію керуючих систем по виду задавального діяння.
10. Назвіть складові частини забезпечення ОПКУ.
11. Дайте визначення функціональної схеми, конфігурації, базової конфігурації системи.
12. Що таке ідентифікація моделі системи?
13. Які види адаптивних систем Ви знаєте?
14. Назвіть загальні принципи побудови АКС.
15. Що означає поняття—модульність системи?
16. Назвіть основні інформаційні бази АКС.
17. Які можна виділити основні структури АКС?
18. Призначення і структура автоматизованих навігаційних систем.
19. Які основні вимоги пред'являють до ходового мостика OMBO-ship?

2. СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ (СВЕК)

2.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Останні роки характеризуються застосуванням електронних карт (ЕК) в САРП, в прийомоіндикаторах радіонавігаційних систем, в автоматизованих навігаційних системах і комплексах. Виробляють і спеціальні прилади для про ведення прокладки шляху судна на ЕК — відеопрокладачі. Спочатку питання використання ЕК не контролювалося ІМО. Але в зв'язку з все більш широким розповсюдженням ЕК на суднах і впливом їх недоліків на безпеку судноводіння фахівці ІМО на початку 90-их років всебічно розглянули питання використання ЕК на суднах і виробили до навігаційних систем з ЕК комплекс техніко-

експлуатаційних вимог, виконання яких визнано необхідним, щоб уникнути негативного впливу недоліків ЕК на безпеку судноводіння.

Охарактеризуємо термінологію і скорочення, що використовуються при розгляді автоматизованих систем навігації з ЕК.

ЕК—загальний термін, електронна карта (electronic chart), при розгляді питань судноводіння—електронна навігаційна карта чи набір даних для її побудови на екрані дисплея;

ЕКп — електронна карта "повномірна", тобто навантаження її еквівалентне паперовій навігаційній карті і достатнє для забезпечення безпеки плавання;

ЕКс—електронна карта спрощена, не еквівалентна паперовій карті;

ЕКсо—електронна карта користувача (оператора), тобто така, що створена судноводієм на судні вручну або за допомогою дигітайзера.

ЕКр—електронні карти растрові, що зберігаються в пам'яті і зображуються у вигляді рядів точок (пікселів) різноманітних кольорів;

ЕКрс — растрова спрощена ЕК;

ЕКв—електронна карта векторна, тобто карта, зображення якої представляється відрізками прямих ліній (векторів), заданих координатами своїх кінців і кольором. Збільшення (зменшення) цих координат в декілька разів приводить до пропорційної зміни розмірів зображення. Перетворення відрізків в растри на растрових приладах (дісплях, принтерах) виконується автоматично;

ЕКвп—векторна повномірна ЕК (в документах ІМО Electronic navigational chart—ENS)—означає набір даних, стандартизованих за змістом, структурою і діючим форматом обміну картографічною інформацією, яка випущена для використання в АСНК на основі офіційних даних, що підготовлені державними гідрографічними організаціями. Вона містить всю картографічну інформацію, необхідну для безпечного судноводіння, і може містити додаткові до інформації на паперових картах дані (наприклад, правила плавання), що можуть бути визнані необхідними для безпечного судноводіння;

АГН — автоматизована система навігації;

АСНК — АСН з електронними картами;

АСНКвп—означає навігаційну інформаційну систему з ЕКвп, що відповідає вимогам правила V/20 міжнародної конвенції з безпеки життя на морі (Solas-74) і що забезпечує відображення навігаційних ЕК з інформацією про положення судна за даними датчиків навігаційної інформації і подання, якщо вимагається,

додаткової інформації, що стосується судноводіння, щоб допомогти мореплавства в плануванні шляху і проведенні судна. В документах ІМО ці системи називаються ECDIS—Electronic Chart Display and Information Systems.

АСНКс — АСН з ЕКс не повністю відповідають вимогам Solas, в документах ІМО називаються ECS—Electronic Chart Systems.

SEK — системна електронна карта (System electronic chart) — набір даних у внутрішньому форматі системи, що є результатом перетворення даних ЕК системою для відповідного використання, включаючи облік коректур інших даних, що додаються мореплавцем. Цей набір даних, який складає дисплейний файл системи для відображення навігаційної карти, що була відкорегована і виконання з її допомогою навігаційних функцій. SEK може містити інформацію і від додаткових джерел.

КО - картографічний об'єкт— це реальний об'єкт чи явище, що зображується на карті в умовному вигляді; або опис чи група описів картографічних характеристик реального об'єкта чи явища в цифровому вигляді для відображення його на ЕК (наприклад, цифровий опис вогню: його вид, положення, сектор, колір, дистанція видимості та інше).

Виробництво ЕКвп пов'язане з чималими труднощами, що полягають у необхідності систематизації істотних характеристик всіх КО карт, утворенні файлів окремих карт у певних форматах; утворенні з файлів карт КБД всього Світового океану або окремих його районів, опрацюванні систем управління КБД рішенні питань корегування карт і інших. Виконання цієї роботи вимагає довготривалого часу. Електронна система з ЕКвп з урахуванням виду картографічної проекції за цифровими даними, що поміщені в файлі, "будує" ЕК на екрані дисплея в заданому масштабі, тобто виконує певну картографічну роботу. Тому АСНКвп можуть бути названі і "картографічними". Для виконання національної програми, зв'язаної з використанням ЕК в судноводінні і в інших областях, необхідно створити банк картографічної інформації, організувати ефективну систему коректури ЕК і розробити системи відображення ЕК, що відповідають національним і міжнародним вимогам.

РАСТРОВІ ЕК. Жодна організація і фірма на початку 90-х років не мала жодної колекції навігаційних карт ЕКвп, хоч багато фірм серйозно займалися цим питанням. Труднощі швидкого утворення ECDIS з однієї сторони і бажано використати переваги ЕК уже в нинішній час ініціювали роботи по цьому напрямку утворення еквівалентних паперовим навігаційних ЕК. Цьому процесу сприяв розвиток растрових технологій. Під растровою технологією виробництва карт мають на увазі електронний спосіб утворення, зберігання і зображення карт в вигляді безперервних рядів точок (пікселів) різноманітних кольорів. Утворення ЕКр проводиться "копіюванням" з звичайних паперових карт за допомогою сканера. Природно, засіб утворення ЕКр значно більш швидкий і легкий, ніж ЕКв. Британське Гідрографічне управління стало першою в світі офіційною державною організацією, що з 1993р. створює ЕКр і постачає їх на морські судна, а з весни 1994 р. воно створило нову службу—ARCS (Admiralty Raster Chart Service—Обслуговування адміралтійськими растровими картами). Питання використання ЕКр були заслухані 1995 р. в комітеті з безпеки мореплавання ІМО.

ЕКр одержують скануванням основи і роздільно кольорового зображення паперових карт. За основу ЕКр прийняті друковані плати для звичайних адміралтійських паперових карт. Знята з основи карта є копією паперовою. Більш раннє застосування ЕКр в судноводінні стримувалося труднощами її коректури. Прогрес розвитку ЕОМ і растрових технологій дає можливість подолати ці труднощі і розробити засоби корегування ЕКр. Знаходження даних ЕКр в електронній пам'яті дозволяє на обрані місця карти наносити нову інформацію. Щотижневе сповіщення мореплавцю (СМ) для коректури ЕКр закодовано так, щоб покривати в місцях корегування зображення карти растровими плямами розміром в один квадратний дюйм. На цих плямах і розміщується коректурна інформація.

Основна карта і відомості СМ на час утворення ЕКр рівномірно розподіляються на компакт-диск CD-ROM. Кожний компакт-диск містить від 10 до 20 адміралтійських карт. На початку 90-х років були створені ЕКр, що покривають більшість судноплавних шляхів і портів. Наступна коректура з СМ

розміщується на щотижневому компакт-диску (Update Disk-UD), що містить всі СМ для основної карти (CD—ROM). Обидва ці диски вводять в диско-вводи система автоматично видає кореговану ЕКр. Компакт-диски виробляють у морському виконанні, інформацію на них не можна змінювати.

На ЕКр в автоматизованій навігаційній системі виконується більшість операцій, що виконуються і на ЕКс, але не всі. Принципово на ЕКр ніяк не можливо виконувати операції селекції об'єктів для відображення, одержаних додаткової інформації про об'єкти, що накривають маркером, і ряд інших. Зважаючи на це, системи з ЕКр не повністю відповідають вимогам ECDIS. Необхідно також застерегти, що системи з ЕКр (також як і навігаційні системи з паперовими картами) не зовсім правильно звати картографічними, бо з них, за винятком коректури, картографічні операції не проводяться. Тому системи з ЕКр розглядаються ІМО як проміжні, спроможні заповнити потребу судноводіїв в ЕК на етапі, поки роботи з утворення ECDIS і постачання їх на судна не будуть повністю завершені.

СИСТЕМИ З ЕКвп. Враховуючи, що ECDIS представляє основний напрямок розвитку систем з ЕК, нижче приводиться ряд відомостей про основну І складову—систему відображення ЕК (СВЕК), де вирішуються задачі, пов'язані з автоматичним забезпеченням судноводія і підсистем АКС картографічною інформацією. СВЕК виконує функції побудови ЕК, відображення на НИХ процесу судноводіння, виконання різноманітних операцій з картографічною інформацією і постачання її іншим системам і підсистемам АКС.

Зусилля, витрачені на утворення навігаційних систем с ЕКвп, компенсуються можливостями, що надаються ними. Використання ЕКвп в АКС дає можливість підвищити навігаційну безпеку за рахунок наочного подання процесу судноводіння в районі плавання, надання інформації від різноманітних засобів навігації, включаючи накладання РЛ-зображення на ЕК, прискорення пошуку і подання судноводію відомостей про картографічні і навігаційно-гідрографічні об'єкти в районі плавання і про особливості судноводіння в ньому. Крім того, будь-яка карта може бути відображена в слушному для користувача масштабі; будь-який фрагмент карти може бути вирізаний і збільшений навесь екран; можливий перегляд всіх районів поточної карти і будь-якої іншої карти; оператор може швидко одержати інформацію про будь-який навігаційний засіб, відображений на карті; за бажанням судноводія можуть відключатися або додаватися для відображення будь-які групи об'єктів; є набір інструментів для планування рейсу і попередньої прокладки; передбачено з боку системи певний контроль безпеки при русі судна і при попередній прокладці шляху на карті; автоматично при русі судна можна одержувати поточні значення пеленга і дистанції на будь-яку обрану точку. Однією із важливих переваг ЕКвп є можливість виводу чи виділення окремих видів даних: навігаційної огорожі, маяків, затонулих суден, ізобат і ряду інших, а також наявність у деяких системах, крім режиму дійсного руху режиму відносного руху, в якому судно знаходиться в центрі екрану, а карта "пливе" відносно нього.

Під ЕКвп мають на увазі зображення місцевості в певній картографічній проекції, відображений на екрані дисплея засобами машинної графіки по цифровій картографічній і навігаційно—гідрографічній інформації. Крім того, на екрані

дисплея АСНК відображається картографічна сітка; маркер з географічними координатами, що дає можливість також визначати пеленг, дистанцію чи час ходу і очікуваний час прибуття в будь-яку точку, на яку він наведений; умовний знак власного судна; траєкторія руху власного судна; його небезпечна ізобата; оперативна інформація, введена з пульта оператором (запланований маршрут, дані "підйому" карти та ін.); умовні знаки суден, що супроводжуються АРП, вектори їх швидкості та ряд інших даних.

Основою для побудови ЕКс служить цифрова інформація, розташована в КБД. КБД складається з окремих файлів, що містять цифрові дані базових карт (ЦДБК). Зображення в певному масштабі на екрані ЕК району, де знаходиться судно, одержується звичайно за даними однієї базової карти.

Умовний знак власного судна в деяких системах може обиратися в вигляді відбитого в масштабі його контуру або символом (own ship's symbol). Відображення судна відбитим в масштабі відповідно до максимальної довжини і ширини контуром корпусу виробляється при відображенні карти в великому масштабі і використовується, щоб оцінювати на дисплеї вільний простір при плаванні в вузькостях і по фарватерах та відстань до небезпек. Символ власного судна — це умовний (не тільки у вигляді "корабля") знак, що призначений для вказівки і простого розрізнення на карті місця власного судна.

За масштабом ЕК діляться на: карту світу (World) — 1:250000 і менша генеральні карта (General)— 1:30000—1:250000; прибережні карти (Coastal) — 1:8000—1:30000; підхідні (Approach) — 1:4000—1:8000; гавані (Harbour) — 1:1000—1:4000; плани (Plan)—1:1000 і менше.

ЕК виготовляються з прив'язкою до певних встановлених масштабів і повинні відображатися як в встановленому, так і в інших масштабах. Найбільший масштаб ЕК—це значення самого великого масштабу, в якому в системі може представлятися певна карта. Звичайно це масштаб, при якому дані ЕКвп ще дозволяють задовільно представляти район карти на дисплеї.

В основу використання ЕКвп в судноводінні покладені такі принципи: точність і повнота ЕКвп повинна бути не нижче паперових навігаційних карт; КБД і коректури до неї повинні бути виконані в офіційно прийнятих стандартних форматах; КБД і ЕК набувають силу тільки після їх затвердження гідрографічними службами, що повинні нести повну відповідальність за їх зміст; вихідна КБД в судових системах автоматизації повинна зберігатися в незмінному виді; КБД і система управління нею є програмними продуктами, тому розмноження, реєстрація і розповсюдження їх повинні відповідати прийнятим в більшості країн світу правилам розповсюдження програмного забезпечення.

Для уніфікації використання ЕКвп міжнародними вимогами передбачається виконання ЕКвп в спеціальних форматах. Формат— специфікації послідовності і видів подання елементів інформації (чисел, тексту) на носії, Стационарний формат еквівалентний таблиці, в той час як вільні формати використовують межі для розділення індивідуальних елементів для їх ідентифікації. Набір форматів чи комплексний формат визначає структуру інформації, що представлена на носії. Комплексний формат для подання картографічної інформації в цифровому вигляді

забезпечує формалізацію виконання операцій з неї при картографічних роботах, включаючи побудову ЕК.

Основним форматом картографічної інформації в наш час є S57/DX90, розроблений Комітетом по обміну цифровими даними ІНО (Comitee of exchange of digital data—CEDD) для декодування і обміну цифровими картографічними даними. DX90 — це частина В Стандарту ІНО для передачі цифрових гідрографічних даних (S-57), тому цей формат позначають S57/DX90. Формат DX90 призначений для обміну картографічними даними між гідрографічними службами країн—членів ІНО і для передачі даних виготовникам систем відображення ЕК. Зважаючи на певні незручності роботи з цим форматом всередині СВЕК при виконанні її операцій, виробники СВЕК вільні створювати свої внутрішні формати, найбільш відповідні задачам, що вирішуються конкретною СВЕК. Проте в будь-якому випадку СВЕК повинна мати можливість прийому (імпорту) даних від гідрографічних служб в форматі S57 перетворення їх у внутрішній формат; що згідно з спеціальною публікацією ІНО повинен зберігати логічну структуру і склад інформації. Цифрові дані карти, представлені у внутрішньому форматі СВЕК, називаються системними даними ЕК або просто системною електронною картою.

Формат S57 забезпечує великі можливості, він сумісний з іншими засобами обміну даними і не орієнтований на певну розграфку. Формат S57 поєднує в собі властивості гнучкості і компактності, що дозволяє підтримувати декілька рівнів обміну цифровими даними, представляти місце об'єкта в географічній чи прямокутній системах координат з різноманітними одиницями і мірами точності, будувати карти в різноманітних проекціях, зберігати описану інформацію для наборів даних, додавати нові записи.

Для ЕКс вимоги формату S57 не є обов'язковими.

Для обміну картографічною інформацією по каналах телезв'язку в розвиток формату S57 розроблений спеціальний формат MACDIF (Map and chart data inter change format), що є стандартним для обміну даними по каналах телезв'язку між гідрографічними службами країн ЩО і пересилки їх користувачам.

Для побудови навігаційних ЕКвп віддається перевага проекції Меркатора, нормальної (НПМ) для широт 0-85° або поперечної (ППМ) — 80°-90°. При зберіганні даних в СВЕК рекомендується місцезнаходження характеризувати в географічній системі координат, виражаючи координати КО в градусах, хвилинах, секундах і сотих частках секунди, глибини—в метрах чи сажених, висоти - в метрах, відстані — в морських милях, швидкість — в вузлах, відхилення від траєкторії— в метрах.

Як відомо, геодезичною основою навігаційних карт служить еліпсоїд обертання, що представляє поверхню Землі. Виготовлені в різних країнах карти можуть мати різні геодезичні основи (еліпсоїд Красовського, Кларка, Бессе-ля, супутникові еліпсоїди). Внаслідок цього географічні координати одних і тих же об'єктів на картах з різними геодезичними основами можуть дещо відрізнятися. Растрові ЕК мають таку ж основу, що і паперові карти, з яких вони зняті. ЕКвп звичайно у вигляді геодезичної основи використовують су-супутниковий еліпсоїд WGS84. Це

пояснюється тим, що дані про положення судна прийомоіндикаторах супутникових систем, які є в цей час основним засобом навігації, мають цю ж геодезичну основу. Крім існуючих незаперечних переваг перед паперовими картами ЕКвс знають недоліки, наприклад: ЕК відтворюють приблизно 1/6 частину паперові карти, що вимагає їх більш часті зміни; робота з ЕК супроводжується підвищеною стомлюваністю оператора; для роботи з автоматизованими системами з ЕК необхідна спеціальна підготовка штурманського складу. Судноводії повинні також чітко представляти небезпеку використання ЕК, на котрі не одержані гарантії на офіційному рівні.

СПРОЩЕНІ ЕКс. Для задоволення вимог ІМО і ІНО до ЕК, потрібні засоби зберігання і відображення інформації, що мають широкі можливості, якими АКС чи його системи можуть не володіти. В деяких з таких АКС використовуються ЕК в спрощеному вигляді, який дозволяє реалізувати існуюча апаратура. Схематичне зображення на екрані дисплея місцевості в певній проекції, що не повністю відповідає вимогам до безпеки мореплавства, звичайно називається стилізованою (спрощеною) ЕКс. Для введення з паперових карт в пам'ять ЕОН даних для стилізованих карт в ряді АСН використовуються спеціальні кодуєчі планшети (chart digitizer). У деяких СВЕК, які мають дигітайзери і дозволяють судноводіям створювати свої власні карти (карти користувача), для полегшення утворення цих карт СВЕК має функції для нанесення умовних знаків певних типів КО: глибин, маяків, буїв, небезпек і т.д., а також інструменти для редагування ЕКс: очищення об'єктів, заміни характеристик, заміни об'єктів, копіювання із карти на карту, редагування написів, ліній і т.д.

2.2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМ З ЕК.

ВИМОГИ ДО АСНКвп. Міжнародними морською (ІМО) і гідрографічною (ЩО) організаціями визначені рекомендації і техніко-експлуатаційні вимоги до АСНК. Ряд із них приведений нижче.

Первинною функцією АСНК (ECDIS) є забезпечення безпеки мореплавства і при організації відповідного резервування вона може розглядатись як еквівалент паперових карт. Система повинна відображати всю картографічну і навігаційно-гідрографічну інформацію, необхідну для безпечного і ефективного судноводіння. Система повинна забезпечувати можливість виконання надійної коректури ЕК, дозволяти виконувати всі дії, пов'язані з попередньою і прокладкою, що виконується, визначеннями місця і безперервним відображенням поточного місця судна.

Для ECDIS ІМО визначені наступні рівні інформації, що використовуються в ній, і зміст цих рівнів:

— Дані електронної карти — ДЕКвп (Electronic navigational chart data - ENCD) означає набір даних, що підготовлений національними гідрографічними службами для ЕКвп в форматі, прийнятому для координатора ЕК.

—Базові дані електронної карти—Б ДЕКвп (Electronic navigational chart data base —ENCBD)—основні дані для виробництва і підтримки ЕКвп, утворені з ДЕК_{ВЦ}

—SEKen—системна повномірна синтезована ЕК (System electronic navigational chart — SENC)—набір даних у внутрішньому форматі системи, які є результатом перетворення даних ЕКвп системою для відповідного використання включаючи облік коректур і інших даних, що додаються мореплавцем. Це той набір даних, що складає дисплейний файл ECDIS для відображення навігаційної карти, яка відкоригована, і виконання з її допомогою навігаційних функцій, SEKen може містити інформацію і від додаткових джерел.

Інформація SEKen доступна для відображення при плануванні маршруту і виконанні прокладки повинна бути поділена на три категорії: Базова SEK (Display base); Стандартна SEK (Standart Display); Інша інформація (Other information).

Базова SEK (основна картографічна інформація) — означає рівень інформації SEK, яка не може бути усунена з дисплея, включаючи інформацію, **ЩО** потрібна завжди, в усіх географічних районах і за будь-яких обставинах. Це однак не означає, що її достатньо для безпечного судноводіння. Базова SEK включає берегову лінію (для повної води); безпечну ізобату для власного **судна**, що обирається судноводієм; окремі підводні небезпеки з глибинами, меншими безпечної, в межах району, який обмежено безпечною ізобатою; окремі небезпеки, що лежать всередині району, обмеженого безпечною ізобатою, такі як мости, лінії електропередач, включаючи буї і знаки, що використовуються або не використовуються як засоби навігації; системи руху; масштаб, вид орієнтації карти і режим дисплея; одиниці глибин і висот.

Стандартна SEK (основна картографічна і навігаційне—гідрографічна інформація) — навантаження карти, що повинне бути на дисплеї при першому викликові карти в ECDIS. її складає мінімальний набір даних, що забезпечують безпеку при прокладці і плануванні шляху. Це навантаження надалі може модифікуватися судноводієм. Стандартна SEK складається з інформації: базової SEK; лінії осихання; стаціонарних і плавучих засобів навігації; кордонів фарватерів, каналів і т.і.; візуальних і радіолокаційних приметних об'єктів; заборонених і обмежених районів; рамок карти; попереджувальних мореплавцю.

Вся інша (додаткова) інформація—та, що відображається індивідуально на вимогу, включає: значення глибин; підводні кабелі і трубопроводи; маршрути паромів; деталі всіх окремих небезпек; деталі навігаційних засобів; зміст попереджень мореплавцю; дату видання ЕК; елементи геодезичної основи (Земного еліпсоїда); магнітне схилення; географічні назви і т.д.

Безпечна ізобата власного судна (own ship's safety contour) — це ізоба-та, відпові дна найменшій безпечній, на погляд капітана, глибині для його суд-на при даній осадці вводиться в пам'ять ECDIS судноводієм і служить для розрішення на дисплеї небезпечних вод від безпечних і для виробітку сигналу Про небезпеку посадки на мілину.

Згідно з пропозиціями Радіотехнічної комісії для морських служб (США) рекомендується для суден різних типів три категорії конфігурації АСНК: -

Категорія 1 (АСНКвп-1 або АСНК-1, ECDIS-1) призначена для використання суднами, де необхідно мати електронний еквівалент паперових карт. Конфігурація системи повинна мати як мінімум два багатокольорових дисплея. ECDIS-1 найбільш підходяща для великотоннажних океанських суден. Один графічний дисплей призначається для цілей навігації, другий—для планування маршруту і відображення навколишньої обстановки за інформацією РЛС. Для подання ЕК необхідно мати графічний дисплей, ефективний розмір екрану якого повинен бути не менш 270х270 мм, а розмір пікселя—не більш 0.2 мм.

СПРОЩЕНІ ЕКс. Для задоволення вимог ІМО і ІНО до ЕК, потрібні засоби зберігання і відображення інформації, що мають широкі можливості, якими АКС чи його системи можуть не володіти. В деяких з таких АКС використовуються ЕК в спрощеному вигляді, який дозволяє реалізувати існуюча апаратура. Схематичне зображення на екрані дисплея місцевості в певній проекції, що не повністю відповідає вимогам до безпеки мореплавства, звичайно називається стилізованою (спрощеною) ЕКс. Для введення з паперових карт в пам'ять ЕОМ даних для стилізованих карт в ряді АСН використовуються спеціальні кодуючі планшети (chart digitizer). У деяких СВЕК, які мають дигітайзери і дозволяють судноводіям створювати свої власні карти (карти користувача), для полегшення утворення цих карт СВЕК має функції для нанесення умовних знаків певних типів КО: глибин, маяків, буїв, небезпек і т.д., а також інструменти для редагування ЕКс: очищення об'єктів, заміни характеристик, заміни об'єктів, копіювання із карти на карту, редагування написів, ліній і т.д.

2.2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМ З ЕК.

ВИМОГИ ДО АСНКвп. Міжнародними морською (ІМО) і гідрографічною (ІНО) організаціями визначені рекомендації і техніко-експлуатаційні вимоги до АСНК. Ряд із них приведений нижче.

Первинною функцією АСНК (ECDIS) є забезпечення безпеки мореплавства і при організації відповідного резервування вона може розглядатись як еквівалент паперових карт. Система повинна відображувати всю картографічну і навігаційно-гідрографічну інформацію, необхідну для безпечного і ефективного судноводіння. Система повинна

забезпечувати можливість виконання надійної коректури ЕК, дозволяти виконувати всі дії, пов'язані і попередньою і прокладкою, що виконується, визначеннями місця і безперервним відображенням поточного місця судна.

Для ECDIS IMO визначені наступні рівні інформації, що використовуються в ній, і зміст цих рівнів:

- Дані електронної карти — ДЕКвп (Electronic navigational chart data ENCD) означає набір даних, що підготовлений національними гідрографічними службами для ЕКвп в форматі, прийнятому для координатора ЕК.
- Базові дані електронної карти — БДЕКвп (Electronic navigational chart data base — ENCBD) — основні дані для виробництва і підтримки ЕКвп, утворені з ДЕКвп
- SEКвп — системна повномірна синтезована ЕК (System electronic navigational chart — SENC) — набір даних у внутрішньому форматі системи, які є результатом перетворення даних ЕКвп системою для відповідного використання включаючи облік коректур і інших даних, що додаються мореплавцем. Це той набір даних, що складає дисплейний файл ECDIS для відображення навігаційної карти, яка відкоригована, і виконання з її допомогою навігаційних функцій SEKen може містити інформацію і від додаткових джерел.

Інформація SEКвп доступна для відображення при плануванні маршруту і виконанні прокладки повинна бути поділена на три категорії: Базова SEK (Display Hmc); Стандартна SEK (Standart Display); Інша інформація (Other information).

Базова SEK (основна картографічна інформація) — означає рівень інформації SEK, яка не може бути усунена з дисплея, включаючи інформацію, що потрібна завжди, в усіх географічних районах і за будь-яких обставинах. Це однак не означає, що її достатньо для безпечного судноводіння. Базова SEK включає берегову лінію (для повної води); безпечну ізобату для власного судна, що обирається судноводієм; окремі підводні небезпеки з глибинами, Меншими безпечної, в межах району, який обмежено безпечною ізобатою; окремі небезпеки, що лежать всередині району, обмеженого безпечною ізобатою, такі як мости, лінії електропередач, включаючи буї і знаки, що використовуються або не використовуються як засоби навігації; системи руху; масштаб, вид орієнтації карти і режим дисплея; одиниці глибин і висот.

Стандартна SEK (основна картографічна і навігаційно-гідрографічна інформація) — навантаження карти, що повинне бути на дисплеї при першому тінникові карги в ECDIS. її складає мінімальний набір даних, що забезпечують безпеку при прокладці і плануванні шляху. Це навантаження надалі може модифікуватися судноводієм. Стандартна SEK складається з інформації: базової SEK; лінії осихання; стаціонарних і плавучих засобів навігації; кордонів фарватерів, каналів і т.і.; візуальних і радіолокаційних приметних об'єктів; заборонених і обмежених районів; рамок карти; попереджувальних мореплавцю.

Вся інша (додаткова) інформація — та, що відображається індивідуально на вимогу, включає: значення глибин; підводні кабелі і трубопроводи; маршрути поромів; деталі всіх окремих небезпек; деталі навігаційних засобів; зміст попереджень мореплавцю; дату видання ЕК; елементи геодезичної основи (Земного еліпсоїда); магнітне схилення; географічні назви і т.д.

Безпечна ізобата власного судна (own ship's safety contour) — це ізобата, відповідна найменшій безпечній, на погляд капітана, глибині для його судії при даній осадці

вводиться в пам'ять ECDIS судноводієм і служить для розрізнення на дисплеї небезпечних вод від безпечних і для виробітку сигналу про небезпеку посадки на мілину.

Згідно з пропозиціями Радіотехнічної комісії для морських служб (США) рекомендується для суден різних типів три категорії конфігурації АСНК:

—Категорія 1 (АСНКвп-1 або АСНК-1, ECDIS-1) призначена для використання суднами, де необхідно мати електронний еквівалент паперових карт. Конфігурація системи повинна мати як мінімум два багатокольорових дисплея. ECDIS-1 найбільш підхожа для великотоннажних океанських суден. Один графічний дисплей призначається для цілей навігації, другий—для планування маршруту і відображення навколишньої обстановки за інформацією РЛС. Для Подання ЕК необхідно мати графічний дисплей, ефективний розмір екрану якого повинен бути не менш 270х270 мм, а розмір пікселя—не більш 0.2 мм.

Піксел (pixel: скорочено від "picture element") — найменший елемент, що розрізняється растровими засобами, такими як дисплей, сканер і т.д. Піксел розглядається в програмах як одна точка певної яскравості чи відтінку. Вимоги до кольорів і ряд інших вимог до дисплеїв приведені в спеціальній публікації ІНО S-52. На дисплеї повинна забезпечуватись ясна видимість даних більше ніж одним спостерігачем як при денному світлі, так і вночі.

—Категорія 2 (АСНКвп-2 або АСНК-2, ECDIS-2) призначена для використання суднами, на яких необхідно мати електронний еквівалент паперових карт але де немає необхідності одночасно подавати інформацію карти і виконувати інші функції ECDIS, такі, наприклад, як планування шляху. Конфігурація системи повинна мати як мінімум один багатокольоровий дисплей. ECDI 2 найбільш підхожа для середньотонажних суден, що повторюють рейси одному маршруту обмеженої довжини в одному географічному районі. —Категорія 3 (АСНК—3, ECS-3) призначена для використання суднами і катерами, де необхідно забезпечити можливість подання на екрані дисплея певної навігаційної інформації. АСНК—3 не вимагає мати ЕК, еквіваленти паперовим навігаційним картам і призначена для використання спільно з паперовими навігаційними картами. ECS—3 найбільш підхожа для малих суден з невеликою осадкою і високою маневреністю.

В АСНК повинні використовуватися тільки офіційні картографічні дані, і тому числі і коректурні, останнього видання, підготовлені державними гідрографічними службами. Такі дані лаштуються по стандартам ІНО. Система повинна передбачати неможливість зміни цих даних на судні. Коректурні дані і дані ЕК повинні зберігатися в системі окремо одні від одних. Система повинна автоматично приймати коректурні дані по каналах зв'язку і вводити їх у свою пам'ять. Ручна коректура також можлива, проте її знаки повинні відрізнятися від офіційної коректури, що приймається автоматично.

При попередній прокладці повинні забезпечуватися нанесення прямолінійних і криволінійних ділянок шляху по планованому і змінному маршрутах і внесення необхідних відміток. Судноводій повинен мати можливість вводу меж відхилення від заданого маршруту. При перевищенні заданого відхилення від маршруту і при пересіканні небезпечної ізобати повинен подаватися попереджувальний сигнал.

При проведенні прокладки судно повинно знаходитися в межах району що відображається на карті (режим — ship on), для перегляду районів поз знаходженням

судна повинен бути інший режим (ship off), з якого негайно можна повернутися до першого режиму.

Система повинна мати можливість занесення в пам'ять і при необхідності запам'ятовування на тривалий час інформації про проходження процес судноводіння за останні 12 годин з інтервалом в 1 хв. і можливість повторно відтворення цієї ситуації на екрані в будь-який час. При цьому реєструють дані про час, місце, курс, швидкість, ЕК, що використовуються, і коректури до них.

Крім того, для відображення всього плавання записуються координати Німим судна з початку рейсу з інтервалом часу 4 години.

Крім того АСНК повинна:

- зберігати в судновій картографічній базі даних (КБД) і відтворювати в кольорі повний набір символів і скорочень, що використовуються при відображенні;
- картографічні дані району плавання; коректурну інформацію, яка введена в КБД вручну або автоматично. Стандарти і символи, що відповідають вимогам ІНО, публікуються в спеціальних виданнях цієї організації;
- відображати відмітку судна, планований і запасний маршрути; пройдений шлях з відмітками часу, інтервал між якими може встановлюватися вручну чи автоматично з інтервалом від 1 до 120 хв.; вектор шляхової швидкості; маркер; особливі відмітки, які задані судноводієм при проведенні прокладки (зчислиме місце і час, обсервоване місце і час) і ряд інших даних;
- забезпечувати можливість зміни місцезнаходження судна на карті вручну, цей процес повинен супроводжуватися відображенням координат судна в літерно-цифровому вигляді;
- перетворювати географічні координати в екранні і навпаки; розраховувати дійсну дистанцію і пеленг для двох будь-яких точок; визначати географічні координати будь-якої точки екрану, дистанцію і пеленг від власного місця НА цю точку; підраховувати довжину локсодромії чи ортодромії; визначати місце судна за даними гіперболічних систем;
- забезпечувати точність розрахунків, при якій неточність в положенні об'єктів на екрані не виходила б за межі графічної точності дисплея з числом роздільних елементів 1024x1024 пікселів;
- приймати вторинну інформацію від РЛ-системи і суміщати, по можливості, РЛ-зображення з електронною картою;
- відображати карти в режимі "Північ зверху". Додатково можна мати режим "Курс зверху";
- мати режим істинного руху. Можна мати режим відносного руху. В режимі істинного руху повинен здійснюватися контроль за підходом символу власного судна до рамки карти для своєчасної зміни карти з поверненням судна до центру екрану на задану судноводієм відстань.

На ЕК може накладатися радіолокаційна чи інша навігаційна інформація відображення якої проте не повинне робити гіршим або викривляти картографічну інформацію і повинне чітко відрізнятися від неї.

Повинна бути слідкуюча сигналізація і попереджувальна індикація, під якими мають на увазі: сигналізація — повідомлення акустичними або акустичними і візуальними

засобами про умови і ситуації, що вимагають уваги оператора; індикація — візуальне подання операторові певної інформації про функціонування системи чи устаткування; » сигналізація про вихід за кордони фарватеру; пересічення безпечної ізобати; перевищення заданого відхилення від маршруту; наближення до критичної точки (наприклад, до точки повороту); різних геодезичних основах систем визначення місця і карти; —сигналізація чи індикація про найбільший масштаб для ЕКвп; проходження шляху через райони з спеціальними умовами; невірне функціонування ECDIS; - індикація, що є ЕК більшого масштаба, інформація SEK і додаткова (наприклад від РЛС) в різних координатних системах; про планування маршруту; крізь безпечну ізобату; про планування маршруту крізь спеціальний район; про вихід з ладу системи визначення місця; про помилки, що виявлені при тестуванні системи.

ВИМОГИ ДО СИСТЕМ З СПРОЦЕНИМИ ЕК. ЕКс повинна містити наступний мінімум основних даних: контур берегової лінії; стаціонарні і плавучі навігаційні засоби; фарватери, канали, рекомендовані шляхи; системи розділення руху; заборонені і насичені райони; числовий і лінійний масштаб карти; значення координат кордонів карти і, як мінімум, по одній проміжній паралелі і меридіану; дату утворення ЕК і геодезичну модель. Допускається відображення і інших об'єктів.

Повинна бути можливість відображення на карті допоміжної інформації: лінії заданого шляху з поворотними точками; символу власного судні; лінії пройденого шляху; рухомого маркеру; введених вручну точок, різноманітного типу ліній, знаків, цифр, літер; графічних відміток вздовж лінії пройденого шляху з вказівкою часу, які вводяться кожну годину автоматичною системою і вручну в будь-який момент судноводієм.

Повинна бути можливість вводити заданий маршрут, що має до 99 шляхових точок. Маршрутні точки, лінія пройденого шляху і тимчасові відмітки повинні зберігатися в пам'яті системи не менше 5 годин і при необхідності і відтворюватися на екрані системи. Система повинна також мати можливість! і відображати місце судна за даними СНС, РНС, за зчисленням з автоматичним і ручним введенням даних швидкості і курсу і мати можливість коригувати зчислене місце судна вручну.

Символи і кольори картографічної інформації повинні бути максимально наближені до стандартів ІНО, а допоміжної інформації— відповідати і вимогам ІМО до ECDIS.

ЕКс повинні відображатися в проекції Меркатора, орієнтуватися по напрямку на Північ. Ефективний розмір ЕК необхідно мати не меншим 25 см по діагоналі розподільна спроможність повинна бути не гірше 0.5 мм. ЕКс повинні відображатися в стандартних масштабах навігаційних карт і мати можливість змінювати стандартний масштаб в крайньому випадку в два рази в більшу і меншу сторону.

Система повинна мати істинний режим руху, при наближенні відмітки на до границі екрану повинна автоматично вироблятися зміна ділянок карти щоб судно зміщувалось по курсу до краю екрану на встановлену відстань.

Зображення карти на екрані повинне бути чітким і добре видимим вдень та вночі в умовах нормального освітлення. Яскравість зображення повинні регулюватися. Картографічна інформація не повинна затінятися і викривлятися іншою інформацією.

. При виконанні прокладки система повинна виробляти і відображувати в літерній— цифровій формі наступні навігаційні дані: дату, час, дату внесення останньої коректури, географічні координати місця судна з вказівкою засобу визначення, ПК і швидкість власного судна з вказівкою джерел одержання, відстань, і пеленг на наступну поворотну

точку, географічні координати маркера, відстань і пеленг із судна на маркер, бокове відхилення від лінії заданого шляху.

Потрібно мати попереджувальну сигналізацію при досягненні заданої величини: бокового відхилення від лінії заданого шляху, дистанції до поворотної точки, відстані до перешкоди, що задається на ЕК судноводієм з допомогою символу.

Носій картографічної інформації повинен бути таким, щоб виключала можливість її стирання і зміни. ЕКс повинні видаватися відповідальними організаціями за узгодженням з Департаментом морського та річкового транспорту шляхом використання національного інформаційного банку даних картографічної інформації. Допускається утворення ЕКс на судні, причому відповідальність за такі карти несе саме судно.

Треба передбачати коректуру ЕКс за допомогою додаткових символів, введених судноводієм. Внесена коректура не повинна погіршувати ЕК і чітко відрізнятися від неї. Відомості про внесену коректуру повинні зберігатися в Ним 'яті системи і відображатися за запитом оператора.

При знятті даних навігаційних карт для утворення з них ЕКс допускають похибки таких величин: для берегової лінії— 3 мм; для стаціонарних і плавучих навігаційних засобів — 1 мм; для точок каналів, фарватерів, систем розділення руху, заборонених і насичених районів—2 мм; для ліній і крапок, які введені судноводієм—2 мм. Похибка вимірювання географічних координат маркером повинна відповідати 1 мм на екрані; похибка вимірювання полярних координат повинна складати по куту 0.5° , а по дистанції — 2% пів діагоналі карти чи 100 м залежно від того, що більше.

2.3. КАРТОГРАФІЧНА БАЗА ДАНИХ

Інформаційною основою СВЕК є КБД. Під КБД мають на увазі спеціальні» організовану для цілей судноводіння сукупність картографічних і навігаційно— гідрографічних даних на весь Світовий океан або його певну частину наприклад, КБД, що постачається фірмою NAVIONICS INC (США), містить, інформацію 5500 навігаційних морських карт на весь Світовий океан. Для зберігання КБД використовуються наступні види запам'ятовуючих циліндричні магнітні диски, інтегральна напівпровідникова пам'ять, циліндричні магнітні і домени і компактні оптичні лазерні диски. КБД складається з цифрових базових карт (ЦДБК), що записуються в пам'ять у вигляді окремих файлів й Таким чином, ЦДБК розглядаються як неподільні масиви інформації.

Розділення земної поверхні на набір окремих базових карт називається розграфкою чи нарізкою. В рівномірній розграфці, яка запропонована ІНО, у вигляді ліній, що поділяють базові карти, використовуються відрізки меридіанів і паралелей з ходом, однаковим по кутовій величині для широти і довготи параметри розграфки прийняті ІНО для планів — $7.5'$; карт гаваней — $15'$ карт підходів— $30'$; карт узбережжя— 1° ; генеральних карт— 5° ; карти світу — 10° . Для суднової КБД допускається нарізка і нумерація базових ЕК, відповідна нарізці паперових морських навігаційних карт.

Структура файлів ЦДБК орієнтована на швидкий пошук і вивід даних для відображення ЕК і рішення штурманських задач. Файл ЦДБК складається звичайно з великого числа записів про елементарні КО. Форми запису в файлі визначаються типом

міжнародних форматів для обміну цифровою картографічною інформацією. В загальному плані КО в записі характеризується п'ятьма ознаками: I, T, M, S, R. Ознака I представляє ім'я об'єкта і дозволяє однозначно визначити об'єкт в КБД і в складі ЦДБК. Ознака T визначає тип об'єкта і відповідне йому умовне зображення. Метричний опис M включає значення координат, що визначають просторове положення об'єкта на земній поверхні. Ознака S (атрибути) представляє набір властивостей об'єкта (висота, географічна назва...) і їх кількісні значення. Ознака R установлює відносини між об'єктами. Атрибут—це певна характеристика об'єкта (категорія вогню, граничний сектор і т.). Значення атрибуту—це специфічне кількісне чи якісне значення, приписане атрибуту.

В форматі S57 файли мають наступну структуру. Кожний файл визначається своїм ім'ям. На початку файлу розміщується заголовок для набору даних, що зберігаються в файлі. Після заголовку дається загальний опис (дескриптор) розміщення даних що зберігаються, після цього ідуть записи про КО (точкові, лінійні, площинні) і записи, що визначають конфігурацію і положення наземній поверхні складових частин об'єктів (сегментів). В загальному випадку дескриптор являє собою символ, слово, групу слів, текст, за якими здійснюється пошук необхідних відомостей.

Запис про КО містить його ідентифікатор, тип, характеристики властивостей (атрибути) і набір ключів до сегментів. Запис про сегмент містить його ім'я, ідентифікатор, до якого числа і яких об'єктів він відноситься, скільки містить точок і координати цих точок. В кінці файлу розміщуються записи текстової інформації для оператора, що характеризують словесно КО.

В загальному плані інформація КБД для подання судноводію розділяється на основну (О) і додаткову (Д). Основна інформація — це дані про картографічні і навігаційно-гідрографічні об'єкти, відображення яких необхідна для гарантованого забезпечення безпеки плавання. Інші об'єкти, відображення яких можуть бути потрібні судноводію, вважають додатковою інформацією! представляють на ЕК за запитом. До основної інформації звичайно відносять: рельєф берега і прилеглої місцевості; небезпеки: скелі, затонулі судна і інші; навігаційні засоби: вогні, маяки, знаки та інші; системи руху; кордони фарватерів, каналів; прикметні навігаційні об'єкти; заборонені і обмежені райони і ряд інших важливих при забезпеченні плавання об'єктів. Додаткову інформацію складають різноманітного роду служби для мореплавця, лоцманські і інші станції, звукосигнальні ЗНО, ізобати 10, 20, 30 і 50 м, підводні кабелі і трубопроводи, течії, деталі небезпек і навігаційних засобів і ряд інших об'єктів. Докладна інформація про належність КО до певного типу даних згідно з рекомендаціями ІМО і ІНО представлена в

Табл. 2.1 [17]. В ряді випадків КБД доповнюють відомостями, що розташовані в лоціях і інших навігаційних посібниках; правилами проходження акваторій і т.д.

Таблиця 2.1
Основний і додатковий зміст ЕК.

НАЙМЕНУВАННЯ картографічних об'єктів		Тип даних
1	Берег	
	Берегова лінія	О
	Лінія осушки	О
	Характер берега	Д
2	Рельєф дна	
	Глибина стандартна	Д
	Глибина недостовірна	О
	Глибина відмітна (банка)	О
	Ізобата безпечної глибини власного судна	О
	Ізобати інших глибин	Д
	Нуль приведених вимірюваних глибин	АЦ
	Характеристика ґрунту в точці	Д
	Опис ґрунту	АЦ
	Навігаційні небезпеки	
	Природні небезпеки (скала, вулкан і др)	О
	Штучні небезпеки (перепони, затонуле судно та ін.)	О
3	Глибина над небезпекою, висота осихання	АЦ
	Додаткова інформація	АЦ
	Навігаційні небезпеки з особливими ознаками ґрунту (осушка, мілина, райони нечистого ґрунту та інше)	О
	Об'єкти навігаційного значення	
	Рекомендовані шляхи (фарватери)	О
	Шлях з радіолокаційним проведенням	О
	Безпечний прохід	О
	Схема розділення руху суден	О
	Кордони (державні, територіальні води)	Д
	Заборонені райони	О
	Особливі райони (полігони, райони бойової підготовки та інше)	Д
	Течії	Д
	Швидкість течії	АЦ

	НАЙМЕНУВАННЯ картографічних об'єктів	Тип даних
5.	Гідротехнічні споруди	
	Портові об'єкти (волноломи, моли, пірси та інше)	О
	Споруди в морі (платформи, бурові вишки, лінії електропередач та інше)	О
	Підводні споруди (кабелі, трубопроводи та інше)	Д
6.	Засоби навігаційного обладнання (ЗНО)	
	Радіотехнічні ЗНО (радіомаяки, радіолокаційні відбивачі та інше)	Д
	Огороджуючі ЗНО (знаки, віхи, буї та інше)	О
	Топові фігури	О
	Кольор ЗНО	Д
	Створи	О
	Звукосигнальні ЗНО	Д
	Вогні (маяків, світлових знаків)	О
	Додаткова інформація	Д
7.	Суша	
	Природні об'єкти	Д
	Штучні об'єкти (населені пункти та інше)	Д
8.	Загальні дані	
	Масштаб карти	О
	Широтна рамка	О
	Кордон карт з різними рівнями навантаження	Д
	Широта, довгота	Д
	Одиниця вимірювання глибин, висот	О
	Магнітне схилення в точках	АЦ
9.	Інші дані	
	Служби	Д
	Контрольна точка доповіді по радіо	Д
	Топографічні і гідрографічні терміни	АЦ
	Попередження	АЦ(О)
	Інформація	АЦ

Для управління роботою КБД, взаємодії судноводія з СВЕК і виконані для нього задач обробки картографічної інформації використовується комплекс програм, що називаються системою управління КБД. Ці програми виконують наступні функції: забезпечують запровадження інформації в КБД доступ до інформації в КБД; обробку маркера; синтез, відображення, коректуру ЕК, управління системою.

СПОСОБИ ВВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В КБД. Передбачається три засоби введення інформації в КБД: масове введення графічної і текстової інформації з носіїв інформації при підготовці до плавання; ручне введення текстової і графічної інформації в режимі діалогу як при підготовці, так і під час плавання, включаючи введення інформації про маршрут що планується, оперативної інформації судноводія і коректур, що пері даються у вигляді текстових документів; автоматичне запровадження текстової і графічної інформації про коректури і оперативної інформації про обстановку в портах і гаванях, що передається по радіоканалах і по мнимих зв'язку з ЕОМ.

ВИДИ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ В КБД. Передбачаються наступні (моїм доступу до інформації КБД: тільки для читання (Read only); для читання і модифікації з

зберіганням старої інформації (Read and Modify); для читання, Модифікації і стирання (Read, Modify and Delete).

СИНТЕЗ ЕК—це перехід від цифрових даних карти до її зображення на екрані дисплея за допомогою засобів машинної графіки. Синтез ЕК включає в себе підготовку цифрових даних ЕК до відображення, обчислення розмірів екранної області, визначення ЦДБК для цієї області, формування запитів до К ИД і вивід з неї відповідної ЦДБК, зміну відображення, генералізацію, селекцію КО, перетворення географічних координат в екранні, відсікання КО, формування дисплейного файлу.

ЕК повинна відображатися відповідно до вимог стандарту S-52, які реалізовані у вигляді бібліотеки відображення, що складається з наступних елементів:

- 1) бібліотеки символів, типів ліній та стилів заповнення;
- 2) таблиці кольорів для різного часу доби;
- 3) набору таблиць перетворення для зв'язування описів об'єктів із ЕК з відповідною інструкцією символізації: прямий зв'язок (наприклад, опис буя, області суші) або з умовною символною процедурою, яка перетворюється у відповідну інструкцію символізації в залежності від значень, заданих судноводієм (наприклад, область глибин, колір заповнення якої залежить від заданого значення контуру безпеки);
- 4) каталогу класів навігаційних об'єктів, які не визначені в стандарті S57, але можуть бути добавлені до відображення карти (наприклад, власне судно, маршрут що планується).

При виконанні другої операції синтезу ЕК в залежності від розмірів екранної області визначається номер ЦДБК в межах вікна висвітлювання. На цій основі формується запит до КБД, що забезпечує вивід масивів інформації з відповідного файлу.

Зміна відображення проводиться при підході символу судна до границь екранної області. Для режиму "Північ вгорі" вона виконується у вигляді повної чи часткової зміни інформації, що відображається на екрані; а для режиму "Курс вгорі" — дискретним зсувом карти, що супроводжується частковим оновленням виведеної на екран інформації.

Генералізація — це операція по включенню або пропуску малозначних певних елементів при відображенні карти в певному масштабі, призначена, щоб уникнути перевантаження карти.

Селекція картографічної інформації— це вибір одного із існуючих в сиснім і режимів відображення інформації. Такими режимами можуть бути:

- відображення основної інформації;
- відображення основної інформації з виділенням (яскравістю, кольором чи іншими засобами виділення) або гасінням певного класу об'єктів (маяків, вогнів та ін.) з списку, що надається системою;
- відображення основної і всієї додаткової інформації;
- відображення основної і певних класів об'єктів (кабелів, трубопроводів т.і.) додаткової інформації з списку, що надається системою.

Вибір режимів відображення здійснює судноводій.

Згідно з вимогами ІМО інформація SEКвп діляться на три категорії висвітлені в розділі 2.2. Відповідно до цього в ряді АСНКвп можуть обиратися три види навантаження карти: базове, стандартне і повне. До цих видів навантаження може додаватися певна додаткова інформація.

В ряді випадків для морів з припливами КБД доповнюється файлами даних припливно-відпливних течій в вузлових точках залежно від фази місяця часу проходження його через меридіан. Програма управління КБ) відповідно містить файли з астрономічними константами, що дозволяють розрахувати фазу Місяця і час проходження його через меридіан. В цих випадках режими селекції доповнюються режимом відображення на ЕІ на поточний чи заданий час даних переважної в ці моменти припливної відпливної течії.

При виконанні операції відсікання виділяються КО чи їх частини, що ні влучили у вікно висвітлювання.

Перетворення географічних координат прямокутні екранні координати проводиться для побудови об'єктів в потрібному місці на екрані за допомогою засобів машинної графіки.

Дисплейний файл становить сукупність команд і операндів для виконання операцій машинної графіки при відображенні ЕК.

ВІДОБРАЖЕННЯ ЕК НА ЕКРАНІ. Відображення карти, що синтезувалася, включає: генерацію умовних знаків, поворот і відображення елементів зображень, заливку площ, обмежених замкнутими контурами.

ОБРОБКА МАРКЕРА. Виконуються наступні операції обробки маркера: визначення його географічних координат; знаходження пеленга і дистанції "судно—маркер" і "об'єкт—маркер"; ідентифікація об'єкта, накритого маркером, з поданням його характеристик.

УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ З ЕК. Приведемо ряд функцій, що використовуються для роботи з ЕК в СВЕК:

CHART — ця функція служить для вибору потрібної ЕК. Можливі ступні варіанти вибору ЕК: за адміралтейським номером (Load N); за допомогою вибору курсором потрібної карти за її номером і назвою із надав системою списку (Load list); із списку карт, в рамки яких влучає місце су (Load posn); автоматичний вибір за координатами місця судна карти сам великого масштабу (Autoload).

ANEAD — зміщення судна по курсу в режимі істинного руху. Ця функція служить для переміщення на екрані дисплея за бажанням оператора символу судна в сторону, протилежну курсу до границь екрану і перебудови карти навколо нового положення судна. Слід визначити, що при роботі системи, коли судно досягає границь екрану, ця операція виконується автоматично.

GRID — сітка. Функція служить для нанесення на електронну карту чи виключення сітки меридіанів і паралелей. **KKLBCT (DETAIL)**—вибір видів навантаження карти або елементів карти

Відображення або виключення їх на екрані. В першому випадку вибирається один із трьох видів навантаження: базове (Display base); стандартне (Standart Display); повне (Display All). У другому випадку із інформації ЕК звичайно включатися і виключатися наступні елементи: берегова лінія (coastline), (Дуги (isobaths), глибини (depth), маяки (lights), буї (buoys), радіонавігаційні буї (radionav.aids), глибини до значення (depth to), текст (text), назви (names), лінії (lines), ґрунти (seabed), течії (currents), попередження (warning). Режим селекції дає можливість штурману розвантажувати карту або навантажувати її ПИММ елементами, що йому потрібні при аналізі конкретної ситуації.

INFORM — інформація про об'єкт, виділений маркером. Функція служить для виводу інформації про об'єкт, що не відображається безпосередньо на ЕК. То може бути характеристика вогнів і знаків, радіонавігаційних засобів, рекомендованих маршрутів, заборонених районів, якірних Шин., і т.д. Наприклад, про маяки можуть виводитись наступні дані: внутрішній і міжнародний номер; повна назва; координати; висота споруди і висота над рівнем моря; характеристика вогню; період, число і тривалість проб-пін (затемнень); напрямок, колір і дальність видимості секторів; місцезнаходження (берег/море) і наявність району; характеристика і вигляд споруди; тобто інформація, що приведена для даного маяка в навігаційному посібнику "Вогні і знаки".

MARKER, MARKER/ERBL- виклик функцій маркера, маркера і лінійки (ERBL— electronic range and bearing line). Функція MARKER дає можливість одержувати географічні координати точки, яку маркер - на ЕК, відстань, прямий і зворотний пеленг з судна на цю точку. MARKER/ERBL служить для вимірювання з допомогою електронної лінійки з будь-якої точки екрану, на яку наведено маркер і що є початком лінійки, пеленга і відстані на будь-яку точку екрану.

POSITION ON/OFF- функція служить для "прив'язки" або "відв'язки" §к під місця судна. "Відв'язка" ЕК від місця судна зроблена для можливості перегляду будь-якого цікавого для судноводія району при роботі системи.

RB VIEW—перегляд карт. Функція дозволяє завантажувати цікаві для карти і здійснювати їх перегляд в обраному масштабі.

SCALE — функція служить для установки бажаного значення масштабу ЕК. Слід визначити, що в багатьох системах при зменшенні масштабу забезпечення не навантаженості карти деталями виконується "гасіння" п них елементів карти: ізобат, глибин, зон розділення і т.д.

ZOOM — вирізання екрану. Ця функція дозволяє на зображеній к зробити вирізу району і перегляд її в більш докладному вигляді на повний екран.

OBJECT—функція слідування за об'єктом. При її виконанні поточні значення пеленга і дистанції із судна на будь-яку нерухому на карті, яка може знаходитись в межах екрану або ні.

ALARMS — підключення різноманітного виду тривожних і попереджувальних повідомлень: про наближення до небезпечних глибин, заборону районів, точки повороту, несправності датчиків інформації і т.д.

EVENT — нанесення оперативної відмітки на лінії шляху з записом в пам'ять часу, відліку лага, курсу, швидкості і ряду інших параметрів.

2.4. АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ ЕКРАННИХ КООРДИНАТ ОБ 'ЄКТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕК

При побудові ЕК використовується частіше всього нормальна проекція Меркатора, для полярних областей застосовується також поперечна проекція дїя Меркатора і гномонічна проекція. Оскільки в КБД зберігаються географічні координати КО, для того щоб їх збудувати на екрані, необхідно перетворити їх в прямокутні екранні координати. Формули для розрахунку прямокутних екранних координат повинні забезпечувати розрахунок з точністю, що відповідає розподільній спроможності екрану, і з великою швидкістю, щоб при реалізації необхідних режимів роботи з ЕК не виникало великих

затримок побудові. Звичайно використання для цих цілей точних формул, за якими розраховуються картографічні проекції, не дозволяє поки що досягнути обхідної швидкості, тому використовуються різноманітні засоби прискорення розрахунку. Як приклад приведемо засоби, що використовуються при побудові електронних карт в нормальній меркаторській проекції.

Точні формули для розрахунку прямокутних координат X , Y об'єктів в меркаторській проекції мають вигляд

$$X = R(\varphi_0)(\ln U - \ln U_0)/M_0; \quad Y = R(\varphi_0)(\lambda - \lambda_0)/M_0.$$

В цих формулах

$$U = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{e/2};$$

$$R(\varphi_0) = \frac{a \cos \varphi_0}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_0}};$$

де φ_0 , λ_0 географічні координати початку прямокутної системи координат (головні паралель і меридіан),

M_0 – знаменник масштабу по паралелі φ_0

a , e – велика піввісь і ексцентриситет земного еліпсоїда

Розрахунок координат об'єктів за точними формулами пов'язаний з необхідністю обчислення значень тригонометричних функцій, логарифмів, показникових функцій. Тому що обчислення цих функцій проводиться за допомогою рядів, витрачений в цілому час виявляється суттєвим. Для зменшення часу розрахунків вдаються до спрощення розрахункових формул, дбаючи лише про те, щоб похибка обчислення екранних координат за цими формулами не перевищувала половини розміру пікселя. В цьому випадку ІК, збудовані за результатами розрахунку за точними і приблизними формулами, є ідентичними. У ролі спрощених наближень використовуються лінійне і таблично-інтерполяційне наближення. Лінійне наближення до нормальної проекції Меркатора застосовується у побудові карт, знаменник масштабу яких менш 100000. При такій умові викривлення в координатах, що розраховуються, не перевищує половини пікселя графічного дисплея з розв'язуючою спроможністю 1024x1024. Розрахунок екранних прямокутних координат щодо їх початку, за який звичайно приймається центр екранної області, при орієнтації ЕК по меридіану проводиться за відомими приблизними формулами

$$X_n = R(\varphi - \varphi_0)/M_0; \quad Y_n = R \cos \varphi_0 (\lambda - \lambda_0)/M_0;$$

де R —радіус земної кулі.

При орієнтації карти "по курсу" прямокутні екранні координати КО розраховуються за формулами

$$X = X_n \sin K + Y_n \cos K; \quad Y = -X_n \cos K + Y_n \sin K;$$

де K - істинний курс судна.

Таблично-інтерполяційне наближення до проекції Меркатора використовується при розрахунку екранних координат у випадках, коли лінійне наближення не забезпечує необхідну точність. Для дисплеїв стандартних розмірів при розв'язуючій спроможності

$$\Delta F_k: \quad F_k = \ln U_k; \quad \Delta F_k = \frac{F_{k+1} - F_k}{\varphi_{k+1} - \varphi_k}.$$

1024x1024 таке наближення застосовується для побудови карт, знаменник масштабу яких більш 100000. Суть цього засобу полягає в наступному. В пам'яті ЕОМ розміщуються розраховані за нічними формулами приведені значення меридіональних частин (F_k), відповідні значенням широт, узятих в інтервалі 0° - 85° у певному порядку, і різниці між ними.

Звичайно береться по 300-500 таких значень на зазначений інтервал широт. Значення екранної координаті X , відповідної широті ϕ ($\phi_k > \phi > \phi_{k+1}$), знаходиться з використанням інтерполяції між значеннями F_{k+1} , F_k за формулою

$$X = R \cos \phi_0 [(F_k - \Delta F_k (\phi - \phi_k)) / M_0]$$

Координата Y розраховується за формулою, що використовується при лінійному наближенні до меркаторської проекції.

2.5. КОРЕКТУРА ЕК.

Для підтримки ЕК на рівні сучасності передбачена їх коректура. Як відомо, розрізняють коректури офіційні, джерелом яких є гідрографічні служби, і місцеві, що надходять від місцевих авторитетних служб (Берегової охорони, лоцманської служби і т.д.). Офіційні коректури можуть бути наступними: локальні постійні чи тимчасові (з вказівкою терміну дії) коректури для додання, очищення, заміщення КО чи їх атрибутів; просторова коректури для повної заміни однієї чи деяких базових карт. Найбільш доцільним режимом внесення офіційних коректур в ЕК вважається автоматичний. Автоматична коректура повинна здійснюватися в стандартизованій формі. У ролі стандартного формату автоматичної коректури електронних карт ІНО запропоновано формат MACDIF.

Однією з вимог до коректурної інформації є те, що вона повинна відображатися на дисплеї, але не повинна змінювати зміст КБД. В використанні вихідної бази даних і коректурної інформації до неї в СВЕК зустрічаються два способи. В першому передбачається запам'ятовування двох баз даних: вхідної КБД і бази даних коректур до неї. В цьому випадку побудова ЕК і формування відповідей на запити виробляється шляхом роботи з двома базами даних. Другий спосіб полягає в зберіганні в судовій системі трьох баз даних: вхідної КБД, бази даних коректур і КБД, що відкоригувалася. При такій організації ЕК формуються тільки по КБД, що відкоригувалася.

Передбачається два види введення коректурної інформації в судові бази даних: автоматичний (основний) і ручний (допоміжний). Автоматична ЕК проводиться за допомогою носіїв інформації і по каналах радіозв'язку. В першому випадку її проводять в портах шляхом придбання дискет або касет з коректурною інформацією для існуючої судової КБД. Більш досконалою є автоматична коректура судових КБД за допомогою радіосистем. В розвинених країнах світу (США, Німеччині, Японії) розроблені пройшли випробування радіосистеми автоматичної коректури судових ЕК. Так, наприклад, в США фірмою MACSEA Ltd розроблена система NAVIGATES-C коректури навігаційних ЕК шляхом передачі даних по супутникових радіоканалах. Ця радіосистема забезпечує пряму передачу коректурної інформації в судові бази даних від Автоматичної служби сповіщення мореплавцю Картографічного управління департаменту оборони США.

Поточна коректурна інформація, а також всі минулі коректури можуть бути одержані від цієї системи за запитом у будь-який час доби і в будь-якій точці Землі.

В цей час деякі фірми виготівники ЕК для їх автоматичної коректури орендують супутникові канали радіо корпорацій, через які передають коректурну інформацію на судна, обладнані їх виробами.

При ручній коректурі запровадження даних проводиться оператором за допомогою спеціальної мови, в якій визначені формат запровадження і операції коректур. Набір таких операцій може включати в себе: перенос КО; редагування характеристик КО; очищення КО або його характеристики; включення КО або його характеристики; перейменування КО.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які вимоги пред'являє DMO до ECDIS?
2. Дайте визначення ЕК, що синтезується,
3. Яка ЕК вважається растровою, стилізованою?
4. Що таке картографічна база даних?
5. Дайте пояснення терміну "розграфка".
6. Яка картографічна інформація називається основною, а яка додатковою?
7. Назвіть основні види введення інформації в КБД і доступу до неї.
8. Які операції виконуються при синтезі ЕК?
9. В яких проекціях будуються ЕК?
10. Приведіть формули лінійного наближення для розрахунку екранних координат в нормальній проекції Меркатора.
11. В чому полягає особливість таблично-інтерполяційного способу апроксимації Меркаторської проекції?
12. Назвіть види коректур ЕК.

3. ПРИНЦИПИ СКЛАДАННЯ ПРОГРАМ ПЕРЕХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕОМ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМІСТІ ПРО ПЛАНУЮЧУ КОНСУЛЬТАТИВНУ ІНФОРМАЦІЙНУ НАВІГАЦІЙНУ СИСТЕМУ

Складова частина АКС, задачею якій є рішення питань, які зв'язані з формуванням програми переходу, нижче називається плануючою консультативною інформаційною навігаційною системою (ПКІНС). ПКІНС є найвищим в АКС за рівнем приладом управління, в задачу якого входить:

- формування оптимальних стратегій плавання за критерієм забезпечення максимального прибутку з урахуванням безпеки судна.
- корекція в процесі рейсу обраних стратегій плавання в залежності від обставин, що складаються на переході, включаючи формування стратегій для розходження з зустрічними об'єктами;
- виробітка здавальних діянь для реалізації обраної стратегії..

Під стратегією управління в загальному випадку мається на увазі план (алгоритм), що визначає послідовність керуючих дій, які забезпечують рішення задач, що мають певну протяжність в часі. Стратегія плавання являє собою план дій з виконання заданого переходу.

Вибір оптимального плану виконання переходу за критерієм одержання максимального прибутку вимагає обліку великого числа чинників навігаційних і гідрометеорологічних умов, стану судна і його механізм і властивості вантажу і правил його перевезення, характеру завантаженні стану суднової енергетичної установки (СЕУ), комерційно-правових маневрових властивостей судна та ін. Готових алгоритмів, що дозволять автоматично урахувати всі ці чинники при плануванні рейсу на ЕОМ. Тому на сучасному етапі функції по вибору оптимальної стратегії плавання поділяються між ЕОМ і судноводієм. На ЕОМ поки що покладають: приблизне рішення задачі вибору стратегії плавання на основі врахування тільки частини чинників, що впливають на ефективність рейсу; надання судноводію можливості редагування цієї стратегії; забезпечення судноводію можливості швидкого одержання інформації, необхідної оптимізації стратегії плавання. На судноводія покладається завдання плану переходу перед рейсом і в процесі його виконання на підставі свого досвіду і інформації, що одержується від суднової ЕОМ і інших джерел. Тобто на сучасному етапі основним режимом ПКІНС при вибої стратегій плавання є інтерактивний режим в діалозі з судноводієм, коли він, використовуючи можливості засобів автоматизації (вони повинні бути достатньо широкими) по зберіганню, пошуку, переробці інформації, по відображенню всіх сторін процесу, що планується, на ЕК, по обчисленню цього процесу, має можливість корегувати стратегії, що рекомендується системою.

Основними функціями ПКІНС є: складання плану виконання всього переходу або його частини; попередня оцінка ефективності наміченого плану, що включає розрахунок економічних витрат та витрат часу, показників навігаційної безпеки, морехідності. Початковими даними для програми плавання служать назви початкового і кінцевого їм переходу, сезон переходу, багато численні відомості, що характеризують навігаційні, гідрографічні, найбільш ймовірні гідрометеорологічні умови в районах переходу,

рекомендації і правила плавання і ряд інших. Стержнем програми є маршрут переходу, під яким мається на увазі лінія, яка складається з відрізків локсодромій (інколи і ортодромій), що задає шлях, який починається в пункті відправлення, проходить по безпечним глибинам і закінчується в пункті призначення. При характеристиці маршруту нижче використовуються поняття "відрізок маршруту" і «участок маршруту», значення яких тут різні. Відрізок маршруту — це частина між двома точками повороту, що являє собою відрізок локсодромії. Участок маршруту — це частина маршруту, прокладена між двома будь-якими точками.

В пам'яті ПКІНС складена програма плавання задається своїми даними, що визначають: маршрут проходження; режими оцінки стану і управління рухом, які забезпечують необхідну точність судноводіння на кожній ділянці маршруту і всі інші елементи програми. Звичайно, бажано, щоб кількість опорних даних була мінімальною. Тому при плануванні процесу судноводіння виділяються основні чинники, що визначають режим його виконання. Одним з основних таких чинників є вид району плавання. Тому ознака району, де проходить маршрут судна. Для установки значень цього параметра може використовуватися класифікація районів плавання, приведена в табл. 3.1. По ознаці району плавання для ділянок маршруту системою можуть рекомендуватись полоси руху, радіус чи кутова швидкість повороту при переході з одного відрізка маршруту на інший, засоби обсервацій і режим стабілізації судна на курсі, режим стабілізації судна на відрізках маршруту, що визначить час між корегуванням курсу, коефіцієнти закону корекції курсу при управлінні його положенням і ряд інших. Зважаючи на те, що приведена класифікація районів не завжди може врахувати особливості конкретних районів, визнається доцільним елементи програми плавання, що рекомендуються системою, представляти в ПКІНС судноводію для вдосконалення, забезпечивши йому можливість корегування елементів.

Таблиця 3. 1.
*Класифікація районів плавання в залежності від
необхідної точності судноводіння*

0	Стиснені води, в яких треба мати високу для цих вод точність судноводіння	СВ (0)
1	Стиснені води, в яких треба мати середню для цих вод точність судноводіння	СВ (1)
2	Стиснені води, в яких треба мати точність близьку до верхнього кордону точності для цих вод	СВ (2)
3	Прибережні води, в яких треба мати точність близьку до верхнього кордону точності для цих вод	ПВ (1)
4	Прибережні води, в яких треба мати точність близьку до нижнього кордону точності для цих вод	ПВ (2)
5	Відкрите море	ВМ

Охарактеризуємо окремі операції, які повинна виконувати ПКІНС.

ПОШУК ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАСТУПНИЙ ПЕРЕХІД І ПОДАННЯ ЇЇ СУДНОВОДІЮ. Для складання програми плавання необхідно ознайомлення з великим обсягом інформації, що відноситься до переходу. Автоматизація виконання цієї операції може бути здійснена при наявності в АКС інформаційних баз даних (БД): властивостей свого судна, картографічної, відомостей із лоцій, керівництв плавання і відомостей із інших посібників даних про властивості вантажу, правила його перевезення, комерційно-правові умови рейсу і ін. Пошук необхідних відомостей із названих БД проводиться за допомогою програмних засобів, що називаються системою управління БД. Ця система

забезпечує пошук інформації за назвами районів, приведеними в каталогах і підкаталогах, що відображаються на екрані, і по географічних координатах місця, що зазначаються шляхом наведення на ЕК маркера на об'єкт, про який хочуть одержати інформацію і т.д.

Для ефективного управління БД і виконання операцій з ними звичайні використовуються спеціальні призначені для роботи з масивами інформації алгоритмічні мови, такі як "Clipper", "dBase" та інші. Такі мови дозволяють: створювати і модифікувати структури необхідних користувачеві даних; - здійснювати введення, редагування, сортування та зберігання даних в базі;— обирати і відображати в різноманітній формі необхідну інформацію; обслуговувати БД (проводити копіювання, очищення, об'єднання масивів інформації);—приймати і передавати дані між системами;—формувати і робити розпечатку документів, а також виконувати інші операції.

ВИБІР МАРШРУТУ СЛІДУВАННЯ. Однією із основних задач у складанні програми переходу є вибір найзручнішого із точки зору безпеки довготривалості маршруту переходу із пункту відходу в пункт призначені. Під найзручнішим маршрутом для вантажних суден мають на увазі варіант шляху, по якому без невиправданого ризику судна в найкоротший або в заданий час забезпечується доставка вантажу у цілості в порт призначення з мінімальною витратою енергоресурсів і з максимальним прибутком. Звичайно маршрут визначається координатами точок повороту (маршрутними точками), що поділять маршрут на відрізки шляху. Обраний перед рейсом маршрут переходу є початковим варіантом шляху проходження.

ВИБІР РЕЖИМІВ КОНТРОЛЮ ЗА РУХОМ І УПРАВЛІННЯ РУХОМ. За функціонування полягає в виборі для маршруту систем визначення місця, частоти обсервацій, способу поворотів, режиму стабілізації на курсі, частоти і закону курсу судна для забезпечення безпечного і точного переміщення його маршруту.

ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ОБРАНОГО ПЛАНУ ПЕРЕХОДУ. Попередня оцінка безпеки наміченого переходу для відкритого моря полягає в оцінці морехідних якостей для штормових умов, що включає розрахунок резонансних зон по бортовому і кільовому хитанню; розрахунок умов заливаєності і слемінга; оцінку падіння швидкості ходу; оцінку погіршення остойчивості судна; вибір найбільш сприятливих значень курсу, швидкості і часу проходження ним. Задачі з оцінки безпеки плавання по наміченому маршруту в щільних водах включає: оцінку траєкторії руху судна на повороті і параметрів повороту (відстані до точки пересікання курсів, на якому слід починати поворот, полоси руху та ін.) для різноманітних умов плавання; оцінку точності навігації і судноводіння на відрізках маршруту і на поворотах; розрахунок мілководдя на осадку і швидкість судна, розрахунок явищ і ряду інших величин, а також розрахунок відстаней до небезпек, заборона планування шляху і прокладки курсу по небезпечним глибинам про наближення до поворотних точок і про інші дії.

КОРЕКЦІЯ ПРОГРАМИ В ПРОЦЕСІ РЕЙСУ. Зважаючи на те, що довготривалість рейсів велика і в процесі рейсу гідрометеорологічна обстановка в районі знаходження судна і на участку шляху, що залишився, можуть суттєво змінюватись, обрана перед рейсом програма переходу повинна залишатись без змін в моменти одержання прогнозів про умови судноводіння на подальшому шляху. В кінцевому рахунку план переходу буде оптимальним, коли на початковому і кожному наступному кроці його виконання обрані стратегії дозволяють одержати найкращі результати, які прогнозуються на час, що залишився. В задачу корекції маршруту входить опрацювання стратегій для розходження з зустрічними суднами.

Аналізуючи задачі, що повинні виконуватись при складанні програми переходу, можна встановити, що ПКІНС може ефективно виконувати свої функції в повному обсязі

в тому випадку, коли АКС здатен: зберігати, одержувати, опрацьовувати, відображувати інформацію морських карт, лоцій і інших навігаційних посібників; надавати відомості про маневрені властивості судна і використовувати їх при плануванні шляху; одержувати по каналах прогнози погоди, записувати їх у пам'ять і надавати судноводію в слушній формі; розраховувати припливно-відпливні явища в районах судна; зберігати, одержувати інформацію про властивості вантажів, що перевозяться, і правила їх безпечного перевезення; мати відомості про судна; зберігати, одержувати, надавати судноводію комерційно-правові відомості; оцінювати вплив мілководдя на стан судна; оцінювати морехідність судна в умовах хвилювання, визначати безпечний курс і швидкість та ін.

Виходячи з цього можна установити, що система вибору оптимальної стратегії плавання є консультативно інформаційною і тому тут вона названа «Плануючою консультативною інформаційною навігаційною системою» (ПКІНС). В цей час ПКІНС знаходяться в стадії розвитку. В загальному плані вони включають базу даних з судноводіння (БДС) і систему управління нею. БДС включає в себе наступні БД: картографічну, відомостей із лоцій і інших навігаційних посібників, приливних явищ, відомостей про судно, даних про вантажі, комерційної і правової інформації і ін. Система управління БДС становить набір програм, які забезпечують виконання функцій ПКІНС цьому наборі програм в залежності від виду інформації, що опрацьовується, виділяються ряд програмних модулів. Наприклад, такими модулями можуть бути:

- рекомендовані маршрути, дільниці маршрутів;
- картографічна і навігаційна інформація (електронні карти, відомості лоцій і інших навігаційних посібників);
- навігаційна безпека (розрахунки з оцінки точності судноводіння);
- погода (відомості про поточну погоду, прогнози погоди, прогнозування хвилювання, спостереження за погодою, їх кодування та ін.);
- приливні явища (розрахунки приливних рівнів і течій);
- маневреність (розрахунок траєкторій маневрів курсом швидкістю для врахування при попередній прокладці, планування маневрів в вузькостях для оцінки безпеки, облік впливу на маневри мілководдя, складання необхідних документів про маневрені властивості судна);
- морехідність (розрахунок резонансних явищ, вибір безпечного курсу швидкості, розрахунок втрат швидкості ходу на хвилюванні та ін.);
- мілководдя (розрахунки втрати швидкості, просадки, впливу зміни солоності води на осадку та ін.);
- вантажі (перелік вантажів, к властивості, характеристики, правила перевезення);
- вантажний план (розміщення вантажів, осадка судна, характеристики стійкості, міцності корпусу та ін.);
- СЕУ (відомості про суднову енергетичну установку, її стан, розрахунки, бункеровки, підбір суміші палива, розрахунок економічних режимів і ін,
- інвентаризація (стан судового майна і устаткування);
- комерційні відомості (ставки фрахту, вартість постачання, палива, витратних матеріалів, звітна комерційна документація та ін.);
- правові відомості (тексти конвенцій, правових актів, форми юридичних документів і ін.)

Нижче характеризуються функції деяких із цих модулів.

3.2. «МОДУЛЬ «РЕКОМЕНДОВАНІ МАРШРУТИ».

Модуль служить для вибору маршруту слідування, розрахунку його елементів, ручної корекції поворотних точок і інших елементів маршруту, надання режимів контролю за рухом судна, режимів руху і виконання поворотів.

ВИБІР МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ. Існують різноманітні засоби вибору за допомогою ЕОМ. Один з них припускає, що здійснити вибір маршруту і занести його в пам'ять ЕОМ повинен судноводій, а на ЕОМ покладається розрахунок всіх необхідних елементів програми (курсів, відстаней, витрат часу, моментів приходу в точки повороту і т.і.), а також знаходження оцінок, що дозволять в певній мірі судити про ефективність обраного варіанту. Недоліком такого підходу є досить суттєвий час, що витрачається на занесення в ЕОМ даних обраного маршруту. З іншої сторони, на сучасному етапі (коли не створені інформаційні бази даних навігаційних і гідрографічних умов, служба автоматичного прийому прогностичної інформації, не визначені чисельні узагальнені критерії ефективності судноводіння і т.д.) неможливо створити ПКІНС з повністю автоматичним вибором оптимального шляху. Тому вважається, що раціональний підхід до вибору маршруту полягає в визначенні за допомогою ЕОМ варіанту шляху з таким ступенем оптимальності, з яким визнається можливим реалізувати на ЕОМ на сучасному етапі, з наданням судноводію можливості оптимізації обраного маршруту шляхом його корегування на основі свого досвіду і існуючої у нього, але не заведеної до ЕОМ, прогностичної інформації на час переходу.

Звичайно для автоматичного визначення маршрутів застосовується експертна система, заснована на практиці вибору маршрутів судноводіями. В ній використовується БД маршрутів, що рекомендуються досвідченими штурманами для переходів між різноманітними портами. Для зменшення кількості інформації, що зберігається, ця БД інколи розділяється на дві: основну і додаткову. Додаткова (Way points library) утримує інформацію про підхідні до портів і гаваней участки та основні транзитні участки маршрутів (наприклад: "протока Босфор, напрямок південь", або "Дарданелли-Мотапан"), а основна (List of routes) включає в себе дані різних маршрутів: координати пунктів відходу, приходу, проміжних точок, коди транзитних ділянок. Нерідко ці бази доповнюються переліком шляхових карт. В нинішній час створені і використовуються різноманітні програмні засоби планування шляху. Найбільш досконалі з них забезпечують:

- відображення в декількох каталогах списку маршрутів і вибір будь-якого з них;
- відображення списків транзитних і підхідних до порту (відхідних від порту) діляниць маршруту по районам;

відображення елементів маршруту в табличному вигляді; цифрове запровадження і корегування: координат поворотних точок, швидкості на відрізках маршруту, часу прибуття в поворотні точки, а також розрахунок за опорними значеннями всіх цікавих для судноводія елементів маршруту;

- відображення обраного маршруту на ЕК для зорової оцінки з наданням можливості графічного редагування положення поворотних точок за допомогою маркера;

- безпеку маршруту при плануванні на ЕК шляхом використання попереджень: область небезпечних глибин, пересікання небезпечної ізобати, район обмеженого плавання, район з особливими умовами плавання.
- інверсування маршрутів;
- подання списку карт на перехід;
- друк опорних і розрахункових даних обраного маршруту;
- занесення нових маршрутів в БД з наданням можливості корекції помилок вводу;
- підключення програм імітації маневрів для включення в маршрут діляниць зміни режиму ходу і поворотів із одного відрізка маршруту на інший;
- вільний вибір будь-якої точки на лінії обраного шляху для розрахунку пеленга і дистанції на точку, що цікавить судноводія, чи для розрахунку дистанції і часу проходження до будь-якої наступної точки на лінії шляху.

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ МАРШРУТУ ПО ЗНАЧЕННЯХ ОПОРНИХ ПАРАМЕТРІВ. Плавання між шляховими точками при складанні маршруту планується проводити в основному по локсодромії. При плануванні океанського переходу, коли доцільно, використовують ортодромію; зрідка, коли ортодромія заходить в високі широти, між точками задається лінія шляху, яка задовольнить умову, що значення широти при плаванні по ній не перевищить задану.

Розрахунок плавання по локсодромії зводиться до визначення відстані S між початковою і кінцевою точками відрізків шляху і розрахунку напрямку ПУ з першої точки на другу за формулами:

$$\text{ШК} = \arctg(\Delta\lambda / \text{РМЧ}); S = \text{РМЧ} / \cos \text{ШК};$$

Де $\Delta\lambda$, РМЧ – різниця довгот і розрахована по широтах точок різниця меридіональних частин.

При великих океанських плаваннях може бути прийнято рішення прямування з точки $A(\phi_A, \lambda_A)$ в точку $B(\phi_B, \lambda_B)$ по ортодромії. Для аналізу отриманого виграшу в відстані розраховують між точками А і В довжину локсодромії $S_{\text{лок}}$ і ортодромії $S_{\text{орт}}$:

Курс і довжину кожного локсодромічного відрізка знаходять за вище даними

$$K = \arctg(\Delta\lambda / \text{РМЧ}); S_{\text{лок}} = \text{РМЧ} / \cos K;$$

$$S_{\text{орт}} = \arccos(\sin \phi_A \sin \phi_B + \cos \phi_A \cos \phi_B \cos \Delta\lambda)$$

Для здійснення плавання по ортодромічному відрізку АВ його замінюють декількома локсодромічними відрізками. Позначимо число цих відрізків для загального випадку через n . Розрахунок координат кінців локсодромічних відрізків звичайно ведуть через параметри пересікання ортодромії з екватором. Довгота пересікання ортодромією екватору і ортодромічний курс в точці пересікання знаходяться за формулами.

$$\lambda_e = \frac{\lambda_A + \lambda_B}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\sin(\varphi_A + \varphi_B) \operatorname{tg} 0,5(\lambda_A - \lambda_B)}{\sin(\varphi_A - \varphi_B)};$$

$$K_e = \operatorname{arctg} \frac{\sin(\lambda_A - \lambda_B)}{\operatorname{tg} \varphi_A}.$$

При розрахунку координат точок P_i кінців локсодромій знаходять або інтервал довгот, кратний $(\lambda_A - \lambda_B)$, або інтервал відстані, що приблизно проходиться за добу ($\delta S = 300-500$ миль), кратний Sort . В першому випадку довготи точок P_i знаходять так

$$\lambda_i = \lambda_A + i \delta \lambda$$

В другому випадку їх розраховують за формулами

$$\Delta \lambda_i = \operatorname{arctg} [\operatorname{ctg}(i \Delta S) \cos \varphi_A \csc K - \operatorname{ctg} K \sin \varphi_A];$$

$$\lambda_i = \lambda_A + \Delta \lambda_i;$$

Широти кінців відрізків локсодромій знаходять так

$$\varphi_i = \operatorname{arctg} \sin \frac{\lambda_i - \lambda_e}{\operatorname{tg} K}.$$

Курс і довжину кожного локсодромічного відрізка знаходять за вищезгаданими формулами.

При розрахунку найкоротшого шляху при умові, що значення широти при плаванні не буде більше $\varphi_{\text{зад}}$, спершу розраховують через однаковий інтервал δS кінці n локсодромічних відрізків, що замінять ортодромію AB (рис. 3.1). Якщо широта ближчої до полюсу точки P_i (позначимо її P_m), виявиться більше заданої, то локсодромія між точками A, B розділяється на n рівних частин точками C_i . На локсодромічному відрізку $P_m C_m$ знаходиться точка K_m , широта якої дорівнює $\varphi_{\text{зад}}$. Інші локсодромічні відрізки між відповідними точками ортодромії P_i і локсодромії C_i діляться точками K_i в відношенні $P_m K_m / K_m C_m$. Якщо широти всіх точок K_i менш $\varphi_{\text{зад}}$, то точки K_i розглядаються як кінці відрізків локсодромій шуканого найкоротшого шляху між точками A і B . Якщо широти всіх точок K_i менш $\varphi_{\text{зад}}$, то точки K_i позначаються P_i і за методикою, що охарактеризована вище, знаходяться координати нових точок K_i . Одержані при цьому точки K_i визначають кінці відрізків локсодромій шуканого найкоротшого шляху між точками A і B .

При розрахунку часу переходу швидкість судна на ділянках маршрут де є обмеження по швидкості, звичайно приймається рівній верхньому значенню допустимого діапазону швидкостей, а дня інших районів вона встановлюється рівною швидкості повного ходу (при необхідності значенні швидкості на відрізках маршруту можуть бути

відкориговані шляхом завдання іншого значення або встановлення часу приходу в кінцеву точку відрізка), Час проходження кожного відрізка маршруту одержується по його відстані і шляховій швидкості судна. Час переходу з одного значення швидкості на інші враховується по інформації про ці величини для даного судна або одержується з допомогою його імітаційної моделі.

Результати розрахунку елементів маршруту висвітлюються на екрані у вигляді таблиці, один із варіантів якої приведений нижче (табл. 3.2).

В таблиці час висвітлюється по Гринвічу (Г) або поясний (П). Відрізок можна задати по локсодромії (Л) або по ортодромії (О).



Запаси на рейс палива, води, мастил визначаються виходячи з тривалості плавання з урахуванням необхідного штормового запасу.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЛАНОВАНОГО МАРШРУТУ. В сучасних АКС при виконанні попередньої прокладки на ЕК передбачені заходи, що забезпечують певну міру безпеки маршруту, що вибирається. Це заборона прокладки шляху небезпечними глибинами і через заборонені райони, виробіток попереджень, коли шлях проходить через райони з особливими умовами.

Таблиця 3.2

Відображення результатів розрахунку елементів маршруту

N	φ	λ	ШК	Л/О	V	ΔS	S	Δt	Д — ч:хв
0	48–10.0N	123–25.0W	329.5	Л	20.0	5.9		0–00.3	18–18:18
1	48–15.1N	123–29.5W	278.1	Л	20.0	20.6	5.9	0–01.0	18–18:36
2	48–18.0N	124–00.0W	292.6	Л	20.0	31.3	26.5	0–01.6	18–19:37
3	48–30.0N	124–43.4W	277.2	Л	20.0	11.1	57.8	0–00.6	18–21:11
4	48–31.4N	125–00.0W	297.5	О	20.0	1245.1	68.9	2–14.3	18–21:45
.									
14	35–03.0N	139–46.3E	004.7	Л	20.0	7.0	4165.4	0–00.4	27–10:34
15	35–10.0N	139–47.0E					4172.4		27–10:56

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ КОНТРОЛЮ ЗА РУХОМ СУДНА. Контроль за рухом судна проводиться по зчисленню та по обсерваціях, причому зчислення є в переважній більшості випадків постійним елементом контролю, тому програмою плавання повинен задаватись режим обсервацій. При використанні АКС всі обсервації можуть бути поділені на автоматичні і ручні.

Перелік засобів обсервацій для рішення задачі контролю встановлюється з залежності від району плавання з використанням БД радіонавігаційних систем визначення місця. Із цього переліку знаходяться (автоматично або призначаються) судові прийоминдикатори для визначень місця і ділянки їх використання на маршруті. Один із варіантів автоматичного вибору полягає в знаходженні прийоминдикатора тільки однієї системи, яка забезпечує найкращу точність контролю за рухом. Інший варіант передбачає вибір основного найбільш точного засобу для визначень і додаткового для здійснення контролю за надійною роботою першого. Вибір засобів обсервацій в обох цих варіантах базується на апіорних моделях похибок систем визначення місця. Використовуються і більш складні варіанти використання засобів обсервацій, які передбачають вибір декількох засобів і спільну обробку їх даних.

Планування обсервацій може проводитися для можливості попередньої оцінки навігаційної безпеки і вибору найкращих обсервацій і орієнтирів із заданого обмеженого переліку. ЕОМ із переліку орієнтирів і видів обсервацій визначає конкретні види і визначає участки, на яких обрані обсервації є найкращими. Одержані результати подаються в якості рекомендації судноводію.

ВИБІР РЕЖИМІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ СУДНА НА ЛІНІЇ ШЛЯХУ. Найчастіше стабілізація судна на лінії шляху проводиться шляхом корекції системи кутової стабілізації. Режим стабілізації курсу і режим його корегування визначаються ознакою району плавання. Для підстройки характеру стабілізації курсу, як показує практика, звичайно достатньо двох значень такої ознаки ("відкрите море" і "стиснені води"). При виборі режиму корегування курсу для управління положенням судна на маршруті необхідно використовувати всі привезені в табл. 3.1 значення признаку району плавання.

Алгоритм корекції курсу для різних районів плавання може бути одним і тим же, тільки з різними коефіцієнтами, або різним. Виділяють часто дві групи алгоритмів, в одній із них корегування проводяться через постійний проміжок часу (окремий випадок — безперервний корегування), в другій корегування виконуються, коли оцінка відхилення судна від лінії шляху

досягає певного значення (на півширина зони відчутності). Перші найбільш відповідають плаванню в стиснених водах, а другі—в відкритому морі. Для корегування через постійний проміжок часу ознака району плавання, з врахуванням режиму обсервацій, визначає і час між введенням курсових поправок.

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ВИКОНАННЯ ПОВОРОТІВ. Режим зміни курсу визначається способом, що обрано для його здійснення, і значеннями параметрів цього способу. В програмі плавання по маршруту назначаються способи повороту, що виконуються системою.

Алгоритм управління рухом на повороті, його коефіцієнти і всі інші параметри повороту (відстань до точки пересикання курсів, на якому слід починати поворот; величина падіння лінійної швидкості; ширина полоси руху, що займається судном, та ін..) одержують в залежності від обраного режиму повороту. Для розрахунку параметрів поворотів в сучасних АКС частіше за все використовується імітаційна модель системи судноводіння, з допомогою якої при складанні програми плавання в прискореному часі послідовно від першого до останнього позначеним способом імітуються повороти на необхідні кути і запам'ятовуються параметри поворотів.

3.3. МОДУЛЬ "МАНЕВРЕНІСТЬ".

Програмний модуль "Маневреність" служить для обліку при попередній прокладці дільниць зміни режимів ходу і поворотів, планування в вузькостях для оцінки безпеки маневрів, обліку впливу на маневри мілководдя, складання документів про маневрені властивості судна.

В стиснених водах виконання поворотів звичайно заздалегідь планується з врахуванням умов плавання. В процесі планування вибирається підходящий спосіб повороту, оцінюється відповідна йому траєкторія центру маси судна і ширина полоси, що займається ним, визначається точка початку повороту і точка виходу на лінію нового курсу. Якщо немає надзвичайних причин, використовують поворот без зміни швидкості ходу з кладкою стерна на пів борта (15°) або з середньою кутовою швидкістю. Це дозволяє уникнути суттєвої падіння швидкості ходу і залишає можливість прискорити поворот, якщо виявляється, що під впливом неврахованих чинників він виконується недостатньо швидко. Коли поворот треба виконати з не дуже великим радіусом, стерні перекладається на борт без зміни швидкості руху. Якщо цього недостатньо щоб вписатися в поворот, додатково використовується дія гвинта для підвищення ефективності стерна. З цією метою машина стопориться, щоб швидкість ходу встигла суттєво зменшитись на час повороту, після цього в точні початку повороту стерно перекладається на борт і дається повний хід машиною.

Траєкторія центру маси і елементи руху судна при зміні курсу можуть наперед розраховуватися спрощеними способами, проте при їх використанні досить важко одержати задовільні прогнози траєкторій в умовах мурень. Найкращі результати при вирішенні цієї задачі дає застосування різних імітаційних моделей процесу судноводіння, які функціонують програмою виконання заданих поворотів або під управлінням операторі в умовах збурень (течія, вітер, мілководдя, погрішності ГК та ін.) з представленням процесу повороту в прискореному часі на ЕК. Ряд важливих цього процесу (відстань до точки пересикання курсів, в якій слід мати поворот, час повороту,

максимальна ширина полоси, що займається судном, і максимальна величина падіння швидкості ходу) подаються в цифровому вигляді.

При прогнозі поворотів, що буде виконувати стерновий, звичайно використовуються два способи управління моделлю; в першому поточні значення перекладки стерна і положення телеграфу (якщо він використовується при повороті) в процесі моделювання задаються оператором на основі контролю зміни елементів руху судна за модельованими показаннями ГК і лага; в другому — оператором задається вид маневру і час початку його виконання, а управління моделлю в процесі маневру проводить ЕОМ згідно з алгоритмом управління, що відбиває в середньому методику, за якою виконує маневр стерновий. Маневри, що виконуються автоматично, прогнозуються в відповідності з алгоритмом управління, що закладений в судновому керуючому приладі. Для того, щоб оцінити, які відхилення можуть викликати ті чи інші збурення в наміченій траєкторії повороту, передбачається зберігання за бажанням операнда декількох модельованих траєкторій і можливість їх виклику для рівняння між собою.

В сучасних АКС точка початку повороту, траєкторія руху центру маси судна на повороті і точка виходу на нову ділянку шляху, відповідні засоби оцінюваного повороту з заданим значенням його параметра, відображаються складові шляху при виконанні попередньої прокладки на ЕК.

На маршруті можуть зустрічатися ділянки, на яких швидкість ходу обмежена. При підході до таких ділянок швидкість ходу повинна бути знижена до заданої величини, а після їх проходження збільшена до повного ходу. Зміна режиму ходу займає певний час, за який судно минає певну відстань. При прогнозі цих величин можуть використовуватися аналітичні вирази. Найкращий прогноз дає застосування різничної моделі поздовжнього руху судна, яка враховує послідовність відпрацювання головною енергетичною установкою операції зміни режиму ходу і динамічні характеристики судна. Час і прохідна відстань при зміні режиму ходу в сучасних АКС враховується при виконанні попередньої прокладки на ЕК.

Модуль "Маневреність" також служить для отримання документації маневрування на екрані або в друкованому вигляді у відповідності до діючих стандартів. Складовими частинами цієї документації є:

—лоцманська картка (Pilot card): містить необхідну за стандартом ІМО інформацію про найважливіші структурні дані, відомості технічного спорудження, актуальні дані про судно (осадка і ін.);

—таблиця маневрених елементів (Manoeuvring informations): містить за формою ІМО інформацію про стандартні маневри, що характеризують поворотливість і інерційність судна (циркуляції, пасивне і активне гальмування

— маневр "Людина за бортом" (Man overboard): містить вказівки і графік маневрування при нещасному випадку "людина за бортом";

— інші функції (Funkctions) — будує графіки і подає таблиці елементів для маневрів, що вибираються судноводієм, з метою оцінки їх ефективності.

ПОНЯТТЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СУДНОВОДІННЯ. Імітаційна модель процесу судноводіння є одним з ефективних способів, що можуть використовуватись при складанні програми плавання, виборі керуючих дій і при оцінці безпеки наступних маневрів. Звичайно вона включає в себе окремі моделі: судна як об'єкта управління, вимірювальної системи, приладу управління, виконуючих механізмів, збурюючих впливів

і інших частин системи, а також програми, що об'єднує ці моделі в єдине ціле. В загальному виді вона відображена на рис. 3.2.

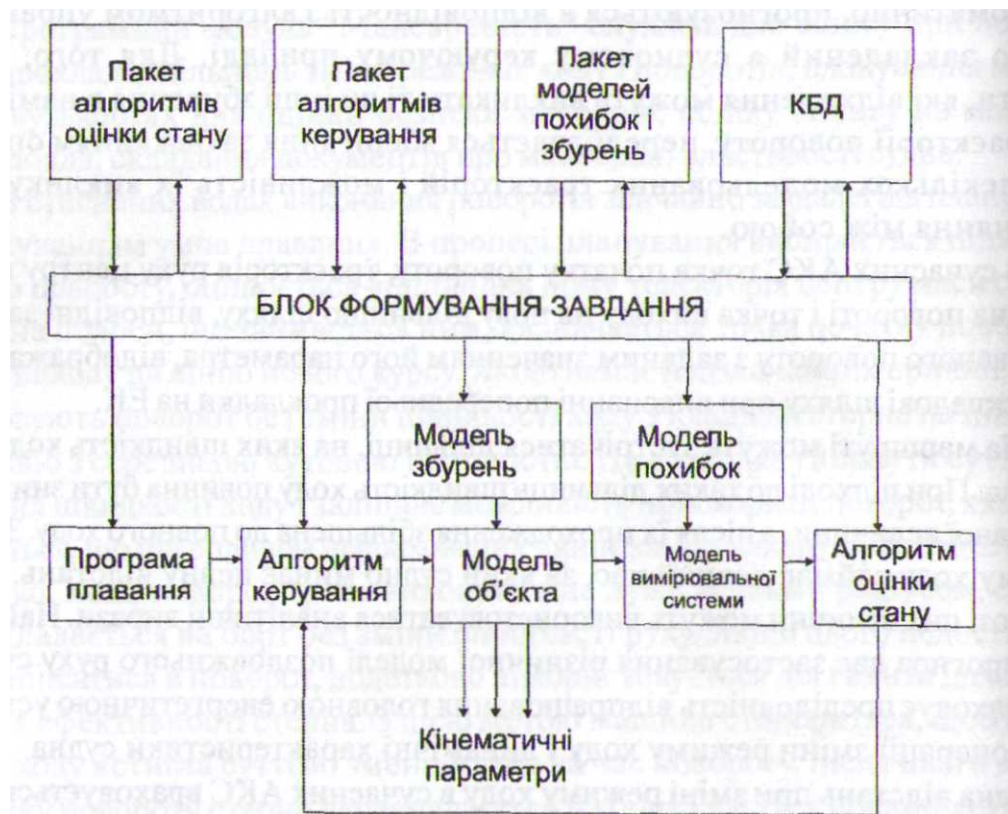


Рис.3.2. Структурна схема імітаційної моделі системи судноводіння

В ній реалізуються різні програми оцінки стану системи (зчислення з різноманітними видами обсервацій) і управління рухом (виконання маневрів курсом, швидкістю, комбінованих маневрів, стабілізації на лінії шляху плавання по заданому маршруту і т.і.). Існуючі програми об'єднані в пакети і зберігаються в ЗП. Програма плавання чи маневрів, що задаються для імітації, складаються з використанням програмних засобів планування завдань (на схемі блок формування завдань). За допомогою цього блоку вибирається карта району, виділяються орієнтири, задаються вітер і хвилювання, початкові значення кінематичних параметрів судна, вид маневру або траєкторія, по якій повинно пройти судно. При завданні траєкторії вказуються способи здійснення поворотів, види контролю за рухом, види управління і відповідні їм участки маршруту.

Різничні моделі елементів системи одержують на основі уже існуючих описів цих елементів у вигляді систем диференціальних рівнянь. Великий внесок в одержання таких описів для судна як об'єкта управління внесли Федяєвський К. К., Басін А. М., Соболев Г. В., Першиць Р. Я. Гофман А. Д. і багато інших. В основі моделі судна як об'єкта управління лежить опис руху судна в горизонтальній площині в загальному вигляді диференціальними рівняннями

$$\left. \begin{aligned} dW_x/dt - \omega W_y &= F_x \\ dW_y/dt - \omega W_x &= F_y \\ dM_k/dt - v_x W_y - v_y W_x &= M_z \end{aligned} \right\}; \quad (3.2)$$

де W_x , W_y — кількість руху судна, по поздовжній (OX) і поперечній (OY) вісям; M_k — момент кількості руху відносно вертикальної осі OZ, що проходить через центр маси судна; F_x , F_y — сума проекцій сил (крім інерціальних), що діють на судно по OX, OY; M_z — сумарний момент сил відносно OZ; v_x , v_y складові швидкості судна по OX, OY; ω — кутова швидкість судна.

Вхідними величинами моделі є положення органів управління (кут стерна, частота обертання гвинта чи кут атаки його лопастей і т. д.), значення параметрів, що характеризують збурення (напрямок і швидкість повітря, напрямок і швидкість течії, глибина під кілем, напрямок хвилювання і його період і т.і.). Вихідними величинами є кінематичні параметри судна (шляховий пуг, курс, швидкість і т.і.).

Модель включає в себе вирази для розрахунку поточних значень складових сил F_x , F_y і моменту M_z , що виникають від керуючих і збурюючих і дій реакції водного середовища; а також вирази для чисельного інтегрування системи (3.2).

Моделі вимірювальних приладів складаються із виразів для розрахунку незбурених (істинних) значень вимірювальних величин, детермінованих і випадкових складових похибок вимірювань. Незбурні значення вимірювальних величин знаходяться за кінематичними параметрами судна з врахуванням, коли необхідно, координат орієнтирів. Детерміновані складові похибок знаходяться з виразів, що відбивають закономірні їх зміни.

Моделі виконуючих механізмів (стернового приводу і стернової машини, енергетичної установки, підрулюючих приладів) представляються різними виразами, що відбивають процес відпрацювання ними поступаючих команд (величини переключки стерна, градацій руху).

Моделі збурень включають вирази для представлення детермінованих випадкових складових збурень.

При моделюванні випадкові погрішності і збурення звичайно представляються у вигляді суми елементарних компонентів, що є випадковими процесами з стаціонарними припущеннями n -го порядку, де $n=0,1,2,\dots$, причому ця стаціонарна частина є білим шумом або описується кореляції ними функціями виду

$$K(t) = \sigma^2 \exp(-\alpha t); \quad K(t) = \sigma^2 \exp(-\alpha t) (\cos \beta t + c \sin \beta t). \quad (3.3)$$

Випадкові процеси з стаціонарними припущеннями n -го порядку називаються однорідними в часі, бо їх поведінка, за винятком локального рівня або тренда, при зміні часу залишається однакою. Моделювання не детермінованих похибок і збурень при такому уявленні проводиться за значеннями білого шуму (з постійним розподілом і з певною дисперсією) з допомогою лінійних різничних співвідношень виду

$$\rho_t = A_1 \rho_{t-1} + A_2 \rho_{t-2} + \dots + A_k \rho_{t-k} + B_0 \eta_t + B_1 \eta_{t-1} + \dots + B_m \eta_{t-m}; \quad (3.4)$$

де ρ_t — значення модельованого процесу, що розраховуються з інтервалом часу Δ ; η_t —значення білого шуму; A_i, B_i —постійні коефіцієнти.

3.4. МОДУЛЬ «НАВІГАЦІЙНА БЕЗПЕКА»

Задачею навігації є оцінка положення судна і складових швидкості його руху. Ці елементи можна розглядати як вектор основних кінематичних параметрів об'єкта навігації. Погрішність навігації являє собою різницю між дійсним значенням цього вектору і результатом його визначення. Поняття "судноводіння" більш об'ємне, ніж поняття «навігація». Воно об'єднує всі операції, що виконуються при проведенні судна між заданими портами. Всі ці операції скеровані на виконання з необхідною точністю програми переходу, Тому точність судноводіння характеризується в основному величиною розбіжності дійсного руху з програми переходу. Під погрішністю судноводіння звичайно розуміється відхилення дійсного місця судна від заданого програмою, або тільки бокове відхилення судна від заданого маршруту. Задача попередньої оцінки точності системи полягає в тому, щоб за відомими статистичними характеристиками погрішностей вимірювань навігаційних параметрів, збуреннями у русі і передаточною функцією системи знайти статистичні характеристики погрішностей. При виконанні цієї задачі використовуються засоби, характеристика яких дається в багатьох джерелах. Як точність навігації, так і точність судноводіння суттєво залежать від району, де проходить рух судна, тому оцінку виробляти з прив'язкою до навігаційних умов наступного плавання. Для одержання гарантованого результату задача оцінки точності вирішується як найбільш ймовірних, так і для несприятливих умов плавання.

При оцінці точності навігації наступного плавання звичайно знаходять середню квадратичну похибку (СКП) планованих визначень, як функцію координат програмного місця судна в заданому районі з будівництвом на екрані точності. Ефективність судноводіння по маршруту характеризується показниками точності, надійності, втрат в швидкості ходу і витрати палива. Ці показники можуть бути абсолютними і відносними. Із перших можна назвати максимальне і середнє квадратичне відхилення судна від маршруту, дисперсію відхилення шляхового кута від заданого напрямку руху та ін. Перші характеризують у скільки разів кращий в тому чи іншому відношенні варіант проводки, що розглядається, ніж інший варіант, що вважається стандартним. При еквівалентності варіантів показники дорівнюють одиниці; якщо розглянутий варіант кращий, якщо гірший, то менше одиниці. Показники другого виду встановлюють, наскільки повно задовольняються існуючі вимоги до якості проведення. Вони звичайно дорівнюють одиниці, коли вимоги виконуються, приніс одиниці, якщо ці вимоги в повній мірі не виконуються. Такими показниками часто служать оцінки ймовірності дотримання вимог.

Про ефективність судноводіння прийнято судити по властивостях траєкторної похибки, її величині і характеру зміни. Під траєкторною розуміють бокове відхилення центру маси судна від заданого маршруту. Є різноманітні засоби оцінки ефективності судноводіння. За допомогою аналітичних засобів здійснюють попередню оцінку

ефективності судноводіння за математичними виразами, що поєднують характеристики вхідних сигналів системи з характеристиками вихідних. Ці вирази одержують на основі різних математичних описів системи: спрощених і алгебраїчних і трансцендентних співвідношень; спрощених у вигляді систем диференціальних чи різничних рівнянь. Із залежностей першого виду можна привести формулу М.М.Лескова для розрахунку необхідної величини вільного простору b , що дорівнює розмаху траєкторної похибки плюс габарити судна

$$b = 2E + 2V(t_u - t_s)dc + Vdc^2/\omega + L(c + dc) + B + 2Z ; \quad (3.5)$$

Де E – найбільша похибка визначень, м; V – швидкість судна, м/с; t_u – проміжок часу між обсерваціями, с; t_s – час на визначення, с; c – кут зносу, що враховується, рад; dc – похибка в куті зносу, рад; ω – середня кутова швидкість корекції курсу; L – довжина судна; B – ширина судна; Z – необхідний запас водного простору, м;

Значення середньої кутової швидкості, що приймається, приводяться у табл. 3.3

Таблиця 3.3

Середня кутова швидкість корекції курсу

Водотоннажність, тис.т	ω град/с
10 - 15	0.10
15 - 50	0.07
50 - 100	0.05
100 - 200	0.02

Аналітичні вирази для оцінки ефективності на основі описів системи судноводіння диференціальними і різничними рівняннями звичайно можуть бути знайдені тільки для режимів роботи системи, коли вхідні сигнали однорідні (являються процесами з стаціонарними n -ми прирощеннями) або квазіоднорідні; система вважається лінійною і стаціонарною (тобто має постійні коефіцієнти); траєкторна похибка стаціонарна або квазістаціонарна.

Ця оцінка базується на апріорних лінійних моделях похибок вимірювань і збурень в русі (в загальному випадку вони представляються у вигляді одного чи декількох компонентів з стаціонарними n -ми прирощеннями, стаціонарні прирощення мають кореляційні функції у вигляді суми згасаючих експонент і синусоїд). По параметрах кореляційних функцій з врахуванням дискретності обсервацій визначаються лінійні різничні моделі похибок вимірювань, як з генерованих білими шумами певної інтенсивності:

$$P_{it} = W(H)\eta_{it}$$

де $W(H)$ —дискретна передаточна функція, в якій H є оператором зрушення назад.

Враховуючи вид перетворення початкових даних при контролі за рухом судна, знаходиться різнична модель похибок оцінки бокового відхилення судна від маршруту в залежності від інтенсивності білих шумів. Після цього, враховуючи алгоритм стабілізації

судна на лінії шляху і лінійну модель цього об'єкта знаходиться різнична модель траєкторної погрішності Y , як суми складових, що викликаються погрішностями вимірювань і збуреннями в русі судна. Ця погрішність також являє собою суму компонентів з кореляційними функціями в вигляді експонент і згасаючих синусоїд. Враховуючи вид цих кореляційних функцій визначають аналітичні вирази для показників ефективності судноводіння.

Наприклад, для самого простого випадку, коли Y має кореляційну функцію

$$K_y(t) = \sigma_y^2 \exp(-\alpha t) (\cos \beta t + \alpha / \beta \sin \beta t), \quad (3.7)$$

показники ефективності судноводіння (дисперсія відхилення шляхового кута від заданого напрямку руху, середня кількість викидів траєкторної погрішності за рівень праворуч і ліворуч в одиницю часу і ймовірність того, що за ці межі не станеться жодного виходу траєкторної погрішності що обчислюються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\text{шк}}^2 &= \sigma_y^2 (a^2 + b^2) / v^2 \\ N_B &= (a^2 + b^2) \exp(-0,5r^2 / \sigma_y^2) / 6,28 \\ P &= \exp(-N_B t) \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Відносне прирощення ходового часу в порівнянні з часом при абсолютно точному витримуванні маршруту дорівнює $\sigma_{\text{шк}}^2$, а відносне зниження рівня навігаційних аварій при проходженні тієї чи іншої ділянки за рахунок поліпшення якості провадження судна оцінюється за формулою

$$W = N_{\text{св}} / N_{\text{в}}$$

Якщо немає можливості вивести формули для розрахунку показників ефективності з різничної моделі траєкторної похибки, то приходится використовувати для їх знаходження спосіб статистичних випробувань. Однією з переваг різничних моделей є можливість їх використання у вигляді імітаційних. Тому по моделі траєкторної погрішності на ЕОМ одержують представницьку одну чи ансамбль реалізацій траєкторної погрішності, що генеруються значеннях білих шумів. А після цього на основі статистичної обробки цих реалізацій знаходять показники ефективності судноводіння.

В загальному випадку процес руху по маршруту нестаціонарний. При такому характері процесу найбільш об'єктивно точність судноводіння по маршруту оцінюється способом статистичних випробувань, який полягає в моделюванні в прискореному часі реалізацій провадження по заданому маршруту в даному районі і оцінці по представницькому ансамблю таких реалізацій точності і надійності судноводіння. При такій оцінці імітаційна модель системи судноводіння, що охарактеризована вище, яка функціонує за заданою програмою плавання по маршруту, при заданих збуреннях в конкретному районі плавання. Реалізація засобу статистичних випробувань дозволяє врахувати багато численні чинники, що впливають на судноводіння, і дослідити його

точність і надійність при сприятливих, найбільш ймовірних і несприятливих умовах плавання.

3.5 ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ МІЛКОВОДДЯ НА РУХ СУДНА.

Програмний модуль "Мілководдя" служить для: вибору швидкості ходу, Оцінки втрат швидкості, розрахунку величини посадки судна, оцінки впливу зміни солоності води на осадку, оцінки впливу крену на осадку та ін.

Мілководдя виявляє суттєвий вплив на управління судном: при незмінній потужності головного двигуну швидкість зменшується, діаметр циркуляції і висув збільшуються, посадка змінюється, збільшується просідання корпусу. При оцінці безпеки складеної програми плавання ці явища повинні бути розраховані. Існують засоби оцінки окремих параметрів названих явищ і методи, що дозволяють оцінити їх вплив на процес виконання запланованих маневрів. Охарактеризуємо перші із цих методів.

Глибина, на якій починається вплив мілководдя на керування судно може бути визначена за формулою В.Г.Павленко:

$$H < 4T + 3V^2/g,$$

де T —середня осадка судна, g —прискорення вільного падіння.

Вплив мілководдя стає значним, коли $H/T < 2$. Облік падіння швидкості мілководді для докритичних швидкостей може бути виконаний на ЕОМ за емпіричною формулою С.І.Деміна

$$\Delta V = 4,4H/T - 0,34V/\sqrt{gH} \quad (3.9)$$

Збільшення осадки судна на мілководді для морських суден може бути одержано декількома способами, з яких найбільш часто використовується метод Реміша і метод Смірнова. Враховуючи, що ці методи докладно розглядаються в дисципліні "Управління судном", приведемо тут тільки алгоритм за методом Смірнова. Відповідно йому збільшення осадки кормою розраховується за формулою

$$dT_k = A K F V^2; \quad (3.11)$$

Тут коефіцієнти A, K, F розраховуються відповідно за таблицями 3.4, 3.5, 3.6 або з виразів, що їх апроксимують.

Т/Н	А	Т/Н	А
0.35	0.0146	0.70	0.0232
0.40	0.0156	0.725	0.0242
0.45	0.0164	0.750	0.0250
0.50	0.0174	0.775	0.0262
0.55	0.0187	0.800	0.0274
0.60	0.0201	0.825	0.0288
0.65	0.0216	0.850	0.0306

Таблиця 3.5
Значення К в залежності від l

L	до 100 м	100–150 м	понад 150 м
K	0.95	1.05	1.25

Таблиця 3.6
Значення F в залежності від початкового диферента на корму

Дифферент	0	0.5 max	max
F	1.00	1.025	1.050

Збільшення осадки носом знаходиться за формулою

$$dT_n = C dT_k \quad (3.12),$$

де коефіцієнт С вибирається в залежності від відношення довжини до ширини судна і коефіцієнта загальної повноти.

3. 6. РОЗРАХУНОК ПРИПЛИВНО-ВІДПЛИВНИХ ЯВИЩ

В ПКІНС розрахунок припливно-відпливних явищ виконується програмним модулем "Припливи". Для цього використовуються аналітичні засоби припливів за гармонійними сталими і базою даних, що включає файли:

- сталих для пунктів величин, використаних при розрахунку рівнів: середнього моря, гармонійних сталих (амплітуд і кутів положення) для виливних складових рівня;
- сталих для пунктів величин, використаних при розрахунку течій в вузькостях: координат точки, швидкості сталої течії, напрямку припливної течії, гармонійних сталих (амплітуд H_i і кутів положення) для компонентів швидкості течії;
- сталих для пунктів величин, використаних при розрахунку течій в відкритих місцях: координат точки, складових швидкості сталої течії по меридіану і гармонійних сталих (амплітуд і кутів положення) для припливних компонентів складових швидкості течії; сезонних поправок до середнього ріння для окремих портів чи їх груп;
- астрономічних характеристик в вузлових точках, використаних для інтерполяції значень на момент спостережень (або програма їх розрахунку на момент спостережень в залежності від координат Місяця і Сонця);
- сезонних поправок для деяких гармонійних сталих для пунктів, для яких вони суттєві.

Для розрахунку припливів на ЕОМ використовується загальна чи перетворена формули. Загальна формула для обчислення висоти припливу над нулем глибин (а також і для обчислення швидкості припливно-відпливної течії в складових) має вигляд

$$h_i = Z_0 + \Delta Z + \sum H_i F_i \cos(q_i t - g_i + v_i + u_i) \quad (3.13);$$

де q — кутові швидкості складових приливу, що є сталими величинами; ΔZ - сезонна поправка до середнього рівня; $F_i(v+u)$ — астрономічні аргументи (редукційні множники і астрономічні частини фаз), що залежать від положення Місяця і Сонця на момент розрахунку; t — час від опівночі, виражений в годинах.

При розрахунку рівнів може використатися 24 складових припливів або тільки 10, гармонійні постійні яких приводяться в англійських і американських таблицях припливів. Точність результатів в останньому випадку достатня для цілей навігації, особливо для планування шляху.

Головні складові припливів це:

- на півдобові: головна місячна M_2 ; головна сонячна S_2 ; велика місячна еліптична N_2 , велика сонячна еліптична T_1
- добові: місячно-сонячна деклінацій на K_1 , головна місячна O_1 , головна сонячна P_1 , велика місячна еліптична Q_1 ;
- мілководні: місячна 1/4 доби M_4 , місячна 1/6 доби M_6

Гармонійні сталі для пунктів Світового океану вибираються із спеціальних довідників або світового каталогу цих сталих, що видається Міжнародною гідрографічною організацією.

Таблиця 3.7

Астрономічні характеристики основних складових хвиль припливу

2	Складові $A=qt+v+u$		Редукційний множник f
	v	u	
M_2	$2L_c+2L_\lambda$	$-2.14\sin L_y$	$1.00-0.37\cos L_y$
S_2	0	0	1
N_2	$2L_c-3L_\lambda+L'_\lambda$	u_{m2}	f_{m2}
K_2	$2L_c$	$-17.74\sin L_y+0.68\sin 2L_y$ $-0.04\sin 3L_y$	$1.024+0.286\cos L_y+0.008\cos 2L_y$
T_2	$L_c+L'_c$	0	1
K_1	L_c+90	$-8.86\sin L_y+0.68\sin 2L_y$ $-0.07\sin 3L_y$	$1.006+0.115\cos L_y-0.009\cos 2L_y$
O_1	$L_c-2L_\lambda-90$	$10.80\sin L_y$ $-1.34\sin 2L_y+0.19\sin 3L_y$	$1.009+0.187\cos L_y-0.015\cos 2L_y$
P_1	$-L_c-90$	0	1
Q_1	$L_c-3L_\lambda+L'_\lambda-90$	u_{o1}	f_{o1}
M_4		$2 A_{m2}$	f_{m2}^2
M_6		$3 A_{m2}$	f_{m2}^3

Сталі для хвиль M_2 , S_2 , K_2 , O_1 , M_4 , M_6 приводяться також в англійських і американських таблицях припливів. Для решти хвиль наближено можна вважати: $H_{k2}=0.272H_{s2}$, $H_{t2}=0.059H_{s2}$, $g_{k2}=g_{t2}=g_{s2}$, $H_{N2}=0.2H_{M2}$, $g_{N2}=g_{M2}$; $H_{p1}=0.333H_{k1}$, $g_{p1}=g_{k1}$, $H_{Q1}=0.33H_{O1}$, $g_{Q1}=g_{O1}$.

Астрономічні характеристики основних складових хвиль припливу розраховуватися в залежності від середніх довгот Місяця і перигею й орбіти, середніх довгот Сонця і перигею його орбіти (L_c , довготи (угла орбіти Місяця (L) за формулами, які приведені, наприклад, в книзі Дуванина А.И. «Приливы в море».—Л: Гидрометиздат, 1960.—390 с, і подані у табл. 3.7.

Програма розрахунку припливно — відпливних явищ забезпечує: вибір даних із бази для заданого пункту; розрахунок рівнів і/або течій на задану добу і час; відображення і роздруковування добових, трьохдобових або тижневих графіків і таблиць рівнів та течій; розрахунок відрізка часу для проходження мілководної ділянки в залежності від осадки судна. При одержанні графіку на добу за наведеною вище формулою значення рівнів, швидкості і напрямку течії розраховуються для кожного часу доби і відображаються на екрані у вигляді графіків і/або таблиць, які можуть друкуватися за бажанням оператора. Трьохдобовий і тижневий графік одержується як сукупність добових.

3.7. МОДУЛЬ "ПОГОДА."

Модуль "Погода" (Weather) служить для відображення даних поточної погоди і прогнозів погоди на картах по позиції судна, розрахунку істинного вітру і його швидкості, розрахунків хвилювання, і виконання ряду інших задач. Він має декілька режимів, наприклад: "Огляд FAX-карт" (FAX-posn), «Спостереження за погодою» (Sea observations), "Розрахунок повітря" (Wind), "Розрахунок хвилювання" (Waves) та інші. Для

відображення потонних і прогностичних даних про погоду через канали зв'язку приймаються в пам'ять ЕОМ факсимільні карти. Після цього ці карти можуть представлятися на екрані дисплея з вказівкою мітки місця судна.

Програмний модуль "Спостереження за погодою" служить для проведення спостережень за погодою, їх кодування, зберігання результатів і передачі їх по каналах зв'язку на берегову станцію.

Режим "РОЗРАХУНОК ХВИЛЮВАННЯ" звичайно має під режими "Вітряне хвилювання" (Wind sea), "Брижі" (Swell sea), "Інтерференсні хвилі" (Trossea). При прогнозуванні вітряного хвилювання розраховуються його параметри: висота, період, довжина хвилі. Вхідними даними для розрахунків служать: сила повітря, час його дії. В районах шельфу і мілководдя можуть бути враховані глибина води, ширина морської дільниці, відстань від навітряного берегу до судна. У простому випадку розрахунок розвитку вітряного для глибокої і мілинної води може вироблятися в залежності від часу t_w дії вітру і його швидкості V_w за методикою А.І.Сорокіної, приведеною в книзі Абузярова З.К. «Прогнозирование морских волн». Океанология, Обнинск, 1977, 60 с. Середня висота хвилі H_w в цьому випадку знаходиться за формулою:

$$H_w = 0,0205 V_w^2 \left\{ 1 - \exp \left[-1,3 t_w / (0,526 V_w) \right] \right\}^{0,6} \quad (3.14).$$

Середній період хвилювання для глибокої води і для мілинного моря (глибина менш 98 м) одержуються відповідно з виразів:

$$T_w = 3,4 V_w \frac{(9,81 t_w / V_w)^{0,25}}{9,81}$$

$$T_w = 18,7 V_w \frac{(9,81 H_w / V_w^2)^{0,6}}{9,81};$$

Для розрахунку довжини хвилі, відповідної часу дії вітру, використовується формула:

$$L_{xb} = 1,56 t_w^2.$$

Для повністю розвиненого хвилювання на глибокій воді

$$L_{xb} = k g T_{xb}^2 / 6\pi;$$

Де g —прискорення вільного падіння; k — коефіцієнт, який визначає тип вітряного хвилювання (для регулярного хвилювання $k=1.0$, для нерегулярного хвилювання $k= 0.75$ -

0.78, для товчії АН). 67); $T_{\text{хв}}$ —середній істинний період хвилі.

На мілководді (глибина менш 98 м) для повністю розвиненого хвилювання висота та довжина хвилі від вітру може розраховуватися чи формулами, приведеними в книзі «Океанографические таблицы». 4 изд. Л. Гилоометеоиздат. 1975. 447 с:

$$\begin{aligned} H_w &= 0,028 V_w^{4/5} h_s^{3/5} \\ L_{\text{хв}} &= \frac{117 H_w^{3,5}}{V_w^{2/5}} \quad (3.15); \end{aligned}$$

де V_w —істинна швидкість повітря, м/с; h_s —глибина моря,

Режим "Брижі" надає можливість для віддаленої від області вітру ділянки розрахувати час до наступу брижів з різноманітною періодичністю хвиль, а також довжину хвиль. Для брижів довжина хвилі L_3 пов'язана періодом T_3 виразом

$$L_3 = \frac{g T_3^2}{2\pi}.$$

Для розрахунків використовуються дані про силу вітру, час його дії в області хвилювання і відстань від цієї області до місця судна або про висоту хвиль в області хвилювання і відстань від цієї області до місця судна. Відрізок часу до наступу брижів розраховується по відомій швидкості розповсюдження областей хвилювання з різноманітною висотою і періодами хвиль.

Середня довжина хвилі брижів на мілководді може визначатися в залежності від середнього істинного періоду і глибини моря за методикою, приведений в книзі «Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях».—Московское отделение гидрометеоздата, 1973, с. 165-166.

Режим "Інтерференсні хвилі" дозволяє розраховувати висоту накладених (інтерференсних) хвиль і напрям їх переміщення. Ці хвилі утворюються звичайно накладанням на брижі вітряних хвиль. Інтерференсні хвилі від накладання вітряного хвилювання і області брижів, а також двох областей брижів, особливо небезпечні для суден. Для розрахунку накладених хвиль необхідно знати довжину хвилі, періоди, висоти і напрям переміщення обох хвильових систем. За допомогою векторного додавання розраховується вектор руху інтерференсних хвиль, а їх висота одержується за формулою

$$H_i = \sqrt{H_w^2 + H_3^2},$$

де H_w —середня висота вітряних хвиль; H_3 — середня висота хвилі брижів.

3.8. РОЗРАХУНОК МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СУДНА

В ПКІНС задачі штормування судна вирішуються програмним модулем "морехідність", який звичайно настроюється на конкретний тип судна. З цією метою заздалегідь вводяться постійні для судна величини. З хвилюванням і визиваним ним хитанням пов'язані несприятливі для судна явища, такі як заливаємість, слемінг, збільшення навантаження на корпус, режиму гребного гвинта, погіршення стійкості, збільшення опору руху судна і ряд інших. Ці явища можуть бути небезпечними для судна та вантажу і впливати на економічні показники рейсу. Завдання оцінки безпеки судна в умовах хвилювання полягає в визначенні зон, у яких перелічені несприятливі явища стають небезпечними або мають місце. Під зоною тут мати на увазі область значень (курсого кута хвилювання і швидкості судна при його русі в умовах хвилювання певної інтенсивності і напрямку), в значення показника морехідності, що характеризує те чи інше явище, знаходиться в заданих межах.

Під штормуванням судна мають на увазі змушені зміни курсу судна для зменшення впливу шторму на судно, вантаж і людей. Правильний вибір цих величин може істотно вплинути на поведінку судна і значно можливість виникнення небезпечних ситуацій і небажаних явищ. Вибір засобу штормування залежить від багатьох причин: сили, характеру і напрямку вітру і хвилювання, наявності навігаційних небезпек, конструктивних особливостей судна, характеру завантаження і т.д. Із всіх можливих в штормування вибирається той, при якому курс безпечний і судно випробовує найменші удари хвиль і динамічні навантаження на корпус, менш заливається, не має резонуючого бортового і кільового хитання. Для того, щоб судно володіло хорошою морехідністю, його хитання повинні бути плавними і помірними, тобто мати великі періоди і малі амплітуди.

При виборі засобу штормування звичайно визначаються: резонансні зони бортовому хитанню; зони заливаємість і слемінга; величина втрати швидкодії, небезпечні з точки зору міцності корпусу зони; небезпечні зони з точки зору втрати стійкості. Елементи хвилювання, необхідні для розрахунку цих зон, одержують з прогнозів погоди і стану моря, фактичних чи прогностичних карт хвилювання, шляхом безпосереднього вимірювання. Ці елементи можуть також розраховуватися з використанням сучасних математичних моделей хвилюванні виходячи з сили вітру, тривалості його дії, відстані від навітряного берегу, глибин моря і ширини водної дільниці. Зазначені зони звичайно відображаються на круговій діаграмі з координатами, що надається на екрані дисплея. Надається можливість по діаграмі для заданої швидкості визначати сектори резонансних курсів судна, одержати рекомендації, як за допомогою зміни швидкості чи поперечної метacentричної висоти уникнути резонансу на обраному шляху.

Програмний модуль "Морехідність" має, звичайно, декілька режимів, наприклад: "Резонанс" (Resonanse), "Слемінг" (Sleming), "Швидкість" (Speed), "Стійкість" (Stability). В першому режимі на екрані представляються резонансні від повітряного хвилювання і брижів з можливістю входження по заданому ходу хвилювання, по довжині хвилі, по висоті хвилі 3% забезпеченості. Щоб уникнути підсилення бортового хитання в режимі резонансу, потрібно обрати швидкість і курс судна щодо хвиль так, щоб вектор швидкості судна закінчувався за резонансними зонами. В режимі "Слемінг" оцінюється можливість

донного слемінга. Він також дозволяє обрати осадку носом і швидкість судна, при якому зменшується ймовірність слемінга. Режим "Швидкість" дозволяє оцінити швидкості судна на хвилюванні. В режимі "Стійкість" оцінюється міра впливу хвилювання судна, особливо попутного, на характеристики стійкості.

Для розрахунку штормування існує декілька типів алгоритмів. Нижче при розгляді режимів програмного модуля характеризується самий простий з них, заснований на формулах розрахунку морехідних якостей судна, приведених в книзі «Справочник капитана». Под ред. Г.Г.Ермолаева.—М: Транспорт, 1988. — 248с. Розрахунок засновується на параметрах істини хвилювання: період—Т, довжина хвилі—Ц, висота хвилі 3% забезпеченості — $H_{\max}$, напрям хвилювання — $K_{\text{хв}}$ та параметрах судна: довжина ширина—В, висота борту—Н, водотоннажність—D, поперечна метацентрична висота— $h_{\text{мц}}$, коефіцієнтів загальної повноти — $C_{\text{вд}}$, і повноти ватерлінії— $C_{\text{м}}$. Параметри істинного хвилювання одержують розрахунковим шляхом на підставі або вимірювання періоду і напрямку хвилювання, що дається, або по напрямку і швидкості вітру, враховуючи період його дії.

В режимі «РЕЗОНАНС» для визначення резонансних зон по бортовому хитанню визначається період бортової качки судна $T_{\text{бк}}$ на хвилюванні за формулою:

$$T_{\text{бк}} = 2\pi \cdot I_x / D h_{\text{мц}}$$

Де I_x – момент інерції маси судна з приєднаною масою води щодо поздовжньої осі. Значення I_x знаходиться за формулою

$$I_x = D \left(\frac{(BC_{\text{вд}})^2}{11,4 C_{\text{вд}}} + \frac{H^2}{12} \right).$$

Якщо період хвилі, що задається $T_{\text{хк}}$, знаходиться в межах $0,7T_{\text{бк}} - 1,3T_{\text{бк}}$, то качка буде відбуватися в умовах резонансу і відрізнятися підвищеною інтенсивністю. Період $T_{\text{хк}}$ залежить від довжини хвилі, курсового кута хвилю-Пня $KK_{\text{хв}}$ і швидкості судна:

$$T_{\text{хк}} = T_{\text{бк}} (1,25 \sqrt{L_{\text{хв}}} + 0,514 V \cos KK_{\text{хв}}) \quad (3.16).$$

Для визначення кордонів резонансних зон для $KK_{\text{хв}} = 180^\circ$ визначаються кордонні значення $V_{\text{и}}$ і $V_{\text{к}}$ швидкості судна для $T_{\text{хк}}$ рівних $0,7T_{\text{бк}}$ і $1,3T_{\text{бк}}$

$$V_{\text{и}} = \left(\frac{L_{\text{хв}}}{0,7T_{\text{бк}}} - 1,25 \sqrt{L_{\text{хв}}} \right) / 0,514;$$

$$V_{\text{к}} = \left(\frac{L_{\text{хв}}}{1,3T_{\text{бк}}} - 1,25 \sqrt{L_{\text{хв}}} \right) / 0,514.$$

Побудувавши на круговій полярній діаграмі V , $KK_{хв}$ перпендикуляри до лінії $KK_{хв}=180^\circ$ в точках V_H і V_K , одержимо зону резонансного хвилювання. Якщо обрати граничне значення швидкості судна на діаграмі 24 вузли, то кути, що відсікаються цими прямими лініями на круговій діаграмі в радіанах вираховуються за формулами:

$$KK_H = \arccos\left(\frac{-V_H}{24}\right); \quad KK_K = \arccos\left(\frac{-V_K}{24}\right).$$

Для того, щоб уникнути підсиленої бортової качки треба обрати швидкість і судна щодо хвиль так, щоб вектор швидкості судна на діаграмі закінчувався їй і їй резонансних зон. Беззастережно повинні виключатися: поєднання курсів і швидкостей, при яких кінець вектора швидкості судна належить резонансній зоні бортової качки; курсовий кут хвилі, укладений в межах $78 < KK_{хв} < 102$ градуса.

Резонансні зони по кільовому і вертикальному хитанню визначаються аналогічно по періодах кільового $T_{кх}$ і вертикального $T_{вх}$ хитання, які можна визначити за формулами

$$T_{кх} = 6,28 \sqrt{\frac{1,96 C_{вд}}{9,81 C_{вд}}}; \quad T_{вх} = 6,28 \sqrt{\frac{0,204 T_{ср} C_{вл}}{C_{вл}}};$$

Де $T_{ср}$ — середня осадка судна.

Режим "СТІЙКІСТЬ". Відповідно до Рекомендацій штурманської служби на судах ММФ (РШС—89) небезпечними з точки зору зменшення на попутному хвилюванні вважаються режими, при яких період, що задається для хвилі, довжина якої однакова з довжиною судна, перевищує величину $2T_{бк}/1.3$. Це враховано в програмі повідомленням про можливість перевертання судна. Крім того, небезпечними вважаються напрям вітрового хвилювання і брижі на чисто носових і кормових кутах, коли довжина хвилі співвідноситься з довжиною судна. При виникненні зазначених явищ програма сигналізує інтенсивним звуковим сигналом.

Режим "СЛЕМІНГ". Слемінг становить гідродинамічні удари хвиль в днище носової частини судна. Звичайно він супроводжується сильними плеканнями хвиль і zalиванням палуби аж до середньої надбудови. Слемінг спостерігається при плаванні на зустрічному хвилюванні при курсових кутах 0-45 градусів. Сила і частота повторення ударів збільшуються з зменшенням осадки судна і збільшенням дифферента на корму. Найбільш просто умову відсутності слемінга можна визначити за формулою

$$\frac{L}{T_H} \leq AL_{\max} \exp\left(\frac{KK_{хв}}{k_{сл}}\right) / H_{\max} \quad \text{або} \quad \frac{L}{T_H} \leq \frac{AL_{\max}}{H_{\max}};$$

де T — осадка судна носом; $L_{\max}$, $H_{\max}$ — найбільші довжина і висота хвиль; A — коефіцієнт, залежний від числа Фруда і відношення L/B ; $k_{\text{сл}}$ — коефіцієнт, який визначається емпірично за результатами спостереження слемінга.

Значення коефіцієнта A визначається з поданих в "Справочнике капитана" графіків, апроксимованих за допомогою підхожих виразів.

При необхідності в режимі "Слемінг" можна визначити осадку судні носом, при якій не буде слемінга.

Режим "ШВИДКІСТЬ". Швидкість судна при плаванні в штормових умовах може істотно відрізнятися від швидкості на тихій воді при одній і тій же потужності, що розвивається головними механізмами. Це викликане змінами загального опору води руху судна, умов гідродинамічного режиму роботи двигунів і ризиканням судна на курсі. Міра впливу цих чинників на швидкість судна різна і залежить як від елементів хвилювання, вітру, хитання і ризикання на курсі, так і від технічних даних судна і його конструктивних особливостей.

Хвильова dV_B і вітрова dV_w складові втрат швидкості можуть бути одержані за спрощеними формулами:

$$dV_{\text{хв}} = (0,745h_{\text{хв}} - 0,275h_{\text{хв}}KK_{\text{хв}})(1 - 1,35 \cdot 10^{-6}DV_0);$$

$$dV_w = V_0 - \left[(V_0^2(1+k_w) - k_wV_w^2)/(1+k_w) + k_wV_w \cos KK_{\text{хв}}/(1+k_w) \right]^{0.5}$$

В цих формулах: V_0 — швидкість судна на тихій воді, відповідна фактичним обертам двигунів і водотоннажності судна в рейсі; $KK_{\text{хв}}$ — курсовий бігу фронта хвилі; $h_{\text{хв}}$ — висота хвилі 3% забезпеченості; D — водотоннажність судна в рейсі; V_w — швидкість істинного вітру; k_w — вітровий коефіцієнт судна, що визначається за формулою:

$$k_w = C_q S/E/Q/800;$$

де C_q — коефіцієнт вітрового опору; S — площа проекції надводної частини судна на площу міделя; B — коефіцієнт повного опору води підводної частини судна; Q — змочена поверхня судна.

3.9. КОРЕКЦІЯ МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ ПОЛІВ ХВИЛЮВАННЯ

Найбільш частою причиною корекції обраного шляху в процесі рейсу є необхідність його зміни при виникненні штормових умов для забезпечення безпеки судна і вантажу. Складовою частиною цієї задачі є оцінка безпеки плавання певних умов. Безпека плавання в умовах хвилювання визначається по характеристиках морехідності судна. При виборі трансокеанського шляху знаходиться декілька полів хвилювання і постає задача так

обрати щоб він був безпечним і здійснювався в найкоротший термін. Рішення такої задачі одержується в центрах, які здійснюють проведення суден по шляхах. Засоби її рішення висвітлюються в літературі з судноводіння. Реалізація задачі вибору маршруту на основі прогнозів полів хвилювання в бортовому АКС стає ефективною, коли забезпечене автоматичне запровадження даних прогнозів погоди з Гідрометцентрі в пам'ять АКС по каналах зв'язку. Для таких передач дозволяє також представити дані про очікувану на екрані дисплея спільно з навігаційною і картографічною інформацією, найбільш наочне і повне уявлення про умови судноводіння.

При наявності штормових умов в районах плавання, вибір найкращого маршруту між двома точками шляху звичайно зводиться до його знаходження перебором декількох варіантів. В процесі такого перебору на основі полів хвилювання і даних про морехідні якості судна для кожного відрізка маршрутів знаходяться значення безпечної швидкості, за якими визначається час витрачаємий на перехід. Найкращим буде маршрут, час якого мінімальний. Визначення набору маршрутів виконується двома способами: в першому координати точок поворотів маршрутів задаються судноводієм; в другому – вони автоматично генеруються в самій системі. Перший спосіб раціональний для районів, де острови, узбережжя, навігаційні небезпеки і різноманітні перепони впливають на вибір варіантів шляху. Для реалізації цього способу АКС повинен мати можливість планування декількох маршрутів і проводити розрахунок їх елементів.

Спосіб генерації маршрутів ефективний для трансокеанських переходів, де в достатньо широкій області між точками відходу $A(\varphi_A, \lambda_A)$ і приходу $B(\varphi_B, \lambda_B)$ всі маршрути проходять над безпечними глибинами. Засоби генерації маршрутів можуть бути різноманітними. Нижче характеризується тільки один з них, що зводиться до визначення мережі точок поворотів P_{ij} , де із різноманітних маршрутів, що проходять через них, вибирається найкращий. Відповідно до цього способу спершу на північ або на південь від лінії найкоротшого шляху АВ (рис. 3.3) задається величиною максимальної ширини (L) область, в якій буде занесена мережа точок поворотів (коли є сумнів, на північ або на південь найкоротшого шляху обирати маршрут, то задається дві області, в кожній із яких буде шукатися маршрут). Мережа точок поворотів в одній області визначається наступним чином. Найкоротший шлях поділяється точками P на однакові відрізки ($\Delta S=300-500$ миль).

Величина заданого максимального відхилення L поділяється на n рівних частин ΔL , по яких знаходяться $L_j=j\Delta L$, де $j=1,2,...,n$. Точки поворотів наносяться на ізостадіях S_i точки В, що проходять через точки P_{i0} , на відстанях L_{ij} від P_{i0} . Значення $L_{..}$ одержується за формулою

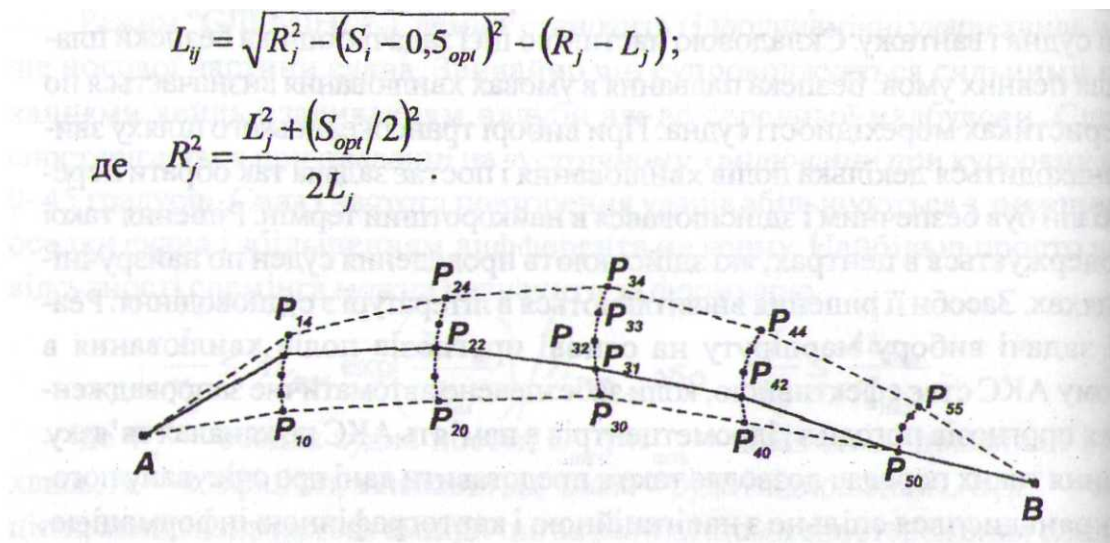


Рис. 3.3. Пояснення до способу генерації маршрутів

Для визначення найзручнішого шляху аналізуються маршрути, що проходять через точки P де $i=1,2,3... n$, а j при кожному i може бути будь-яким. Щоб виключити із розглядання варіанти з великими змінами курсу, може бути зроблено обмеження, яке полягає в тому, що із точки P_{i-1j} маршрут може бути прокладений тільки в точки P_{i-1j} , P_{ij} , P_{ij+1} . В процесі вибору найзручнішого шляху спершу знаходиться найбільша безпечна швидкість для кожної ділянки маршруту і час його проходження, а після цього із можливих маршрутів визначається той, час якого мінімальний. Якщо прогноз полів хвилювання покриває не весь термін переходу, то маршрут може вибиратися на період, що забезпечений прогнозом. В цьому випадку найкращим вважається маршрут, на якому відстань до точки B , що залишається на момент кінця прогнозів, стає мінімальною.

Якщо через добу або інший час одержано новий прогноз полів хвилювання, то розрахунок маршруту виконується ще раз, причому за точку відходу A приймається місце судна на момент одержання прогнозу. В кінцевому рахунку маршрут судна буде оптимальним із точок зору безпеки і часу переходу, якщо на кожному етапі його корегування при одержанні прогнозів буде обрано оптимальний для проходження в пункт призначення шлях.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення автоматизованої планово-задавальної системи.
2. Що означає вираз "стратегія виконання переходу"?
3. Назвіть основні задачі попередньої оцінки безпеки переходу для відкритого моря.
4. Які питання входять в попередню оцінку безпеки плавання для щільних вод?
5. Що являє собою імітаційна модель процесу судноводіння і її призначення в АКС?
6. Охарактеризуйте основні засоби планування маршрутів переходу за допомогою ЕОМ.
7. Приведіть класифікацію районів плавання.

8. Які елементи програми плавання можуть бути визначені в залежності від району плавання?
9. Які основні функції виконують засоби планування шляху судна?
10. Які дані звичайно подаються на екрані дисплея в вигляді таблиці після розрахунку елементів маршруту на ЕОМ?
11. Які засоби використовуються для оцінки траєкторії руху судна на повороті?
12. Що означає термін траєкторна погрішність ?
13. Дайте пояснення формули М.М.Лескова для розрахунку величини вільного простору при плаванні по відрітку маршруту.
14. Як оцінюється вплив мілководдя на осадку і швидкість судна?
15. Який спосіб використовується для перед обчислювання припливно-відпливних явищ на ЕОМ?
16. Які файли входять в базу даних для попереднього?
17. Приведіть загальну формулу для розрахунку припливних рівнів.
18. Охарактеризуйте засоби розрахунку найкоротшого шляху. Дайте пояснення засобу генерації маршрутів при виборі найзручнішого і шляху.

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ РІШЕННЯ ОПЕРАТИВНИХ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ

4.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЕРАТИВНИХ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Оперативними є задачі навігації з поточного контролю за рухом судна, що виконуються в процесі рейсу на основі вимірювань навігаційних параметрів. Суднова автоматизована система, що призначена для рішення таких задач, нижче зветься бортовою автоматизованою системою оперативної навігації або просто автоматизованою системою навігації (АСН). Звичайно ця система являє собою сукупність навігаційних вимірювальних приладів, засобів автоматизації, програмного забезпечення і спеціальних інформаційних баз даних.

Основними контрольованими в процесі навігації параметрами, як відомо, є координати місця судна (звичайно географічні φ , λ) і складові швидкості його руху (звичайно по меридіану V_N , і паралелі V_E). Сукупність переліченим параметрів (φ , λ , V_N , V_E) називається нижче вектором стану руху об'єкта судноводіння, а сукупність тільки координат місця (φ , λ) — вектором його положення. Слід визначити, що звичайно під вектором стану об'єкта мають на увазі сукупність елементів, які повністю визначають

динаміку об'єкта в заданий момент часу. При рішенні більшості задач судноводіння швидкість судна є незмінною і сукупність величин (φ , λ , V_N , V_E) приймається в цих задачах в якості вектора стану.

При плаванні по заданому маршруту крім вектору стану судна розраховується ще ряд величин: відхилення від лінії шляху (CTE — cross track error); час прибуття в кінцеву точку (ETA—estimated time of arrival); відстань (RNO — range), курс (CTG—course to go), час (TTG—time to go) до точки повороту (WP — way point) та ін.

Задача визначення елементів вектору стану руху поділяється на ряд простих. В основу поділу покладено наступне. Рух судна уявляється як геометрична сума відомого руху, що враховується при зчисленні, і випадкового переміщення—знос. Перша компонента в кожний момент часу характеризується зчислюваними координатами φ_c , λ_c і складовими зчислюваної швидкості по меридіану V_N і паралелі V_{CE} . Елементами випадкового переміщення (уявимо його в відносній орієнтованій по меридіану системі координат, початок якої співпадає з зчислюваною точкою) служать відхилення $\Delta\varphi$ по широті від зчислюваної точки і відхід Δw від цієї точки і складові швидкості зносу $V_{\Delta\varphi}$, $V_{\Delta w}$. Елементи вектору стану об'єкта одержують у вигляді сум зчислюваних елементів і зносу

$$\begin{aligned}\varphi &= \varphi_c + \Delta\varphi, \quad V_N = V_{CN} + V_{\Delta\varphi}, \\ \lambda &= \lambda_c + \Delta w / \cos \Psi, \quad V_E = V_{CE} + V_{\Delta w}.\end{aligned}$$

Виходячи з такого уявлення, контроль за рухом розділяється на задачу шляху, початковими для якої є вимірювання елементів власного судна, і задачу визначення елементів зносу (корекцію зчислення), рішення якої базується на вимірюваннях навігаційних параметрів орієнтирів. Тому сукупність елементів зносу ($\Delta\varphi$, Δw , $V_{\Delta\varphi}$, $V_{\Delta w}$) нижче також зветься вектором поправок стану об'єкта (коректурним вектором стану) і цей вектор позначати літерою X . Відповідно сукупність тільки прирощень до зчислюваних координат зветься вектором поправок до положення судна (коректурним вектором положення), що позначається як X_0 . Таким чином:

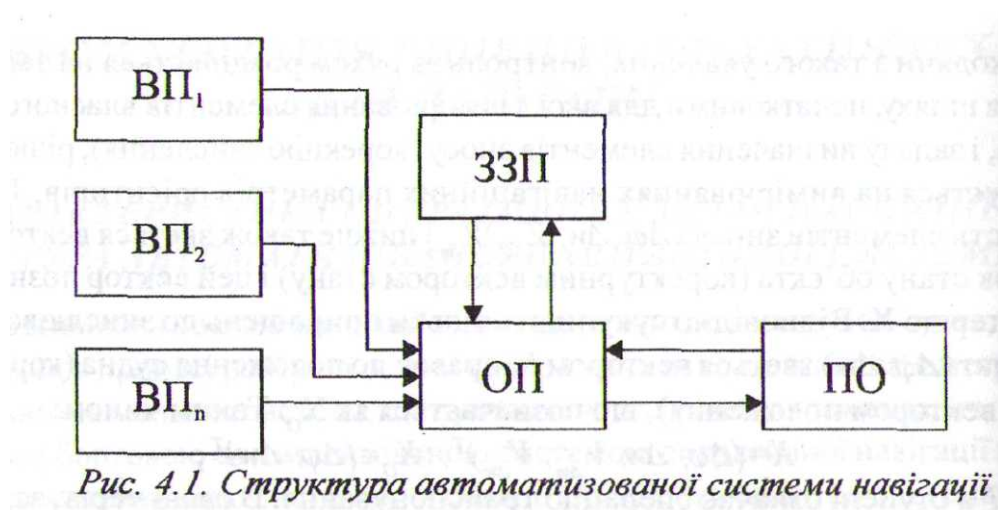
$$X = (\Delta\varphi, \Delta w, V_{\Delta\varphi}, V_{\Delta w})^T, \quad X_0 = (\Delta\varphi, \Delta w)^T,$$

де T в ступені означає операцію транспонування. В свою чергу, задача елементів зносу підрозділяється на задачу обсервацій (одержання координат місця по одночасним чи практично одночасним вимірюванням параметрів орієнтирів) і задачу визначення елементів зносу по обсерваціям.

Додатковими контрольованими системою навігації параметрами звичайно є поправки навігаційних вимірювальних приладів. Вони знаходяться декількома способами: за допомогою спеціальних вимірювань при зміні чинників, що впливають на показання приладів; на обсерваціях і визначеннях елементів зносу на основі використання її вимірювальних даних. Таким чином в перелік оперативних входять зчислення, обсервації, визначення елементів зносу, а також визначення поправок приладів і екстраполяції руху судна.

Основною вимогою до якості роботи системи навігації є забезпечення точності і надійності отриманих результатів, де точність визначається тичиною звичайних для функціонування цієї системи погрішностей, а дійність— відсутністю в результатах аномальних погрішностей і збоїв. Для забезпечення наглядності і запобігання помилкам інтерпретації результати контролю за рухом судна в АСН необхідно відображати на карті і подавати в цифровому вигляді. Координати поточного місцеположення повинні подавати судноводію в географічній системі координат, а в режимі руху судна по заданій траєкторії— в маршрутній системі для характеристики величини бокового зміщення судна з лінії шляху і відстані, що залишилась до точки повороту.

Структура АСН може бути подана у вигляді блок-схеми, що відображене на рис. 4.1. На цій схемі позначено: ВП — навігаційні вимірювальні прилади, ОП — обчислювальний прилад (мікроЕОМ), ЗЗП — зовнішній запам'ятовуючий прилад, ПО — пульт оператора, який включає клавіатуру та інші органи спілкування з системою (пристрої відображення і реєстрації інформації). До складу навігаційних вимірювальних приладів підсистеми входять гірокомпас, лаг, один чи декілька прийомоіндикаторів РНС і СНС і інша апаратура для вимірювання навігаційних параметрів.



Обчислювальним приладом в АСН є однопроцесорна чи багатопроцесорна мікроЕОМ, яка виконує функцію обробки оперативної навігаційної інформації. Відображення і реєстрація інформації здійснюється або на кальному пульті оператора, або на загальному для АКС пульті, де комплексно подається інформація, що характеризує процес судноводіння. В зовнішньому запам'ятовуючому приладі зберігаються бази даних координат стан радіонавігаційних систем, відомості із лоцій і інша необхідна при рішенні задач навігації інформація. Якщо АСН може обробляти дані прийомоіндикаторів декількох систем визначення місця, то вона називається також інтегрованою навігаційною системою, а коли в АСН при обробці даних від декількох прийомоіндикаторів використовується спосіб взаємної корекції і компенсації погрішностей, то вона зветься гібридною.

Програмне забезпечення АСН включає в себе набір програм для проведення зчислення, обробки обсервацій, фільтрації результатів вимірювань, обчислювань величин,

що відображаються на екрані і використовуються в інших підсистемах АКС, а також програм, що реалізують алгоритми інформаційного і лінгвістичного забезпечення цієї системи.

ПОНЯТТЯ ПРО ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ НАВІГАЦІЇ. Вимірювальні прилади АСН мають погрішності, які, як правило, є випадковими функціями часу. Початковими даними при визначенні алгоритму оптимальної оцінки елементів руху судна в такій ситуації є: моделі вимірювальних приладів, які відбивають можливі характеристики їх похибок; модель динаміки судна, що відтворює характер руху судна; критерій якості, яким частіше усього служити критерій мінімуму середньої квадратичної похибки оцінки стану руху судна. Для знаходження оптимальних оцінок положення судна використовують декілька способів. Найбільш поширені такі: узагальнений спосіб найменших квадратів, що застосовується при оцінці положення судна по результатах одночасних спостережень навігаційних параметрів, і засіб фільтрації Калмана, що застосовується в загальному випадку при оцінці по результатах різновидних і різночасних вимірювань навігаційних параметрів. В ряді систем використовуються адаптивні фільтри, що в процесі експлуатації уточнюють моделі вимірювальних приладів, адаптуючись до змін умов спостережень, які впливають на характер похибок вимірювань.

4.2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗЧИСЛЕННЯ ШЛЯХУ СУДНА

Зчисленням називається визначення місця судна відносно відомого положення по вимірюванню елементів власного руху з урахуванням обурюючих чинників. Елементами власного руху можуть бути: курс і швидкість; курс і відстань; курс, поздовжня і поперечна складові швидкості судна; складові швидкості судна по меридіану і паралелі. Датчиками інформації власного руху в АСН можуть бути: ГК того чи іншого типу, магнітні компаси із дистанційною передачею показань, електронний магнітний компас нерухомим чутливим елементом, лаги (гідравлічний, індукційний ін.), датчики кутової швидкості, акселерометри і т.д.

Для зчислення по даним ГК і лага використовуються дані цих приладів і відомості про їх похибки, дані про повітря і течію. Інформація від ГК і лага вводиться в АСН автоматично. Відомості про течію можуть подаватися двома способами: при відсутності КБД вони обираються судноводієм із навігаційних посібників і вводяться з пульта; при наявності КБД з відомостями про течії їх елементи можуть обиратися в КБД і передаватися на обробку автоматично. Напрямок і швидкість вітру заносяться вручну чи від автоматичних датчиків напрямку і сили вітру. В ЕОМ реалізується аналітичний спосіб мислення. При вимірюванні швидкості відносно води вектор зчислюваної швидкості V_c розглядається як геометрична сума векторів швидкості судна відносно води V_a і вектора швидкості течії V_T . Аргумент і модуль вектора V_a знаходять за формулами

$$ПУ_{\alpha} = K_{\Gamma} + \Delta K + \alpha; \quad V_{\alpha} = V_{\lambda} + \Delta V; \quad (4.1)$$

де K_{Γ} , U_d — показання ГК і лага; ΔK , ΔV — поправки до цих показань; α дрейфу, що розраховується в залежності від елементів руху судна і Пігментів вітру.

Складові вектора зчислюваної швидкості по напрямкам меридіану і паралелі ($V^{\wedge}$, V_{CE})

дорівнюють сумі відповідних складових швидкості судна в русі відносно води (V_{aN} , V_{aE}) і швидкості течії ($U_{та}$, $U_{та}$). Із урахуванням сфероїдичності Землі вони визначаються за формулами [11]

$$\left. \begin{aligned} V_{CN} &= (V_{aN} + V_{TN}) (0.995 + 0.01 \cos^2 \varphi) \\ V_{CE} &= (V_{aE} + V_{TE}) (0.995 + 0.0033 \cos^2 \varphi) \end{aligned} \right\}; \quad (4.2)$$

При використанні доплерлага, що вимірює поздовжню V_n і поперечну V_B складові абсолютної швидкості судна, компоненти зчислюваної швидкості з урахуванням сфероїдичності Землі одержують за формулами

$$\left. \begin{aligned} V_{CN} &= (V_n \cos IK + V_B \sin IK) (0.995 + 0.01 \cos^2 \varphi) \\ V_{CE} &= (V_n \sin IK + V_B \cos IK) (0.995 + 0.0033 \cos^2 \varphi) \end{aligned} \right\}, \quad (4.2)$$

Де $IK = K + \Delta K$. Для обчислення зчислюваних координат застосовуються рекурентні вирази

$$\left. \begin{aligned} \varphi_i &= \varphi_{i-1} + V_{CNi} \Delta t \\ \lambda_i &= \lambda_{i-1} + V_{CEi} \Delta t / \cos \varphi_{i-1} \end{aligned} \right\}; \quad (4.3)$$

де Δt —дискретність зчислення.

Для автоматичного прокладання шляху судна на паперовій чи електронній карті в меркаторській проекції елементарні приращення судна по широті і відходу виражаються в поточному масштабі, що розраховується в залежності від масштабу карти по головній паралелі (М_{гп}) або екваторіальному масштабі (М_е): $M_r = M_{gm} \cos \varphi_{gm} / \cos \varphi_c = M_e / \cos \varphi_c$.

Елементарні приращення в поточному масштабі по широті і відходу, відповідні інтервалу дискретності, одержують за формулами

$$\Delta \varphi_M^T = M_r V_{CNi} \Delta t; \quad \Delta w_M^T = M_r V_{CEi} \Delta t;$$

Дискретність зчислення визначається в залежності від вимог до навігаційних систем в різноманітних районах плавання і при рішенні різноманітних задач.. При автоматичному проведенні зчислення здійснюється також оцінка точності зчислюваного місця, для чого застосовується спрощена формула, згідно з якою радіальна СКП зчислення вважається пропорційною часу зчислення.

При маневруванні в показаннях деяких ГК виникають інерційні похибки, що приводять до поперечного зміщення судна з лінії шляху. В сучасних цифрових ГК такі похибки усуваються спільно з швидкісною похибкою вмонтованим в ГК мікропроцесором, який обчислює їх величину по різничній математичній моделі чутливого елементу ГК третього порядку. Як указано Е.Л. Смірновим, для забезпечення високої точності обчислення інерційних девіацій в високих широтах необхідно використовувати модель чутливого елементу ГК п'ятого порядку і періодично ідентифікувати її параметри в процесі експлуатації ГК. При використанні в вимірювальній системі АКС гірокомпасів, в яких інерційна похибка не усувається, її корекція може бути передбачена при обробці даних зчислення по її різничній математичній моделі третього порядку.

В сучасних АСН високоточні системи визначення місця судна дозволяють практично безупинно проводити обсервації і дають можливість представляти шлях судна обсервованими точками, оцінювати складові швидкості по меридіану та паралелі і використовувати їх значення при прогнозуванні руху. Такий спосіб обліку руху судна одержав назву обсерваційного зчислення шляху.

4.3. ПЕРВИННА ОБРОБКА ДАНИХ ПРИ ОБСЕРВАЦІЯХ

Задача обсервації в морській навігації може мати дві постановки, звичайну і розширену. Перша формулюється як знаходження коректурного вектора положення судна X_0 по результатах одночасних або практично одночасних вимірювань навігаційних параметрів орієнтирів. У другій постановці По таким вимірюванням параметрів орієнтирів

наряду з координатами положення судна вимагається знайти ще ряд пов'язаних з вимірюваними даними параметрів, частіше всього постійних погрішностей вимірювань — $A_3, A_4, \dots$. Сукупність шуканих при такій постановці параметрів ($L, D_{те}, D_3, A_4, \dots$) — називається розширеним коректурним вектором положення, що позначений X . Обробка інформації при обсерваціях підрозділяється на первинну і вторинну. В первинну входять операції зменшення похибки вимірювальних приладів, одержання результатів вимірювань і характеристики їх точності при посередніх відліках приладів, визначення вектора вимірювань параметрів орієнтирів, знаходження коваріаційної матриці, що характеризує точність цього вектора. Вторинна обробка полягає в знаходженні звичайного чи розширеного вектора положення судна і характеристики його точності.

ЗМЕНШЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ. Методи зменшення похибок розділяються на методи усування джерел похибок, що реалізуються частіше всього конструктивним шляхом, і методи корекції, компенсації самих похибок. При використанні другої групи методів використовуються аналогові чи цифрові прилади. В нинішній час застосування цифрових приладів є переважним, бо вони мають малі габарити, вартість, характеризуються високою надійністю і дозволяють реалізувати складні оптимальні алгоритми зменшення похибок будь-якого виду.

Розрізняють звичайні і аномальні похибки навігаційних приладів. Звичайні — це похибки, властиві процесу вимірювання при нормальному функціонуванні вимірювальних приладів в передбаченому комплексі умов. Аномальні похибки вимірювального приладу (грубі похибки, викиди) — це погрішності, що різко відрізняються по величині, чи характеру зміни від звичайних похибок цього приладу. Для запобігання аномальним погрішностям застосовуються методи перевірки на однорідність серій вимірювань, порівняння вимірювальних значень параметрів із значеннями відповідними зчислюваному місцю, порівняння даних різних приладів.

В звичайних похибках розрізняють шумову і систематичну складові.

Зменшення шумових похибок виконується за рахунок статистичної надмірності вимірювальної інформації шляхом використання низькочастотної фільтрації, окремим випадком якої є усереднення відліків. Систематичні похибки зменшуються поправками, які одержують двома способами: по значенням чинників, що визначають ці похибки, і відомій залежності значень похибки від цих чинників; по періодично шуканим з допомогою спеціальних засобів миттєвих значень похибки і одержанням прогнозу похибки на момент обсервації по відомій тенденції її зміни.

Після зменшення похибок вимірювального приладу результат вимірювання навігаційного параметра має похибки a , що включає залишкову шумову $a_{ш}$ і залишкову систематичну a . похибки, і його точність характеризується середньою квадратичною похибкою (СКП), підрахованою за формулою

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{ш}^2 + \sigma_c^2}; \quad (4.4)$$

ОДЕРЖАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ОПОСЕРЕДКОВАНИХ ВІДЛІКАХ. Відліки вимірювальних приладів можуть характеризуватись параметри орієнтирів прямо або опосередковано. Прямі відліки S вимірювального параметра Здають відразу значення Z навігаційного параметра 2 Отже при прямих відліках

$$\hat{Z} = \hat{S}; \quad \bar{Z} = Z + \sigma; \quad \sigma = \sigma_c + \sigma_{ш};$$

де Z , — істинне значення навігаційного параметра.

Опосередковані величини S , одержані з допомогою навігаційних приладів, звичайно зв'язані із значеннями відповідного параметра орієнтира Z лінійною залежністю $Z = P S + Q$, де P і Q — постійні коефіцієнти. Тому по опосередкованому відліку S і його середній квадратичній похибці σ_s результат вимірювання навігаційного параметра Z і його середня квадратична похибка σ_z розраховуються за формулами

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОРІЄНТИРЕ І ЙОГО ТОЧНОСТІ. При обсерваціях вимірюється сукупність навігаційних параметрів, що

складається із p вимірювань. Результати вимірювань z_i цих параметрів утворюють вектор вимірювань Z . Цей вектор розглядається як сума вектора Z істинних значень і вектора похибок E_z

$$\hat{Z} = Z + \sigma_z;$$

де $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_{ri}\}$; $E = (\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n)$. Точність вектора Z характеризують ковариаційною матрицею K_z вектора похибок E_z .

$$K_z = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{12} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{1n} & K_{2n} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}.$$

Діагональні елементи K . названої матриці K_z дорівнюють дисперсія похибок результатів вимірювань окремих параметрів, а недіагональні елементи K . дорівнюють дисперсіям загальних для вимірювань Z , Z . Складових похибок. Якщо Z , Z незалежні, то K_{ij} дорівнюють нулю.

Вектор вимірювань параметрів орієнтирів Z і характеристика його точності K_z є результатами первинної обробки даних при обсерваціях

4.4. ВТОРИННА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ОБСЕРВАЦІЯХ

Початковими даними при рішенні цієї задачі є: вектор вимірювань параметрів орієнтирів Z , характеристика точності цього вектора K_z , координати орієнтирів і зчислюваного місця. Шуканими при звичайній постановці задачі обсервації є: вектор поправок положення судна X_0 , який включає прирощення по широті і довготі ($A < p$, Δw) до зчислюваних координат, і характеристика його точності K_x . Ефективна оцінка вектора X_0 знаходиться за наступною методикою. Навігаційні параметри є нелінійними функціями координат точок земної поверхні і в загальному випадку можуть бути представлені виразом $Z = F(q > A)$. Звідси випливає, що якщо маємо результат вимірювання параметра орієнтира Z , то йому буде відповідати нелінійне рівняння

$$\hat{Z} = F(\varphi, \lambda) + e.$$

Це рівняння математично описує ізолінію навігаційного параметра, на якій її значення рівне Z . Вид ізолінії і її рівняння визначається видом вимірювального параметра. Так, відстані орієнтира відповідає ізолінія, що називається ізостадією; різниці відстанів двох орієнтирів відповідає гіпербола і т.д. Якщо хоча знаходження обсервованого місця одержані результати вимірювань p параметрів орієнтирів, то їм буде відповідати система із p нелінійних рівнянь

$$\hat{Z}_i = F(\varphi_i, \lambda_i) + e_i; \quad i=1, 2, 3, \dots, p. \quad (4.6)$$

Із цієї системи слід знайти (із врахуванням точності проведених вимірювань) найбільш ймовірні значення φ , λ і характеристики точності цієї оцінки. Через нелінійність рішення системи рівнянь (4.6) ускладнено. Тому її зводять до лінійного виду на основі наступних міркувань. Враховуючи, що зчислюване місце близьке до обсервованого, можна записати рівняння ізолінії у вигляді

$$Z = F(\varphi_3 + \Delta\varphi, \lambda_3 + \Delta w / \cos\varphi);$$

де прирощення по широті і відходу $A < p$, Δw малі.

Розкладаючи одержаний вираз в ряд Тейлора із зберіганням тільки малих першого порядку, одержуємо рівняння лінії положення (рівняння поправок), яка замінює ізолінію в області зчислюваного місця

$$a_1 \Delta\varphi + a_2 \Delta w - l = e; \quad (4.7)$$

де a_1 , a_2 , l — коефіцієнти і вільний член рівнянь ліній положення. Враховуючи правила розкладання функції в ряд Тейлора, можна

$$a_1 = \frac{\partial F(\varphi, \lambda)}{\partial \varphi_{(\varphi=\varphi_s)}}; \quad a_2 = \frac{\partial F(\varphi, \lambda)}{\partial \lambda \cos \varphi_{(\varphi=\varphi_s)}}; \quad l = Z_l - Z_s, \\ Z_s = F(\varphi_s, \lambda_s)$$

--зчислюване значення навігаційного параметра.

Таким чином коефіцієнти a_1, a_2 дорівнюють значенням часткових похідних функції навігаційного параметра по широті і відходу в зчислюваній точці, а вільний член знаходиться як різниця вимірюваного і зчислюваного значень параметра. Ці формули є загальними формулами розрахунку коефіцієнтів рівнянь поправок. Застосовуючи їх до рівнянь конкретних ізолій:

а) відстані: $d = \arccos(\sin \varphi \sin \varphi_{\infty} + \cos \varphi \cos \varphi_{\infty} \cos \Delta \lambda)$, де φ, λ — широта і довгота орієнтира ($\Delta \lambda = \lambda_{\text{оп}} - \lambda$);

б) різниці відстаней двох орієнтирів: $\Delta d = d_1 - d_2$;

в) висоти світила: $h = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t_u)$, де δ, t_u — схилення і місцевий часовий кут світила;

г) пеленга із орієнтира на судно: $\Pi = \arccos(\operatorname{tg} \varphi \cos \varphi_{\text{оп}} \csc \Delta \lambda - \sin \varphi_{\text{оп}} \operatorname{ctg} \Delta \lambda)$;

д) пеленга із судна на орієнтир: $O\Pi = \arccos(\operatorname{tg} \varphi_{\text{оп}} \cos \varphi \csc \Delta \lambda - \sin \varphi \operatorname{ctg} \Delta \lambda)$;

одержимо вирази для коефіцієнтів ліній положення, що приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Коефіцієнти ліній положення основних навігаційних параметрів

Навігаційний параметр	a_1	a_2
Відстань	$-\cos A_1$	$-\sin A_1$
Різниця відстаней	$\cos A_{s2} - \cos A_{s1}$	$\sin A_{s2} - \sin A_{s1}$
Висота світила	$\cos A_1$	$\sin A_1$
<i>Великі відстані</i>		
Пеленг орієнтир-судно	$-\sin A_1 \csc d_1$	$-\cos A_1 \csc d_1$
Пеленг судно-орієнтир	$\sin A_1 \operatorname{ctg} d_1$	$-\operatorname{tg} \varphi + \cos A_1 \operatorname{ctg} d_1$
<i>Малі відстані</i>		
Пеленг орієнтир-судно	$-\sin A_1 / d_1$	$-\cos A_1 / d_1$
Пеленг судно-орієнтир	$-\sin A_1 / d_1$	$\cos A_1 / d_1$

В цих виразах A_1, d_1 — зчислювані пеленг і відстань орієнтира. Таким чином, внаслідок лінійзації системи рівнянь (4.6) приходимо до системи лінійних рівнянь

$$L = A X_0 + E; \quad (4.10)$$

$$\text{де } L = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{12} \\ \dots \\ l_{1n} \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} \end{bmatrix}; \quad X_0 = \begin{bmatrix} \Delta \varphi \\ \Delta w \end{bmatrix};$$

В розширеній постановці задачі обсервацій шуканий вектор включає в себе додаткові компоненти

$\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$ (де $m < n$) і система лінійних рівнянь жорстко має вигляд

$$a_{i1} \Delta \varphi + a_{i2} \Delta w + a_{i3} \Delta_1 + \dots + a_{im} \Delta_m - l_i = e_i; \quad i=1, 2, \dots, n;$$

В матричному вигляді розширена система записується

$$L = A_p X_p + E; \quad (4.11)$$

Ефективна X_p оцінка розширеного вектора поправок положення і координат на матриця K його погрешностей із цієї системи визначаються в відношенні з узагальненим способом найменших квадратів за формулами

$$\begin{aligned} P &= A_p^T K_z^{-1} A_p; \quad C = P^{-1} A_p^T K_z; \\ \hat{X}_p &= C L; \\ K_{xp} &= P^{-1}. \end{aligned} \quad (4.12)$$

За аналогічними формулами із системи (4.10) знаходиться і звичайний вектор положення X_0 і матриця, що характеризує його точність, K_m .

Тому що вектор поправок X (звичайний або розширений) відшукується три рішення лінеаризованої (приближної) системи рівнянь, то він містить похибку від її неточності. Для зведення цієї похибки до допустимих меж застосовують спосіб послідовних наближень (метод ітерацій), який полягає в наступному. Після розрахунку вектора поправок із лінійної системи рівнянь; самого вектора положення, останній приймається як нове початкове наближення для лініаризації системи нелінійних рівнянь. Із одержаних нових лінійних ліній відношень знаходить собі друге наближення вектора положення. Воно знову приймається як початкове для наступної лініаризації і процес знаходження сектора положення повторюється. Так продовжується до тих пір, поки різниця між послідовно обчисленими оцінками вектора положення не стає меншою допустимого значення.

Слід зазначити, що звичайний вектор поправок положення X_0 є складовим елементом розширеного. Тому при рішенні розширеної задачі із оцінки X і коваріаційної матриці $K^{\wedge}$ завжди можуть бути виділені оцінка X_0 і коваріаційна матриця K_{x_0} її погрешностей.

При рішенні задачі автоматичного водіння судна по заданому маршруту обсервовані координати потрібно одержувати в маршрутній *гоу* системі координат, де z , y — відповідно поздовжнє і бокове відхилення від програмного місця.

4.5. ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ДАНИХ РИС "ДЕККА", "АЛЬФА", "ЛОРАН-С"

Навігаційним параметром в РНС "Декка", "Омега", "Лоран-С" є різниця відстаней, що отримується опосередкованими вимірюваннями різниці фаз радіосигналів від двох станцій. Фазовому способу вимірювання притаманна багатозначність. В РНС "Декка" і "Альфа" для усунення багатозначності використовується спеціальний режим роботи, а в РНС "Лоран-С" — додатковий імпульсний спосіб вимірювання [28].

При визначенні місця судна по РНС "Декка" повний відлік різниці фаз сигналів пари станцій на частоті порівняння дорівнює

$$\Delta\Phi = LM + \psi + \Delta\psi; \quad (4.14)$$

де L — номер зони; m — число фазових циклів в зоні; y — відлік точно: доріжки з її частками; A y — поправка до відліку за постійні місцеві викривлення радіонавігаційного поля, значення якої одержується при калібруванні системи. Для червоної пари число M фазових циклів в зоні рівне 24, для зеленої — 18, для фіолетової — 30.

Значення поправок A_{yr} можуть бути одержані за приблизними виразами або шляхом інтерполяції поправок, які приведені для мережі вузлових точок в робочій зоні РНС. Координати вузлових точок і відповідні їм значення поправок в останньому випадку зберігаються в базі даних РНС. По повному відліку різниці фаз і оцінці його середньої квадратичної погрешності а результат вимірювання різниці відстаней Δd і її СКП а будуть

$$\left. \begin{aligned} \Delta d &= \lambda_{cp} \Delta\Phi - L_0 \\ \sigma_{\Delta d} &= \lambda_{cp} \sigma_{\psi} \end{aligned} \right\}; \quad (4.14)$$

де λ — довжина хвилі порівняння; L_0 — довжина базової лінії між станціями.

При розрахунку Δ використовують значення базової частоти F сигналу конкретного ланцюжка станцій РНС "Декка" і значення швидкості C розповсюдження радіохвиль для робочої області цього ланцюжка, одержане при калібровці:

$$\lambda_{\text{б}} = C/(MF).$$

Повний фазовий відлік навігаційного параметра при визначенні міст по РНС «Альфа» дорівнює:

$$\Delta\Phi = N + \psi + \Delta\psi; \quad (4.15)$$

де N — кількість цілих фазових циклів; ψ — відлік частки фазового циклу Δ у— поправка до відліку.

Поправка $\Delta\psi$ до відліку різниці фаз утворюється як різниця поправок бФс до фаз сигналів відповідних станцій. Поправки $\Delta\psi$ знаходяться у вигляді суми поправок для ділянок траси проходження сигналу "станція-судно" які визначаються видом підстилаючої поверхні (суша, море) і освітленні (іоносферний день, іоносферна ніч). Координати кінців цих ділянок знаходять як точки перетинання ортодромії "станція-судно" з грубим контуром земної поверхні, записаному в запам'ятовуючому приладі, і визначенням на цій ортодромії ітеративним засобом точки іоносферного сходу або заходу, коли освітлення станції і місця судна неоднакові. Розрахунок значень поправок виконується в залежності від довжини ділянки і відміни фазової швидкості розповсюдження сигналу на ній від розрахункової. За розрахункову приймається швидкість розповсюдження над сушею в денний час. Результат вимірювання різниці відстаней одержують так

$$\Delta d = \lambda (\Delta\Phi - 900); \quad (4.16)$$

де $D=15.9114468$ милі.

При знаходженні місця по РНС "Лоран-С" імпульсним способом визначається число N цілих періодів T , а фазовим — точний відлік i до сотої частки Періоду T . Відлік різниці фаз в часовій мірі дорівнює

$$\Delta t = NT + i_{\phi} + \Delta\tau; \quad (4.17)$$

де Δm — поправка до відліку на постійні місцеві викривлення радіонавігаційного поля із обліком для просторового сигналу поправки на різницю розповсюдження просторового і поверхневого сигналів берегових станцій. Значення поправок Δm звичайно одержують шляхом інтерполяції поправок, приведених для мережі вузлових точок в робочій зоні РНС. Координати вузлових точок і відповідні їм значення поправок зберігаються в пам'яті системи. Вимірювана різниця відстаней одержується за формулою

$$\Delta d = C(\Delta t - \tau_k) - L_{\text{б}}; \quad (4.18)$$

де C — швидкість розповсюдження радіохвиль; m_k — кодова затримка відомої станції, $L_{\text{б}}$ — довжина базової лінії між станціями. Значення швидкості C для робочої зони РНС одержується при калібруванні системи і приводиться в її документації.

Вільний член рівнянь ліній положення знаходиться як різниця вимірюваної і зачислюваної різниці відстаней.. Зчислима різниця відстаней розраховується з обліком сферичності Землі по координатах зчислюваного місця і станцій. Врахування сфероїдичності Землі звичайно виконується за методом Андуайє-Ламберта.

4.6. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ОБСЕРВОВАНИХ КООРДИНАТ У СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Для цілей навігації в нинішній час використовуються супутникові системи "Навстар" (США), "Глонасс" (Росія). В супутниковій системі "Навстар" використовується псевдодалекомірний спосіб визначення місця об'єктів і псевдорадіально — швидкісний спосіб визначення їх швидкості. Псевдо-відстанемірний спосіб заснований на вимірюванні так званих псевдовідстаней (відстаней $O_{\text{ш}} > \lambda$, що містять адитивну невідому, але постійну за час визначення місця похибка $\Delta O_{\text{ш}} = \epsilon > + \Delta O$) до певного числа штучних супутників Землі (ШСЗ). Псевдорадіально-швидкісний (псевдодоплерівський) спосіб визначення

вектора швидкості об'єкта базується на вимірюванні псевдорадіальної швидкості (швидкості $K_{\text{вим}}$, що містить адитивну невідому, але постійну за час ви значення похибку $ЛУ$: $V_{la} = *U + -AU$) [11].

Для визначення місця і швидкості об'єкта на поверхні Землі (при двох вимірній навігації) може використовуватися від 3 до 7 ШСЗ, відповідно при трьохвимірній навігації (навігації літальних апаратів) використовується від 1 до 7 ШСЗ. Нижче для ознайомлення приведений спосіб визначення кінематичних параметрів об'єкта при трьохвимірній навігації. Параметрами радіонавігаційного сигналу супутника служать час затримки L_i та доплерівське зміщення AP частоти сигналу, що приймається відносно його зразка, що формується в бортовій апаратурі. Дані, що містять навігаційне повідомлення ШСЗ, включають:

- опорний час і поправки годинника ШСЗ, що оновлюються кожен годину,
- параметри моделі атмосферних викривлень розповсюдження сигналів і параметр, призначений для коригування одноканальної бортової апаратури;
- ефемерідну інформацію, параметри моделі прогнозування збурення орбіти, час з моменту передачі ефемерідної інформації на борт ШСЗ з наземного комплексу;
- альманах системи (інформацію про ефемериди, поправки годинника ШСЗ, тимчасову затримку в атмосфері і функціональний стані всіх ШСЗ), що дозволяє обрати для визначень 4-7 ШСЗ.
- спеціальні повідомлення.

Бортова апаратура забезпечує: вибір із сукупності видимих ШСЗ робочої лінійної сукупності; пошук і спостереження за радіонавігаційними сигналами ШСЗ і вимірювання їх тимчасової затримки і доплерівського зміщення частоти; виділення і декодування навігаційних повідомлень; обробку вимірювальної і ефемерідної інформації для одержання місця і швидкості судна; оцінку точності визначення місця і індикацію результатів обчислень. При обробці ефемерідної інформації знаходять прямокутні геоцентричні координати супутника: X, Y, Z

Обробка вимірювальної інформації виконується в декілька етапів. На першому етапі знаходять псевдовідстані і псевдорадіальні швидкості. Псевдовідстані визначаються в залежності від часу затримки t , а радіальна швидкість — в залежності від зміщення частот F , за формулами.

$$d = C\Delta t; \quad \dot{d} = V_r = \lambda_0 \Delta F. \quad (4.19)$$

На другому етапі розраховують координати об'єкта. Вимірюване значення псевдовідстані пов'язано з координатами об'єкта рівнянням

$$(d - \Delta d)^2 = (X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2; \quad (4.20)$$

де d — поправка до відстані за рахунок розходження на величину $1/\text{шк. часу}$ супутника і бортової апаратури.

Це рівняння має 4 невідомі. Вимірюванням псевдовідстаней до 4-7 супутників відповідає система з 4-7 таких рівнянь. Шляхом рішення її в бортовій апаратурі по способу найменших квадратів одержують координати об'єкта X_0, Y_0, Z_0 і часове зміщення шкал часу супутників і бортової апаратури Z_i на момент визначення.

На третьому етапі визначаються складові швидкості об'єкта. Рівняння псевдорадіальної швидкості має вигляд [28]

$$(V_r - \Delta V_r)^2 = (d + C\Delta t)^{-1} [(X_s - X_0)(V_{sx} - V_x) + (Y_s - Y_0)(V_{sy} - V_y) + (Z_s - Z_0)(V_{sz} - V_z)] \quad (4.21)$$

де V_s — поправка до швидкості за рахунок розходження на величину опорних частот супутників і прийомоіндикатора.

Оскільки X_0, Y_0, Z_0 визначені, то в цьому рівнянні 4 невідомі: складові швидкості об'єкта V_x, V_y, V_z і величина V_s . Вимірюванням по 4-7 супутників відповідає система з

такого ж числа рівнянь виду (4.21). Шляхом рішення її в бортовій апаратурі одержуються значення складових швидкості об'єкта.

На четвертому етапі забезпечується переведення одержаних даних X_0, Y, Z, V, V_1, V_2 із геоцентричної в географічну систему координат.

На п'ятому етапі оцінюється точність місцеположення.

4.7. ОСОБЛИВОСТІ РІШЕННЯ НАВІГАЦІЙНИХ ЗАДАЧ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ОБЧИСЛЕННЯМ АСТРОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Особливістю ряду навігаційних задач є необхідність розрахунку астрономічних параметрів і явищ. До таких задач відносять задачі: астронавігації, рішення яких засновано на вимірюваннях параметрів положення світил і їх обробці; розрахунку напрямку і швидкості течії в морях з припливами; знаходження припливних рівней і течій. До складу астронавігаційних входять задачі визначення місця судна по висотах світил, знаходження поправки компасу по світилах і відповідних цим задачам питань розрахунку часу сходу і заходу світил, довготривалості смеркань і вибір світил для визначень місця.

При рішенні практично усіх названих задач визначаються значення зчислюваних координат світил (A_c — азимут і H_c — висота) на момент дійсних ЧИ допустимих спостережень. При виборі світил для спостережень розраховується час сходу (заходу) Сонця, довготривалість навігаційних смеркань. При розрахунку припливно-відпливних явищ визначається момент кульмінації і фази Місяця, середні довготи Місяця і Сонця, середні довготи перигея їх орбіт, довгота східного вузла орбіти Місяця (або інші координати Місяця і Сонця), m якими визначаються значення припливних кутів і чинників.

Охарактеризуємо ряд операцій по розрахунках астрономічних параметрів і явищ.

ПОПЕРЕДНЄ ОБЧИСЛЮВАННЯ ВИДИМИХ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ І ОРДИНАТ СВІТИЛ НА ЗАДАНИЙ МОМЕНТ ЧАСУ виконується при рішенні практично всіх, названих вище задач. Воно полягає в визначенні ефемерні (прямого сходження a і схилення δ) світил на заданий момент. Для визначення a і b використовується база астрономічних даних, що включає:

- зіркові величини, координати a_0, δ_0 зірок (початкові координати), парам 11 ри орбіт Сонця, Місяця, планет, зірковий час Грінвіча S на деяку початкову епоху;

- коефіцієнти, що характеризують зміну координат зіроку часі; коефіцієнти рядів Брауна для попереднього обчислювання екліптичних координат Місяця, а також інші параметри, використані при перерахунку координат світи і із початкової епохи на заданий момент.

Попереднє обчислювання a, δ зірок полягає в знаходженні поправок до початкових координат, що враховують вплив прецесії, нутації, річної аберації і власного руху на положення зірок за період від початкової епохи до заданої н моменту. Ефемериди Сонця і планет визначаються по алгоритмах, розроблених на основі теорії Ньюкомба і теорії руху зовнішніх планет. Видимі екваторіальні координати Місяця одержують по значеннях його екліптичних координат, що розраховуються за допомогою тригонометричних рядів Брауна.

Грінвічські часові кути світил, використані в задачах астронавігації і при розрахунку координат h, A_0 , одержують по значеннях прямих сходжень і використанням відомої формули: $t = S - a$. Значення S знаходять по значенню S_0 і кутової швидкості I_2 обертання Землі відносно зірок і періоду часу T від початкової епохи до моменту спостереження світила: $S = S_0 + QT$.

ЗНАХОДЖЕННЯ ОБЧИСЛЮВАНИХ КООРДИНАТ СВІТИЛ НА МОМЕНТ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І КОЕФІЦІЕНТІВ ВИСотної ЛІНІЇ ПОЛОЖЕННЯ Обчислювані координати світил (висота h , азимут A_c) і коефіцієнти висотних ліній положення ($a = \cos A_c$; $a_2 = \sin A_c$) знаходяться по значеннях зчислюваних координат судна $\phi^{\wedge}$, λ і

видимих екваторіальних координат світила δ, t з використанням деяких груп формул сферичної тригонометрії, з яких можна при вести наступне [9]:

$$\begin{aligned}\sin h_e &= \sin \varphi_e \sin \delta + \cos \varphi_e \cos \delta \cos t_m; \\ \cos A_e &= (\sin \delta - \sin \varphi_e \sin h_e) / (\cos \varphi_e \cos h_e); \\ \sin A_e &= \cos \delta \sin t_m / \cos h_e; \\ \text{де } t_m &= t - \lambda_e \text{ — місцевий часовий кут світила.}\end{aligned}$$

РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ОСВІТЛЮВАННЯ ОБРІЮ. До елементів освітлювання обрію відносять час сходу і заходу Сонця, початок і кінець ранкових і вечірніх навігаційних смеркань, а також іоносферного сходу і заходу Сонця. При розрахунках виходять із висоти Сонця, що визначає названі явища. Так, при розрахунку часу сходу і заходу Сонця його висота приймається рівною — 6° ; для іоносферного сходу ця висота дорівнює — 8° ; на початку ранкових і в кінці вечірніх навігаційних смеркань висота Сонця дорівнює — 12° . Обчислення суднового часу для цих висот Сонця h виконується за формулами

$$\begin{aligned}t_m &= \arccos(\sin h_e \sin \varphi_e \sin \delta) / (\cos \varphi_e \cos \delta); \\ T_{\text{пр}} &= 24(t_m - \lambda - t_{\infty}) / (t_{24} - t_{\infty}); \\ T_c &= T_m + N;\end{aligned}$$

де N — номер пояса; t_{24}, t_m — грінвічський часовий кут Сонця відповідно на T , рівне 0 і 24 години заданої дати.

ВИБІР СВІТИЛ ДЛЯ ОБСЕРВАЦІЙ виконується по прогнозованих значеннях часу спостережень i широти місця із світил, що сходять над обрієм. При виборі використовуються координати світил δ, A_e , їх зіркова величина, і обмеження, що визначають найкращі умови спостережень. Так, найбільш Придатними для визначень є світила помірної яскравості, висоти яких знаходиться в діапазоні від 30° до 60° . Лінії положення при виборі 2,3 і 4 світил не повинні пересікатися під кутом, меншим 30° , і обраний варіант по точності повинен бути найкращим із можливих. Підбір комбінацій їх з 2,3 чи 4 світил звичайно засновується на методі аналізу точності можливих варіантів.

ВИПРАВЛЕННЯ ВИСОТ СВІТИЛ І АНАЛІЗ ПРОМАХІВ. виправлення висот світил виконується при обробці астрономічних обсервацій. Облік поправки індексу i секстана і його інструментальної поправки i звичайно виконується вручну з використанням формули $\delta - OC + i + z$, де OC — відлік секстана, а h' — вимірювання висота. Після врахування поправки на нахил обрію, для обчислення якої можна використати формулу $ci = 1.7603 - c/e$ (де c — висота ока спостерігача), одержують значення видимої висоти: $\delta_{\text{в}} = \delta - ci$. Після виправлення видимої висоти поправками на рефракцію з урахуванням впливу цієї неї температури і тиску, паралакса (для Сонця, Місяця і планет), півдіаметра (при вимірюваннях верхнього чи нижнього краю Сонця і Місяця) одержується значення обсервованої висоти h_o .

Поправка на паралакс може одержуватися за формулою

$$p = p_e \cos(h_e + K);$$

де p — горизонтальний екваторіальний паралакс; K — коефіцієнт, значення якого для Сонця 109.0433; для Місяця 10.2725; для планет 0.

Поправка на рефракцію розраховується в залежності від видимої висоти світила, температури повітря t° по Цельсію і атмосферного тиску B за формулою

$$R = -0.006 B / [\text{tgh}_e (273 + t^\circ)].$$

Для обчислення перелічених вище поправок в пам'яті БІЛУї вводяться ішічення висоти ока спостерігача, температури і атмосферного тиску.

По обсервованому і зчисленому значеннях висоти світила знаходять вільний член астрономічної лінії положення (перенос): $A_k = k \cdot H_c$. По величині M в ЕОМ звичайно виконується аналіз вимірювання на промах. В якості критерію K промаху вибирають або утроєну величину похибки зчислення. «бо певне значення, наприклад 20 миль, більше якого в даному районі перенос не може бути. Якщо перенос перевищує значення K_n , то вимірюванні! висоти вважається грубо помилковим, про що ЕОМ видає повідомлення. Звичайно якщо AH знаходиться в межах $(0.8K_n - 1.0K_n)$, то вимірювання вважається сумнівним. В цьому випадку повинно бути підтвердження судноводія для включення цього вимірювання в обробку.

Місце судна по результатах вимірювань висот світил знаходиться в ЕОМ по способу найменших квадратів із системи рівнянь висотних ліній положення. При розрахунку оцінюється радіальна середня квадратична погрішність місця судна. СКП вимірювання висоти світила звичайно вважається рівною Γ .

4.8. УТОЧНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РУХУ СУДНА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ РІЗНОЧАСОВИХ ОБСЕРВАЦІЙ

Для спрощення задача поточної навігації поділена на зчислення і уточнення елементів руху за результатами різночасних вимірювань навігаційних параметрів орієнтирів. Друга задача полягає в обчисленні по даних різночасних вимірювань параметрів орієнтирів поправки вектора стану $X = \{L(p, u, V_u, V^v)\}$, елементами якого є елементи неврахованого при зчисленні і зносу судна. При визначенні елементів зносу відхилення, що задаються, в положенні судна, викликані похибками вимірювань параметрів орієнтири, повинні бути згладжені, тому задачу, що розглядається, називають також уточненням елементів руху судна шляхом фільтрації вимірювань параметрів орієнтирів. В залежності від порядку, числа вимірювань параметрів орієнтири, їх виду, часу між вимірюваннями ця задача може мати досить багато варіантів, проте на практиці в автоматичних системах початковими для неї звичайно служать результати однотипних обсервацій, які проводять через постійний достатньо малий інтервал часу.

Слід відмітити, що визначення фільтрацією по результатах обсервацій тільки поправки вектора стану, а не самого вектора стану (як наприклад в ЗАРП), значно полегшує рішення, бо звичайно характер зміни елементів зносу постійний і його модель досить проста, що не можна сказати в цілому про модель судна для загального випадку його руху.

Як і задача обсервацій, задача, що розглядається, може мати дві постановки, звичайну і розширену. Перша полягає в визначенні поправки вектора^ стану системи по обсервованих оцінках X положення судна, одержаних через інтервал часу $1/\Delta t$. В розширеній постановці по цих даних необхідно оцінити поправку розширеного вектора X стану, який з елементами зносу містить ряд додаткових параметрів (звичайно повільно змінюючи погрішності засобів обсервацій і елементи, які характеризують тенденцію їх зміни з часом).

Рішення задачі в обох постановках виконується з допомогою ефективного математичного методу — фільтру Калмана. Оскільки функція фільтру в задачі, яка була розглянута, полягає в визначенні тільки поправок до стану системи, то режим його роботи називається "корекція" на відміну від "основного" режиму його використання при визначенні елементів руху судна, коли ці елементи визначаються фільтром в цілому, як, Наприклад, в ЗАРП знаходяться елементи руху цілей. Режим корекції, як згадувалось вище, простіше основного, звичайно в ньому задовільна точність забезпечується лінійним алгоритмом фільтрації з постійною структурою.

Для пояснення принципу рішення задачі уточнення елементів руху судна способом фільтрації розглянемо її тільки в звичайній постановці. При рішенні спершу визначаються математичні моделі, що відбивають характер зносу і властивості погрешностей результатів обсервацій.

Модель зносу. Досвід мореплавання показує, що зміна координат судна при зносі близька до рівномірної прямолінійної, проте суворо лінійною її не назвеш, бо складові швидкості зносу не залишаються постійними зі зміною часу і змінюються з зміною погоди і району плавання. Щоб модель зносу відбивала як близькість цього руху до прямолінійного рівномірного, так і Можливість зміни складових його швидкості в певних межах, вона (для Дискретного випадку, що розглядається) приймається наступною [8]

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_t &= \Delta\varphi_{t-1}V_{\Delta\varphi_t}\Delta t + \theta_{\varphi_t}; \\ \Delta w_t &= \Delta w_{t-1}V_{\Delta w_t}\Delta t + \theta_{w_t};\end{aligned}\quad (4.22)$$

де θ_{φ} , θ_w — білі шуми з нульовим математичним чеканням, які мають Малі дисперсії $\sigma_{\varphi}^2, \sigma_w^2$, відповідні можливим відхиленням руху судна при зносі від рівномірного за інтервал часу Δt .

На величину можливих відхилень від рівномірного руху при зносі впливають різноманітні чинники: район плавання, точність утримання судна на курсі, хвилювання і т.д. Для одержання об'єктивних результатів при фільтрації важливо, щоб використана оцінка $\sigma_{\varphi}^2, \sigma_w^2$ була адекватною умовам. Особливо небажано її зменшення, бо в цьому випадку при фільтрації не буде врахована можливість виникнення відхилень більших, ніж обмежено заданою оцінкою, що погіршує безпеку.

Теоретично визначення $\sigma_{\varphi}^2, \sigma_w^2$ може базуватися на інформації про автокореляційну функцію зносу. Як відомо, складова швидкості зносу звичайно задовільно відображається автокореляційною функцією виду

$$R_{\varphi}(\tau) = \sigma_{\varphi}^2 \exp(-\alpha_{\varphi}\tau), \quad (4.23)$$

де σ_{φ} — СКО складової швидкості зносу; α — параметр, що характеризує взаємозв'язок по часу значень швидкості зносу.

Виходячі з такої кореляційної функції, значення D може бути знайдено за наступною формулою

$$\begin{aligned}D_{\varphi} &= D_{\varphi}(1-r_{\varphi}); \\ \text{де } r_{\varphi} &= \exp(-\alpha_{\varphi}\Delta t_0); \quad D_{\varphi} = \sigma_{\varphi}^2 \sqrt{2(\alpha_{\varphi}\Delta t_0 + r_{\varphi} - 1)/\alpha_{\varphi}}.\end{aligned}\quad (4.24)$$

Проте складність полягає в тому, що параметри цієї функції (особливо α) змінюються при зміні умов плавання в широких межах. Так, для відкритого моря при точності стабілізації курсу 1° і відсутності потужного хвилювання параметри функції лежать в межах: $\alpha = 0.2-0.5$ вузла; $a = 0.1-0.3$ год⁻¹. Для стиснутих вод значення α може бути в декілька разів більше. Найбільш раціональним шляхом усунення невизначеності значень параметрів кореляційної функції є призначення їх середньостатистичних значень, відповідних видам районів плавання (див. табл. 3.1) і точності, з якою виконується на судні стабілізація курсу (малі промислові судна — низька точність, вантажні і промислові середньотоннажні і великотоннажні судна — задовільна точність, спеціальні судна — висока точність, ...). Обрані значення повинні об'єктивно, головне без заниження, відображати n величину швидкості зносу так і ступінь його змінювання в часі.

Представляючи модель динаміки зносу (4.22) в матричному вигляді через вектор стану X одержуємо

$$X_t = BX_{t-1} + \theta_t; \quad (4.25)$$

$$\theta_t = \begin{bmatrix} \theta_{Nt} \\ \theta_{Nt} \\ \theta_{Et} \\ \theta_{Et} \end{bmatrix}; K_\theta = \begin{bmatrix} D_{\theta_{Nt}} & D_{\theta_{Nt}} & 0 & 0 \\ D_{\theta_{Nt}} & D_{\theta_{Nt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{\theta_{Et}} & D_{\theta_{Et}} \\ 0 & 0 & D_{\theta_{Et}} & D_{\theta_{Et}} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Тут вектор стану обраний у вигляді:

$$X_t = (\Delta_{\varphi}, \nabla_{Nt}, \Delta_{wt}, \nabla_{Et})^T; \quad \text{де } \nabla_{Nt} = V_{\Delta t} \Delta t, \nabla_{Et} = V_{\Delta wt} \Delta t.$$

Модель обсервацій. При звичайній постановці задачі, що розглядається, вважається, що результати обсервацій мають неоднакову точність і взаємозалежні погрішності, тобто що з вектором стану результати обсервацій пов'язані наступним виразом

$$X_{\alpha t} = A X_t + E_{\alpha t}; \quad (4.26)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; K_{\alpha t} = \begin{bmatrix} D_{0N} & K_{wE} \\ K_{NE} & D_{0E} \end{bmatrix};$$

де D_m, D_{0E} — дисперсії похибок в обсервованій широті та відході, A', K_m — коефіцієнти цих похибок.

Математична постановка задачі. Коли моделі динаміки і спостережень визначені, задача формулюється як знаходження на поточний момент Чнсу i поправки вектора стану X із системи векторних лінійних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} X_t &= BX_{t-1} + \theta_t \\ X_{\alpha t} &= AX_t + E_{\alpha t} \end{aligned} \right\}; \quad (4.27)$$

Рішення задачі Рішення задачі виконується за допомогою спрощеного фільтра Калмана — методу послідовної обробки, в якій на кожному кроці виконуються такі операції.

По оцінці вектора на момент X із першого рівняння системи (4.27) Одержується прогноз цього вектора на момент i і характеристика точності прогнозу K_m

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_m &= BX_{t-1} \\ K_m &= BK_{t-1}B^T + K_\theta \end{aligned} \right\}; \quad (4.28)$$

коли в момент i одержується вектор $X_{\alpha i}$ за правилом об'єднання оцінок Лінійно залежних векторів одержується ефективна оцінка вектора стану X_i і Коваріаційна матриця K , що характеризує точність цього вектора

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_t &= \hat{X}_{t-1} + NR^{-1}(\hat{X}_{\alpha t} - \hat{X}_m) \\ K_t &= K_m - K^{-1}N^T \end{aligned} \right\}; \quad (4.29)$$

$$\text{де } N = K_m A^T; R = A K_m A^T + K_{\alpha t}.$$

Матриця $P = MK^{i-1}$ називається ваговою. В наступний момент часу $I+1$ елементи зносу знаходяться за цими ж формулами з використанням попереднього результату. Це зручно для ЕОМ, бо зберігати необхідно тільки результати попереднього кроку обчислень, а не всіх кроків.

Час після початку фільтрації, через який її режим стає стаціонарним, називається часом перехідного процесу фільтрації. Слід визначити, що умовно при русі судна з

незмінною швидкістю (як це звичайно є при виконанні переходу або при проходженні окремих його ділянок) в швидкості зносу можна виділити дві складові: незалежну від курсу судна (неврахована течія) і залежну, що викликається похибками курсовизначання, стабілізації на курсі, вітровим дрейфом. Тому відразу після зміни курсу при плаванні по маршруту вага старої, накопиченої про елементи зносу інформації повинна бути зменшена приблизно наполовину.

СУМІСНА ОБРОБКА ДАНИХ ПОЗИЦІЙНИХ ЗАСОБІВ. АСН звичайно містить декілька вимірювальних приладів для контролю за рухом судна і в ряді районів дозволяє по них одночасно оцінювати місце судна. Спільна обробка даних цих засобів в ряді випадків дозволяє добиватися підвищення точності і надійності судноводіння за рахунок взаємної чи однобічної корекції їх похибок. Основним методом такої сумісної обробки інформації пристроїв визначенні місця судна в автоматизованих навігаційних системах є спосіб фільтрації Калмана, застосування якого припускає знання виду моделей, що відбивають характер зміни похибок. Параметри цих моделей поряд з координатами судна вносяться в число величин, що визначаються і уточнюються на основі вимірювань. Одержані значення параметрів використовуються для корегування похибок.

Сигнали засобів (позиційних вимірювальних приладів), які використовуються для обсервацій, мають не тільки шумові, але і систематичні похибки, які для багатьох позиційних вимірювачів є переважаючими. Врахування таких похибок може бути здійснено на основі принципу взаємної корекції, шляхом сумісного використання інформації спеціально обраних вимірювачів цих приладів. Таке сумісне використання даних дозволяє підвищити як точність навігації за рахунок корекції похибок, так і її надійність, оскільки наш 11, просте порівняння отриманих різними засобами обсервованих координат дій можливість виявити промахи по аномальній розбіжності результатів.

4.9. АВТОМАТИЗОВАНІ НАВІГАЦІЙНІ ПРИЙОМОІНДИКАТОРИ (ПІ) І СИСТЕМИ

Простими бортовими автоматизованими засобами навігації є автоматизовані ПІ радіотехнічних систем визначення місця, що ведуть зчислення шляху судна, виконують вимірювання навігаційних параметрів орієнтирів, розраховують координати обсервованого місця і вирішують додаткові навігаційні задачі.

АВТОМАТИЧНІ ПРИЙОМОІНДИКАТОРИ РНС "Декка". РНС "Декка" є фазовою різничновідстанемірною системою з частотною селекцією сигналів і служить для забезпечення безпеки плавання в прибережних водах, вузькостях і на підходах до портів. Дальність її дії складає 300-500 миль. Системи дає можливість визначати місце практично безупинно. В різних районах Земної кулі діє майже 50 ланцюжків РНС "Декка". Ланцюжки складаються із однієї провідної і трьох ведених станцій, що розташовані навкруги провідної на відстані 70-100 миль. Усі станції працюють на різних частотах, що є кратними одній базовій частоті, рівній приблизно 14,16 кГц. Для усунення багатозначності станції ланцюжка приблизно через 20с на протязі 0.45с випромінюють 11 крім власної, три інші частоти, що дає можливість виділити базову частоту, на якій ведеться визначення в межах грубої доріжки. Ширина грубої доріжки усіх пар станцій приблизно дорівнює 10500 м.

Типовий автоматичний ПІ РНС "Декка" призначений для практично безупинних визначень місця по станціях цієї РНС і рішення додаткових задач і ним можуть стикуватися засоби зчислення (різноманітні види компасів і лагів і засоби відображення інформації (різного виду автопрокладачі). Цей прилад звичайно має один мікропроцесор з блоком пам'яті, тобто практично вмонтовану мікро ЕОМ. Після запровадження координат початкової позиції ПІ автоматично визначає місце судна і вибирає найкращі для визначення місця ланцюжки автоматично перехід від ланцюжка до ланцюжка

відбувається, коли попередньо розрахована точність визначення по новому ланцюжку стає кращою. Є також можливість вибору ланцюжків вручну. ПП працює в двох режимах: нормальний для визначень місця та ідентифікації для усунення багатозначності (кожні 20 с). Для поліпшення точності визначень, що проводяться, і уточнення зчислюваної швидкості судна на вмонтованій ЕОМ можуть реалізовуватися спрощений фільтр Калмана для вирівнювання визначень, що проводяться.

Точність визначень по РНС "Декка" залежить від умов розповсюдження радіохвиль і геометричного чинника (взаємного розташування станцій системи і судна). Вона змінюється в досить широких межах і складає 0.1-0.3 милі на відстанях до 100 миль від провідної станції. На відстанях від 100 до 250 миль точність визначення вдень складає 0.3-0.8 милі, а вночі—0.8-1.5 милі.

АВТОМАТИЧНІ ПРИЙОМОІНДИКАТОРИ РНС "Лоран-С". РНС "Ло-рй-О" призначена для навігаційного забезпечення морського руху в прибережних зонах і на підходах до портів. Вона реалізує різнично-відстане мірний спосіб навігаційних визначень: для вимірювань навігаційного параметра використовує імпульсно — фазовий спосіб — грубе вимірювання різниці відстаней засновано на вимірюванні інтервалу часу між імпульсами провідної і ведених станцій, а точне — на фазовому способі. Дальність дії системи досягає 2000 миль. Система дає можливість практично безупинного визначення місця. Типовий автоматичний ПП цієї системи звичайно може з'єднуватися з засобами зчислення, графічним і відеопрокладником. Він має вмонтований мікропроцесор з блоком пам'яті чи мікро ЕОМ і забезпечує: вибір на фоні перешкод необхідного ланцюжка станцій; розпізнавання імпульсів провідної станції (при попередній синхронізації з власним еталоном часу), імпульсів веденої станції і первісне грубе вимірювання різниці часу; формування сигналів | Особливими точками і слідування за ними для визначення значення навігаційного параметра; виконує функції перетворення гіперболічних координат в біографічні, відображає результати обсервацій. Дає можливість автоматичного вибору сигналів пар станцій, що забезпечують в даному районі найкращі визначення. Деякі автоматичні ПП дозволяють одержувати координати місця з поправок на місцеві умови розповсюдження радіохвиль.

ПП також вирішує ряд додаткових задач з електронною цифровою індикацією їх результатів: відстані до пункту призначення; пеленга і відстані до заданої точки, шляхової швидкості і шляхового кута; бокового відхилення від заданого маршруту; часу плавання до проміжного чи кінцевого пункту маршруту. В пам'яті ПП зберігаються координати і інші параметри станцій цієї РИС, що були використані при рішеннях задач, поправки на місцеві умови розповсюдження радіохвиль, точки маршруту, що планується.

З автоматичних ПП цієї системи можна назвати: ПП "Ельдорадо" (Росія), •LC-80" і "LC-90" фірми "FURUNO" (Японія); "Raynay 520", "Raynay 570", "та інші.

Точність місцевизначення залежить від умов розповсюдження радіохвиль (стану атмосфери, виду підстиляючої поверхні, кліматичних умов і геометричного чинника). При використанні тільки поверхневих хвиль вона складає 0.05 1.5 милі на всій відстані до 1200 миль в будь-який час доби і року. При використанні одноразово відбитих від іоносфери хвиль на відстанях 1200-2000 миль точність знижується до 1.5-3 миль.

АВТОМАТИЧНІ ПРИЙОМОІНДИКАТОРИ РНС «Альфа». Фазова РІП «Альфа» працює в діапазоні дуже низьких частот (10.2 кГц), є практичній глобальною від'ємно-далекомірною системою і призначена для навігації морських надводних і підводних суден у відкритому морі і прибережних пі і дах. Система забезпечує можливість практично безперервних визначень ми ця. Чотири станції системи, які знаходяться в експлуатації, не розділяються ні провідні і ведені і працюють незалежно одна від одної, синхронно з сигналами системи єдиного часу. Вони по черзі випромінюють синхронізовані по <|>и н достатньо довгі (0.9—1.2 с) імпульсні сигнали (рознесення імпульсів 0.2 с.)

Усунення багатозначності фазових вимірювань в системі виконується її так званим методом ноніуса, з використанням одного чи двох ступенів вирішення багатозначності. В

першому випадку одержують проміжну доріжку (44 км), яка включає три точні доріжки. Точна шкала відповідає частині основного сигналу (10.2 кГц), для якої ширина доріжки складає 14.7 км. І при двох ступенях усунення багатозначності для формування першої грубої шкали (доріжка 44 км) використовуються сигнали з частотами 13.6 і 10.2 кГц. Друга груба шкала (доріжка 132 км) утворюється із сигналів з частотами 11.11 і 10.2 кГц. Для первинної прив'язки ПП використовується обчислюване місцеве

ПП РНС «Альфа» (аналог РНС «ОМЕОА») забезпечують: ідентифікацію сигналів від 8 станцій системи; вибір пар станцій в заданій комбінації, синхронізацію роботи вимірювальних приладів з циклом тимчасової діаграми випромінювань станцій системи; обертання рамок антен для просторої селекції сигналів; вимірювання фази радіонавігаційних сигналів, які приймаються; фільтрацію вимірюваних різниць фаз цих сигналів; оцінку відношенню сигнал-шум і оптимізацію режиму фільтрації; обчислення поправок на добові і сезонні зміни швидкості розповсюдження радіохвиль; усунення багатозначності фазових вимірювань; корекцію відхилення фази генератора опорної напруги; визначення найбільш ймовірного місцеположення судна з врахуванням надмірності радіонавігаційної інформації, яка отримується від станцій; оцінку вірогідності обчислюваного місцеположення; контроль основних параметрів ПП. Крім цих функцій автоматичні ПП РНС «Альфа», аналогічно по томографічним ПП РНС «DECCA» і «Logan-C», забезпечують обчислення і електронну індикацію додаткової навігаційної інформації

З автоматичних ПП систем можна привести: ПП «Омар» (Росія).

Точність визначень місця залежить від умов розповсюдження радіохвиль (стану іоносфери і атмосфери, виду підстиляючої поверхні, кліматичних умов) і геометричного чинника. В середньому точність обсервацій по РНС «Альфи» складає 1.0-2.0 миль в найбільш сприятливих умовах, і до 5-7 миль в Періоди збурень атмосфери.

АВТОМАТИЧНІ ПП СНС «NAVSTAR» (або GPS – Global positioning system(США) та «ГЛОНАСС» (Росія)). СНС «GPS» та «ГЛОНАСС» складаються із 18 -24 ШСЗ на середньовисоких орбітах, наземного командно-вимірювального Комплексу і бортової апаратури. В системах використовується поєднанекомірний метод визначення положення та псевдорадіально-виділений метод визначення швидкості об'єкта. Системи є глобальними і призначені для забезпечення навігації повітряних і морських суден та визначення часу з високою точністю. При використанні СНС можливі наступні режими: двохмірної навігації (визначення навігаційних параметрів судна на поверхні Землі) і трьохмірний режим (широта, довгота, висота). При визначенні навігаційних параметрів у першому режимі використовується звичайно від 3 до 7 Супутників, а в другому - від 4 до 7 ШСЗ. В системі «GPS» використовується (содовий принцип розділу каналів ШСЗ, в системі «ГЛОНАСС» - частотний.

Випромінювання навігаційних сигналів здійснюється на частотах 1575 і 1227 МГц (СНС «GPS») 1602...1615 і 1246...1256 МГц(СНС «ГЛОНАСС»). Режим випромінювання - безперервний з використанням псевдовипадкової послідовності в якості модуляційної функції. В СНС «GPS» ШСЗ випромінюють сигнали з двома періодами повторення модуляційних кодів: захищений Р-код (GPS-код) і загальнодоступний С/А-код (selectiv available).

Р-код використовується в спеціальній апаратурі і дозволяє в двохмірному режимі забезпечити точність: місцеположення 5-10 м, швидкості 0.05-0,15 м/с і синхронізації бортового еталону часу з точністю до 5-15 не. С/А-код дозволяє забезпечити точність місцезнаходження 40 - 60 м. При сумірному використанні сигналів СНС «OP8» та «ГЛОНАСС» точність місцезнаходження досягає 15-25 м.

Типовий комплект бортової апаратури складається із антени і прийомодікатора. ПП включає: приймач супутникових сигналів, спеціалізований обчислювач на мікропроцесорах, блоки пам'яті для зберігання необхідних даних, універсальний процесор для вирішення завдань загального використання і управління роботою ПП, пристрої

управління і індикації. ПП забезпечує: вибір її сукупності робочого сузір'я супутників, які знаходяться у зоні радіообзору ПП, радіовидимих ШСЗ, пошук і спостереження радіонавігаційних сигналів ШСЗ, вимірювання їх часової затримки і зміщення несучих частот за ефектом Доплера; виділення і декодування навігаційних повідомлень; обробку вимірювальної і ефемеридної інформації для одержання місця і швидкості судна; оцінку точності місця і індикацію результатів обчислень. ПП з'єднується з ГК, лагом, магнітним електронним компасом і відеопрокладачем, ПП «Logan-C» та з іншими навігаційними приладами П залежності від призначення апаратури використовують три види ПП.

Апаратура типу Х призначена для швидкісних високодинамічних об'єктів (військових літаків, ракет і т.і.), кінематичні параметри яких треба визначити з високою точністю і за короткий час. Апаратура цього класу містить 4 Н паралельних апаратних каналів стеження за ШСЗ, у яких використовуються Р і С/А коди. У блоці цифрової обробки сигналів одержуються кінематичні параметри об'єкта. Отримані дані про координати і швидкість об'єкта згладжуються за допомогою фільтра Калмана.

Апаратура типу У призначена для цивільних і транспортних літаків і військових кораблів. Апаратура має два паралельних канали, працює на обох частотах з використанням Р і С/А - кодів та виконує послідовне слідування Ц частотами 3-7 ШСЗ. Отримані в ПП кінематичні параметри об'єкта згладжуються за допомогою фільтра Калмана.

Для найбільш масового споживача, основною вимогою якого є мінімальна вартість апаратури, розроблена апаратура типу 2, яка використовує 1-8 канал і в слідування за сигналами 3-7 ШСЗ на частоті 1575 МГц з кодом С/А. Для спрощення програмного забезпечення в апаратурі цього типу використаний скорочений фільтр Калмана. До типу 2 відносяться, в основному, і суднові ПП.

ПП для морських суден має можливість відображення наступних параметрів: географічні широта і довгота судна; його швидкість і курс; пеленг, відстань і час до наступної точки повороту; загальна відстань до кінцевої точки маршруту; поточні курс і швидкість, швидкість по відношенню до точки призначення; шляхова швидкість; поліпшений курс, величина і похибка боковою відхилення від маршруту та ряд інших даних.

При рішенні задачі планування маршруту може бути введено до 99 поворотних точок. В ПП передбачена сигналізація про прибуття в поворотні точки, дрейфу на якорі, перевищення заданого значення бокового відхилення.

Із ПП СНС «Navstar» можна назвати: «GPS2000», «GPS83000», «NAV DLX-10» фірми «Magellan» (США) (10-ти каналний, 200 шляхових точок); «MX 100» (6-ти каналний, 200 шляхових точок), MX-4102 фірми «Magellan» (США); «Бірюза СН4» (Україна); «Raystar-920» (5-ти каналний, 99 точок) фірми «Tecom M-200» (6-ти каналний, 225 шляхових точок) фірми «Tecom Industries» (США).

Точність ПП залежить від типу апаратури. Апаратура типу Х забезпечує точність визначення порядку 10 м. Суднова апаратура типу 2 забезпечує визначення координат об'єкта з точністю майже 100 м, а швидкості 0.1...0.2 вузла. Дискретність визначення складає 0.5, 1, 2 або 3 с.

КОМБІНОВАНІ АВТОМАТИЧНІ НАВІГАЦІЙНІ ПП дозволяють визначати місцеположення по декількох навігаційних системах, звичайно, по двох. наприклад СН-3101, СН-3102 (14-ти каналний ПП СНС «GPS» та «ГЛОНАСС»).

АВТОМАТИЧНІ ПРИЙМАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ГЕОГРАФІЧНІ, МЕТЕОРОЛОГІЧНІ І ІНШІ ВАЖЛИВІ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО СУДНОВОДІННЯ ЯВИЩА. Відповідно до рішень ІМО всім суднам дозволено плавати без радистів з 2.1992, якщо ці судна задовольняють вимогам ГМЗЗБ — Глобальної морської системи зв'язку і забезпечення безпеки (GMDSS). З 1999 року всі судна понад 300 брт і всі пасажирські судна повинні бути обладнані згідно з вимогами GMDSS, незалежно від їх типу і району

плавання. GMDSS, — це комунікаційна скоординована світова служба, що охоплює такі функції:

- Попередження лиха: швидке і ефективне повідомлення про аварійні випадки органу, який може забезпечити або скоординувати надання допомоги; і координаційний зв'язок при пошуку і рятуванні: зв'язок необхідний для

- Координації морських і повітряних суден в пошуку потерпілих після надходження сигналу лиха;

- зв'язок в районі рятування: зв'язок між судном, яке терпить лихо, і об'єктами, що подають допомогу судну чи рятують людей, що вижили;

- Локальні сигнали: передача повідомлень про наміри для прискорення пошуку судна, що терпить лихо, чи місця, де знаходяться люди, що вижили;

- розповсюдження інформації для безпечного плавання: передача по радіо навігаційних і метеорологічних попереджень і термінової інформації, що стосується судноводіння;

- Загальний радіозв'язок: це зв'язок між судновими станціями і розміщеними на березі комунікаційними мережами, що стосуються управління судном і можуть впливати на його безпеку;

- зв'язок мостик-мостик: УКХ радіотелефонний зв'язок для цілей забезпечення безпечного руху судна

Для виконання цих функцій судна обладнуються станціями, що забезпечують можливість самим судноводіям здійснювати всі види зв'язку. Складовою частиною GMDSS є служба Навтекс (Martytex) — телеграфна Істема, для передачі навігаційних і метеорологічних попереджень і термінової інформації на судна. Це цілодобова служба, яка охоплює всю Земну кулю. Для бору і передачі інформації Земна куля поділена на 16 зон "Навареа". Досягнена (ода про введення для служби єдиної частоти—518 кгц, радіопередачі на цій чистоті ведуться на англійської мові, служба відкрита для вільного доступу всіх Користувачів.

Приймач "Навтекс" служить для прийому і друку на борту судна інформації про географічні, метеорологічні, гідрографічні і інші важливі для безпеки мореплавання чинники в певному районі. Приймач можна самостійно програмувати перепрограмувати. Оператор може самостійно обрати до 8 груп станцій в залежності від рейсу і оперативно обрати для прийому будь-яку групу. Програмувати можна і тип повідомлень, частина з яких може виключатись. Два види повідомлень ("Попередження" і "Аварійні сповіщення для пошуку і спасіння") завжди приймаються приймачем і не можуть бути виключені. Приймач може мати можливість приймати і друкувати повідомлення і на другій "національній" мові. Приймач має буферну пам'ять, аварійне живлення, прилад для друку

ІНТЕГРОВАНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ З АВТОПРОКЛАДАЧ Л МИ (АП) віднесені до простих систем, які включають один чи декілька автоматизованих ПІ радіотехнічних навігаційних систем визначення місця, ГК, лаг і ЛПІ для відображення процесу судноводіння на карті. Звичайно системи з *Щ* призначені для суден малого і середнього тоннажу, діяльність яких включає часті маневри. Наприклад, до таких суден відносяться рибальські судна і я м н

АП з цифровою обробкою даних поділяються на графічні проклади відеопрокладачі (ВП), багатофункціональні навігаційні мікропроцесорні планшети. Графічні прокладачі ведуть прокладання курсу на стандартних чи рулонних картах, або на бланках паперу і мають різноманітні режими. Найбільш досконалі з цих прокладачів можуть вести прокладання по даних ГК, лага; 11 СНС "Навстар", РНС "Декка", "Глонасс", "Маршрут", "Лоран-С", а також даних комбінованих ПІ; автоматично наносять при прокладанні різноманітні і мітки: початкової і кінцевої точок, проміжних точок звичайно на початку кожній години, обсервованих місць і ряд інших; мають можливість робити на карті оперативні відмітки. Із графічних прокладачів, що використовуються на деяких

судиш вітчизняного промислового флоту, можна назвати прилади англійської фірми (моделі 350 і 1877), РР-200 японської фірми "Ригало".

Відеопрокладач (ВП) — це автоматизований прилад, який відображає на екрані дисплея, як правило, контурну або стилізовану (спрощену) карту, 11 п* нований маршрут, лінію шляху судна і результати обсервацій через обранні інтервали часу. Він має прилад для ручного введення в нього інформації, на забезпечує можливість спрощеного діалогу з системою. Картографічна (і її даних в ВП відсутня, введення картографічної інформації виконується з магнітного диску. В останніх модифікаціях ВП передбачена можливість з'єднання їх з АРП, виводу і суміщення РЛ - зображення з картою місцевої її Вимоги до систем з ВП освітлені в розділі 2.2.

ВП виконують такі типові операції: відображають карти в режимі істині m руху; виробляють зміну карт; індицирують спеціальним знаком місце власі ким судна; зберігають і відображають рекомендовані маршрути; запам'ятовують пічки шляху судна і відображають його на екрані; дають можливість плануванні маршруту за допомогою маркера; надають цифрову інформацію про процеси судноводіння, дають можливість за допомогою маркера чи візирних ліній m носити на карту навігаційні точки (положення маяків, буїв і т.д.) і робити відмітки на лінії шляху, дозволяють знаходити відстань і пеленг двох точок

На екрані ВП в літеро-цифровому вигляді відображується: установлений масштаб карти і режим роботи приладу, час і поточні координати місця суди

Багатофункціональні навігаційні мікропроцесорні планшети. Представником таких засобів, наприклад, є планшет фірми Magigite тс. (ШР). у національний навігаційний мікропроцесорний планшет призначений для поліпшення навігаційних задач за допомогою функціональної клавіатури і електронного олівця безпосередньо на розташованій на планшеті навігаційній паперовій карті, яка і зараз залишається найбільш докладним, точним засобом відображення навігаційної і гідрографічної обстановки району. Навігаційний Мікропроцесорний планшет являє собою електронний цифровий стіл для карт функціональною клавіатурою, з вбудованим в нього навігаційним комп'ютерний і з'єднаним з ним електронним олівцем. Планшет може з'єднуватись з сучасними електронними засобами визначення місцеположення і управління рухом судна, і бути автоматизованим центром судноводіння. Так як він достатньо Портативний, то він може використовуватися автономно як на мостіку, так і в Кіюті для рішення задачі планування шляху.

Мікропроцесорний планшет дає можливість відображення на карті як результатів візуальних визначень, так і інформації від автоматичних електронних засобів навігації. Він дозволяє виконувати наступні операції і задачі: з'єднуватись з ПІ "Лоран-С", ОР8, радіолокатором і комп'ютером, миттєво відзначати значення поточних координат судна по даних автоматичних засобі» навігації і візуальних спостережень, виявляти і відображати РЛ - цілі, управляти рухом судна по маршруту, зазначаючи в цифровому вигляді величину відхилення від нього, оцінювати візуальні пеленги, прогнозувати час або швидкість руху для приходу в задану точку, миттєво запам'ятати дані обстановки за запитом при виникненні аварійних чи критичних ситуацій. Можливості мікропроцесорного планшета значно розширюються при стиковці його з персональним комп'ютером, коли останній виконує функції Інформаційної системи судноводіння: містить бази даних маршрутів, гармонійних і астрономічних постійних для обчислення припливів, радіонавігаційних систем, коректурних відомостей, довідки; дозволяє вирішувати чи-дачі попереднього обчислювання припливних рівнів і течій, прогнозування і маневри, морехідність і т.д., і коли на комп'ютер автоматично може передаватися інформація від берегових центрів забезпечення мореплавання черг і супутникові канали зв'язку.

ІНТЕГРОВАНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ З ЕК (АСНК) мають цілорозмірну картографічну базу даних і характеризуються комплексним иїї користанням навігаційних засобів для контролю за рухом свого судим, відображенням навігаційної

обстановки на фоні ЕК, можливістю виводу РЛ зображення місцевості і суміщення його з ЕК, автоматизацією виконані і к задач навігації на основі використання розгалуженого інтерактивного діалогу і виконання попередньої прокладки. Основні вимоги до АСНК перелічені в розділі 2.2.

Основні функції, що виконуються АСНК: відображення карт в режимі істинного і відносного руху; автоматична зміна карт і зміна їх масштабу, виконання коректур ЕК; вимірювання географічних координат будь-якої об'єктів карти, відстаней, пеленгів; ідентифікація КО; одержання довідкової інформації про КО, засоби навігаційного устаткування, гідрографічні дані за запитом оператора; планування маршруту з розрахунком швидкості, відстані, часу плавання; принципова можливість синтезу ЕК в необхідній проекції; відображення позиції власного судна і пройденого шляху; зберігання, редагування і відображення рекомендованих маршрутів; проведення зчислення, виконання обсервацій по радіонавігаційних і супутникових навігаційних системах, сумісна обробка даних від різноманітних систем визначення місця і засобів зчислення з прокладанням шляху судна і результатів визначень на карті; з'єднання з АРП і сумісне рішення з неї задач розходження суден і програвання маневрів, можливість накладання РЛ — зображення на ЕК; автоматизована оцінка безпеки плавання; забезпечення необхідною цифровою інформацією і ряд інших функцій.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть загальну і локальні задачі системи оперативної навігації.
2. Яка система навігації є інтегрованою (гібридною)?
3. Приведіть формули, за якими виконується зчислення в ЕОМ.
4. Яке зчислення зветься обсервованим?
5. Приведіть перелік операцій, що входять в первинну обробку при обсерваціях?
6. Яка постановка задачі обсервації зветься звичайною, а яка розширеною?
7. В чому полягає лінеаризація задачі обсервації і для чого вона робиться?
8. Приведіть рівняння лінії положення в стандартному вигляді і поясніть величини, що входять до нього.
9. Який математичний метод застосовується для знаходження ефективної оцінки положення судна із системи рівнянь ліній положення?
10. Назвіть ціль застосування декількох ітерацій при знаходженні оцінки положення по лінеаризованих співвідношеннях.
11. Що означає термін — вектор стану об'єкта управління?
12. За якими формулами в залежності від параметра сигналу, що вимірюється, одержується різниця відстаней в РНС "Декка", "Маршрут", "Лоран-С"?
13. Який вид мають коефіцієнти лінії положення різниці відстаней?
14. По якому числу супутників визначається місце в СНС "Навстар"?
15. Дайте коротку характеристику супутниковій системі "Навстар".
16. Принципи усунення багатозначності фазових вимірювань в системах "Декка", "Лоран-С", "Маршрут".
17. Які додаткові задачі вирішують автоматичні навігаційні ПП?

18. Яку точність забезпечують ПП систем "Декка", "Маршрут" і "Лоран-С"?
19. Які види бортової апаратури є в СНС "Навстар"?
20. Які розрізняють види інтегрованих навігаційних систем?
21. Назвіть основні види і функції автопрокладчиків. С^

5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

5.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО АВТОМАТИЗАЦІЮ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ (РЛ) ІНФОРМАЦІЇ

Судова РЛС є датчиком інформації про рух зустрічних суден і про положення свого судна. З її допомогою вирішуються задачі попередження зіткнень, визначення місця свого судна і управління його рухом. При автоматизації обробки РЛ-інформації безперервні сигнали і приймача РЛС перетворюються в цифровий вид, перевагою якого перед безперервною формою є можливість простого виділення корисної складової сигналу на фоні завад і можливість використання побудови них на дискретних принципах сучасних засобів обробки і відображення інформації.

Особливе значення суднова РЛС має для рішення задач попередження зіткнень суден, і перші суднові автоматизовані системи обробки РЛ-інформації були створені саме для рішення цих задач: обчислення елементів руху певного числа суден, що знаходяться в зоні огляду РЛС, відображення їх траєкторій, оцінки небезпеки зіткнення з ними. Такі системи одержали назву автоматичних радіолокаційних прокладчиків (АРП). В процесі розвитку АРП збільшилась кількість вирішуваних ними задач, стало можливим

програвати на АРП маневри, виробляти рекомендації щодо маневрування для розходження суден, відображати ЕК і вирішувати задачі навігації. Тобто вони перетворились в РЛ-систему судноводіння, основним датчиком інформації яких є РЛС.

Характеризуючи навігаційне використання РЛ-систем, слід визначити, що алгоритм розрахунку в них аналогічний алгоритму, наведеному в параграфі 4.2. Автоматичне визначення положення свого судна заданими РЛС виконується двома способами: а) по вимірюваннях пеленгів і відстаней навігаційних орієнтирів; б) шляхом суміщення РЛ зображення з ЕК і визначенням координат судна як координат його відмітки (точки) на карті. Перший спосіб повністю відповідає наведеному в параграфах 4.3-4.5 способу визначення положення по вимірюванням навігаційних параметрів орієнтирів. Другий може виконуватися по-різному. Частіше усього використовується спосіб опорних елементів. Ними, звичайно, служать точкові нерухомі об'єкти, РЛ-зображення яких автоматично суміщається з їх умовним зображенням на ЕК. Уточнення положення і складових швидкості свого судна по ряду РЛ обсервацій виконується у відповідності з алгоритмом фільтрації, наведеним у параграфі 4.8.

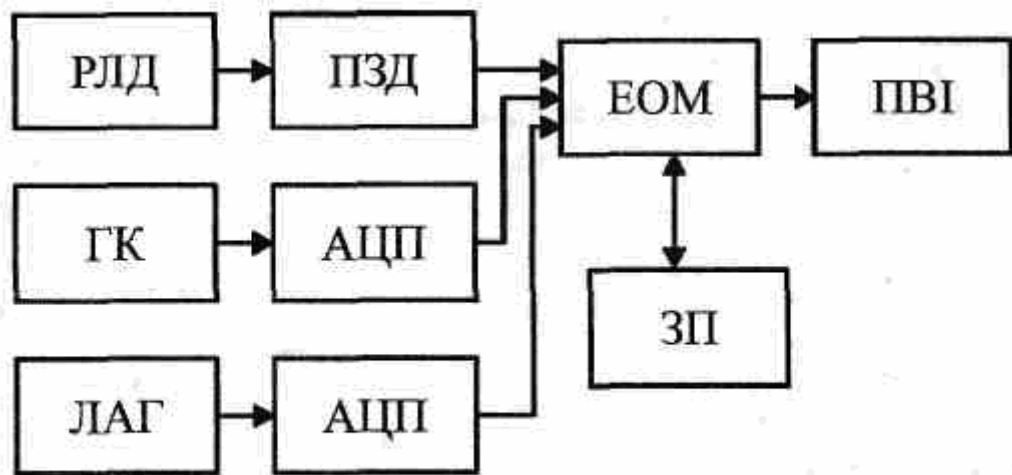


Рис 5.1 Структура автоматичної системи обробки РЛ-інформації

Враховуючи, що питання стосовно навігаційного використання РЛ-інформації подані вище досить повно, матеріал, наведений в цьому розділі, присвячений в основному питанням її обробки при рішенні задач попередження зіткнень суден. Функціональна схема РЛ-системи (РЛС/АРП) подана в узагальненому вигляді на рис. 5.1, де РЛД — радіолокаційний датчик; ГК — гірокомпас; ПЗД — прилад з'єднання РЛ-датчика з ЕОМ; АЦП — аналого-цифрові перетворювачі; ЗП — запам'ятовуючий пристрій, що зберігає дані ЕК; ПВІ — пристрій відображення інформації. РЛ-датчик може бути поданий як і укупність приладів РЛС без індикатора. Прилад з'єднання РЛ-датчика з ЕОМ називається ще приладом первинної обробки даних або преселектором. До його складу входить спеціальний процесор, який здійснює дискретизацію РЛ-сигналу й часом і рівнем, виділення корисного сигналу на фоні завад, розпізнавання сигналів цілей від сигналів берегової лінії. АЦП служать для перетворення інформації ГК і лага в цифровий код, що сприймає ЕОМ. Останні моделі ГК і лагів мають "цифровий" вихід, в цьому випадку їх підключення до ЕОМ не вимагає АЦП. ЕОМ виконує вторинну обробку РЛ-інформації та рішення ряду навігаційних задач. Прилади відображення РЛ-інформації включають графічний дисплей, засоби сигналізації і реєстрації.

5.2. ТЕХНІЧНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ ДО РЛ-СИСТЕМ.

Стандартні технічно-експлуатаційні вимоги до РЛ-систем (РЛС/АРП) визначені ІМО. Нижче перераховані основні із цих вимог [7].

ВИМОГИ ДО РЛС. РЛ-устаткування повинно забезпечувати індикацію Положення надводних суден щодо свого судна, перешкод, буїв, узбережжя і Жівігаційних знаків у вигляді, який допомагає при навігації і попередженні еутичок. При нормальних умовах розповсюдження радіохвиль, коли висота антени над рівнем моря дорівнює 15 м і немає завад, РЛС повинна давати чітке зображення:

—узбережжя на відстані 20 М, коли воно підноситься над рівнем моря по 60 м., і на відстані 7 М, коли воно підіймається до 6 м;

—надводних об'єктів: суден місткістю 5000 брт незалежно від ракурсу мі відстані не менш 7 М; малих суден довжиною порядку 10 м на відстані m менш 3 М; об'єктів, таких як навігаційні буї, що мають ефективну поверхню відбивання порядку 10 кв.м., на відстані не менш 2 М.

Надводні об'єкти повинні бути чітко відображені, починаючи з мінімальної горизонтальної дистанції 50 м від позиції антени до відстані 10 М, без зміни положення органів регулювання РЛС, виключаючи перемикач шкал.

РЛ-система повинна мати дисплей для користування при денному світі і ніч без зовнішнього збільшення з мінімальним ефективним діаметром в межах шкали пеленгів не меншим, ніж: 180 мм для суден місткістю 150-1000 брт.; 211 мм для суден місткістю 1000-10000 брт.; 340 мм для суден місткістю 10000 брт. і вище. Дозволено застосування багатокольорових дисплеїв. Необхідно мати такі дальності: 0.25, 0.5, 0.75, 1.5, 3, 6, 12 і 24 М. Шкали з більшими і меншими значеннями дальності допускаються. В межах ефективного площі екрану повинна міститись тільки інформація, що використовується для навігації чи пошуку суден і еутичок і інформація, що має певне відношення до цілі (наприклад символ цілі, її вектор) або інше пряме відношення до зображення. Вимагається, щоб початок шкали дальності був у місці свого судна, і шкала була лінійною. Інформація РЛ-системи повинна легко читатись при всіх умовах освітлення.

Обрана інформація системної ЕК (СЕК) може бути подана на дисплеї але таким чином, щоб інформація РЛС не маскувалась, не затемнялась і не викривлялась. Інформація СЕК на екрані РЛ-системи повинна принаймні включати безпечну ізобату власного судна, навігаційні небезпеки, стаціонарні і плаваючі засоби навігації. При поданні інформації СЕК спільно з інформацією РЛС/АРП вимагається, щоб: ці дані були в одній і тій же системі координат. вся ефективна площа дисплея містила інформацію, що надають РЛС і СІ ІК, інформації РЛС віддавався пріоритет; забезпечувалась стійкість РЛ-зображення, векторів АРП, інформації СЕК; чітко зазначався режим роботи, забезпечувалась незалежність РЛС/АРП і СЕК (інформація СЕК не повинна виявляти несприятливий ефект на РЛС; дані РЛС/АРП і СЕК повинні легко впізнаватись; в разі порушень нормального функціонування однієї із компонентів системи повинні порушуватись функції іншої).

Вимагається мати на екрані електронні НКД для оцінки відстані, при цьому на шкалах 0.25, 0.5, 0.75 М мають бути принаймні 2, але не більш 6 НКД, їм більших шкалах слід мати 6 НКД. При зміщенні центру повинні відображатись додаткові НКД з інтервалом, рівним інтервалу між основними НКД. РЛ зображення слід визначати рухомим маркером дальності у вигляді кільця (ПКД) з індивідуальним цифровим індикатором. Допускаються додаткові ПКД. Вимагається, щоб точність вимірювання дистанцій за допомогою НКД і ПКД як при зміщеному, так і при незміщеному центрі розгортай була не гірше 1% значення використаної шкали, чи 30 метрів, якщо 1% від дистанції шкали менший цієї цифри. Потрібно мати товщину НКД не більше максимальної дозволеної товщини курсової лінії. На всіх шкалах дальності наведення ПКД ми будь-яку точку з необхідною точністю повинно виконуватись в межах 5 с.

Встановлене судноводієм значення відстані ПКД не слід змінювати при переключенні шкал дальності.

Курсова лінія на екрані дисплея повинна відображатися суцільною лінією від початку розгортки до краю дисплея з помилкою, не більш 1° . Вимагається, щоб її товщина не перевищувала відстані 0.5° на максимальній відстані шкали. На шкалі пеленгів потрібно мати покажчик курсу.

В РЛ-системі повинна бути електронна лінійка для зняття напрямків — ШІН (Еіесихтіс Беагіп§ Нпе — ЕВВ): пеленгів і курсових кутів, з індивідуальним цифровим індикатором, щоб одержати на протязі 5 с напрям на будь-який об'єкт, де б він не знаходився на екрані. Напрямок на ціль на краю екрана повинен вимірюватися з похибкою, не більше 1° . ЕЛН повинна бути не товще курсової лінії і відрізнятися від неї. Потрібно мати можливість зміни яскравості ЕЛН і виключення її зображення. Вимагається, щоб ЕЛН поверталася в обох напрямках безупинно чи з кроком не більше 0.2° . Напрямок повинен бути " і радіусах, а відлік складатися принаймні з чотирьох знаків, один із яких після десяткової крапки. Треба мати можливість вимірювання як пеленгів, так і курсових кутів, відліки яких повинні відрізнятися. Вимагається, щоб шкала напрямків була на краю екрана і поділена через 5° , із 5 і 10-градусними відмінними одиницями від одних поділками, причому числа у поділок повинні бути принаймні через 30° . Початок ЕЛН повинен переміщатися з місця судна в будь-яку Точку екрана, відносно якої повинна забезпечуватися можливість вимірювання напрямку. Рекомендується на ЕЛН мати ПКД.

Розподільна спроможність по дистанції РЛ-системи повинна бути такою, щоб забезпечувала окрему індикацію на шкалі 1.5 М двох точкових цілей, розміщених в межах простору 50-100% від значення шкали, на одному пеленгу і на відстані не більше 40 м одна від одної. Відповідно розподільна спроможність по пеленгу на цій шкалі для двох точкових цілей, розміщених на одній відстані від центру в межах 50-100% значення шкали, має бути не більше 2.5° .

РЛ-система має нормально працювати при кильовому і бортовому хитанні до 10° .

Необхідно, щоб антена оберталася за годинниковою стрілкою рівномірно, автоматично, з швидкістю не менше 20 об/хв при відносній швидкості попідтряд до 100 вузлів. Допускається до такого виду роботи антени мати додаткові види її сканування.

Треба мати можливість орієнтації РЛ-зображення по норду і по курсу. Курс повинен бути введений від ГК або іншого еквівалентного ГК курсопо-Квжчика. Похибка узгодження з компасом повинна бути не більше 0.5° при 0.1 обертанні компасної картушки із швидкістю до 2 об/хв. Вимагається, щоб переключення з одного режиму орієнтації на інший з установкою напрямку і необхідною точністю виконувалося в межах 5 с.

Потрібно мати в РЛ-системі відповідні засоби з ручною підстройкою для усунення небажаних ехосигналів від хвилювання моря, дощу і інших форм опадів, хмар, грози і РЛС інших судів. Допускається мати і автоматичне усування завад, що може відключатися. Коли антена розташована на висоті 15 м над рівнем моря, то навіть в умовах завад від моря РЛ-система повинна давати чітку відмітку стандартного РЛ-відбивача на відстані до 3.5 М.

РЛС повинна бути повністю в робочому стані в межах 4 хв. після включення. Перехід з режиму "Підготовка" в режим "Робота" повинен здійснюватися в межах 15 с. Необхідно мати можливість незалежної зміни яскравості НКД, ПКД, ЕЛН і повного їх виключення. Для РЛС, що відображають на екрані вторинну інформацію (символи цілей, вектори, та ін.), повинна бути можливість відключення її показу на екрані.

Вимагається в РЛ-системі мати режими відносного і істинного руху і допускати зміщення початку розгортки не менш ніж на 50% і не більш ніж на 75% значення шкали дальності. В режимі істинного руху повинна бути можливість стабілізації зображення щодо води (моря) і ґрунту. Використовуючи РЛ-системи відносні лаги повинні мати змогу вимірювання швидкості на не редньому і задньому ході. При стабілізації щодо ґрунту ввідданих швидкості і і прохідної відстані повинен бути двокоординатним, це можуть бути

дані під доплерлага, електронної позиційної системи, або від самої РЛС при супрош і ді нерухомих цілей. Треба мати можливість ручного вводу швидкості свої 1 судна від 0 до 30 вузлів з кроком, не більш 0.2 вузла, і ручного вводу даних течії і дрейфу.

РЛ-система повинна мати змогу одержання інформації від засобів зчи слення, електронних позиційних систем відповідно до міжнародних стандартів. Назва джерела одержання інформації повинна відображатись. Вимагає™и мати можливість подання на екрані в графічній формі точок, навігаційні* ліній і карт додатково до РЛ-зображення.

В РЛ-системі мають бути наступні засоби радіолокаційної прокладки:

—судна від 300 до 500 брт повинні бути оснащені АРП третьої категорії (АРП-3) — автоматизованим радіолокаційним прокладчиком з ручним введенням позначок цілей (Еіесігопіс рлоіп\$ аіа);

—судна від 500 до 1600 брт повинні мати АРП другої категорії (АРП-2) автоматичний радіолокаційний прокладчик (Аііо Ігаскіш» аі<і) з мінімаш> ним ефективним діаметром дисплея 180 мм;

—судна від 1600 до 10000 брт повинні мати АРП-1 (Аііотаїісгааагріопіііі аМ) — засіб автоматичної радіолокаційної прокладки (ЗАРП) з мінімалі. ним ефективним діаметром дисплея 250 мм.

судна від 10000 брт і більше повинні бути обладнані АРП-1 - 3 АРП 11 мінімальним ефективним діаметром дисплея 340 мм.

ВИМОГИ ДО АРП-1. ЗАРП призначені для забезпечення судноводію мож-ІЙсії безперервної, швидкої і точної оцінки ситуації при одночасному змен-ті його робочого навантаження шляхом автоматизованого одержанняЦМх ідної інформації з тим, щоб задача розходження з багатьма судами-цілямиІмітувалась так само просто, як вона вирішується за допомогою ручної про- ті і відносно однієї цілі. Згідно з вимогами ІМО суднові ЗАРП повинні їм забезпечувати виявлення цілей, їх захоплення на автосупроводження,фислення параметрів руху супроводжуваних цілей; індикацію розрахункової Інформації; сигналізацію про небезпечні ситуації і можливість програвання ма-Щ>у, що вибирається для розходження. Ця апаратура може чи входити до скла-Щ РЛС і видавати інформацію на її індикатор, чи бути автономною, з'єднаною з ІЙС і мати окремий власний індикатор, на якому, однак, повинна бути первинна(^Інформація. В обох випадках ненормальна робота чи несправність ЗАРП не•і.і 11 її іа негативно впливати на РЛС. Індикатор для автоматичної РЛ-прокладки мати ефективний діаметр екрана не менш 340 мм. В ньому необхідноИредбачати, принаймні, наступні шкали: 3,6 і 12 миль чи 4,8 і 16 миль.

Основними режимами роботи ЗАРП по виявленню цілей, їх захопленню Щ витосупроводження і скидання з супроводу, а також по вибору і програ-іімііо маневрів для розходження є ручні, тобто ті, що виконуються судново-ЛШйми. Додатково може використовуватися автозахоплення цілей. ЗАРП І^инен забезпечувати ручне захоплення на автосупроводження суден з від-Рвиіою швидкістю руху до 100 вузлів. Якщо в ЗАРП наявне автозахоплення, реудноводію повинен бути відомий критерій відбору об'єктів, що реалізує* в ньому. Крім того, судноводій повинен мати можливість вибрати ба-• ту зону автозахоплення.

Згідно з вимогами ІМО в ЗАРП з автозахопленням одночасно повинно проводжуватися, опрацьовуватися і відображатися на екрані індикатора §1 менш 20 цілей, а в ЗАРП з ручним захопленням — не менш 10 цілей. Цілі, Це супроводжуються, повинні бути чітко позначені; для цього, звичайно, Цкористовуються спеціальні символи.

Для всіх цілей, які супроводжуються, в ЗАРП повинні вираховуватися Пірометри їх руху (істиний і відносний курси і швидкості), дистанція найкорошого зближення і час плавання до точки найкоротшого зближення Т . Діраметри руху цілей повинні видаватися на екран індикатора в векторній чи 1 Іншій графічній формі з чіткою вказівкою шляхів очікуваного переміщення Цілей. Повинна передбачатися можливість висвітлення на екрані екстрапольованих векторів відносного чи істинного руху. Довжина цих векторів

мати часовий масштаб. В режимі відносного руху в індикаторі повинна забезпечуватися робота при орієнтації зображення "Північ", а також "Курс" бо "Курс стабілізований". В ЗАРП, що подає прогностичну інформацію тільки в векторній формі, треба мати вибір істинних або відносних векторів. По-Шіна бути індикація обраного режиму подання векторів і, якщо обрані істинні вектори, слід зазначати, як вони стабілізовані, по відношенню до води (морм I або ґрунту. Час прогнозу руху (довжина векторів) повинен бути таким, ще підстроюється.

Дані автосупроводження не повинні затіняти видимість РЛ-інформаци і давати можливість відключення небажаних даних автосупроводження на протії її 3 с. Вимагається мати роздільні органи для незалежної підстройки яскравості ІІ даних і даних автосупроводження, включаючи повне відключення останніх.

РЛ-зображення на екрані дисплея має бути добре видимим при нор мальному освітленні вдень і вночі. Слід передбачити використання тубуси, щоб затіняти екран при яскравому сонячному світлі, але таким чином, що| не погіршувати можливість належного спостереження.

Вимагається, щоб після переключення шкал дальності вся інформант про автосупроводження з'являлась на екрані через період, що не перевищує) одного оберту антени.

Спостерігач повинен мати можливість обрати будь-яку ціль для одержання її даних. Обрана ціль на екрані повинна позначатися відповідним сим волом. Якщо вимагаються дані більш ніж однієї цілі одночасно, то симніші кожної з них повинен бути доповнений ідентифікатором, наприклад номі> ром біля символу цілі. При відображенні даних про курс і швидкість цілі слід зазначати, як вони одержані: відносно води чи ґрунту. Поза корисною пл» щею екрану в літерно — цифровій формі повинні відображатись наступні дані: поточна дистанція до цілі; поточний пеленг на ціль; розрахункова листи нція найкоротшого зближення; розрахунковий час найкоротшого зближси ня; обчислений істинний курс цілі; обчислена істинна швидкість цілі. ЗАГІ І повинні через 1 хв. після захоплення цілі показати на екрані індикаторатендг нцію руху цієї цілі, а через 3 хв. супроводу—визначити параметри руху цілі

Вимоги ІМО включають також стандарти точності, що повинна дося і и тися при автосупроводженні цілей в контрольних ситуаціях. Лаг, з'єднаниІІІ ЗАРП, повинен забезпечувати можливість вимірювання швидкості при руе| наперед і назад. Якщо для стабілізації щодо ґрунту може підключатися декіш, ка джерел (доплерлаг, електронна позиційна система), то повинна відобрали тись назва використаного джерела.

В ЗАРП повинна подаватися звукова і світлова сигналізація у випадки* -при зближенні цілі на задану встановлену судноводієм відстань, тобто мри пересіченні охоронного сигнального кільця;

-при появі небезпечної цілі, що за обчисленими даними має дистанції" І час найкоротшого зближення менші допустимих значень, визначених і у дноводієм;

-при скиданні цілі з автосупроводу.

Важливою функцією АРП є можливість імітації маневру на розходження, що вибирається судноводієм. Необхідно, щоб під час імітації манеиЯ обробка інформації по цілям, що супроводжуються, не припинялася.

Вимоги до АРП—2 в основному такі ж, як до АРП-1, тільки число цілей, що супроводжуються в них, має бути не менш 10 і діаметр екрану не менш 180 мм.

ВИМОГИ ДО АРП-3. Ці засоби з ручної прокладкою призначені для Малих суден з ГК або електромагнітним компасом, не включаючи малих швидкохідних суден. Вони повинні давати можливість супроводжувати не менше 10 суден з відносною швидкістю руху до 75 вузлів. Вимагається, щоб були шкали дальності 3,6,12 М, допускаються додаткові шкали, при переключенні Шкал супроводження цілей не повинне припинятися.

Необхідно мати можливість зміни параметрів безпеки (Дкрз, Ткрз) і довжину векторів. Позначки цілі повинні позначатися відповідними символами і номером. Повинна

бути можливість вимкнути номер позначки. Мінімальний час між позначками цілі має бути більш 30 с. Після другої позначки повинен відображатися вектор цілі. Слід мати можливість вибору істинних або відносних векторів з позначенням обраного режиму. В режимі істинного руху відмітки цілей повинні переміщатися по екрану з швидкістю і в напрямках, розрахованих системою. Повинна бути можливість корекції проведеної позначки.

На вимогу для обраної цілі повинні відображатися наступні дані: номер позначки, час після останньої позначки; поточна відстань до цілі; поточний пеленг на ціль; дистанція найкоротшого зближення; час до моменту найкоротшого зближення; істинний курс цілі; істинна швидкість цілі. Обрана ціль повинна бути чітко виділена відповідним символом, її цифрові дані повинні відображатись поза корисною площею екрана дисплея.

Треба мати індикацію, якщо наступна позначка цілі не введена на протязі 10 хвилин після останньої. Супроводження цілі повинно припинятися, якщо час між послідовними її позначками перевищив 15 хвилин.

5.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ІНФОРМАЦІЇ РЛ-ДАТЧИКА.

РЛ-датчик (рис. 5.2) включає синхронізатор, передавач, приймач, антени і антенний перемикач. Синхронізатор з певною частотою виробляє імпульси малої тривалості, що забезпечують необхідну послідовність роботи блоків передавача і приймача. Передавач за сигналом синхронізатора виробляє потужні імпульси надвисокої частоти, що зондують простір. Антена забезпечує посылку зондуємого імпульса в необхідному напрямку. Кордони області зондування визначаються розмірами діаграми направлення антени в горизонтальній і вертикальній площинах. Приймач приймає відбиті від об'єктів сигнали, підсилює їх і виділяє обгинаючі відбиті сигнали, що зветься відеосигналом. Відеосигнал несе інформацію про об'єкти, що знаходяться по напрямку зондування. Несучим інформацію параметром відеосигнала є його амплітуда. Антенний перемикач підключає до антени передавач чи приймач в залежності від роботи станції на випромінювання зондуємого імпульсу чи сприймання ехо-сигналів.



Рис. 5.2. Блок-схема РЛС

Робота РЛС характеризується рядом параметрів, з яких при висвітленні матеріалу інтерес представляють наступні: частота повторення P і тривалість t_1 , / зондуєчих імпульсів, частота ω обертання антени і кутові розміри її діаграми направлення в горизонтальній $\phi_{\text{гор}}$ і вертикальній $\phi_{\text{вер}}$ площинах. Частота обертання і кутові розміри діаграми направлення антени залежать від типу РЛС. Так, ширина направлення антен суднових РЛС в горизонтальній площині лежить в межах 0.5 — 2.3 градуса, а в вертикальній — 15-25. Частота обертання антени може знаходитися в діапазоні 15-24 об/хв. Частота повторення і тривалість імпульсу передавача залежать як від типу РЛС, так і від шкали дальності, на якій ці РЛС працює. Так тривалість зондуєчих імпульсів суднових навігаційних РЛС знаходиться в межах 0.05-1 мкс, а частота їх повторення—400-3400 Гц.

Щоб полегшити розглядання матеріалу, оберемо для приведених в розділі прикладів конкретні значення робочих параметрів РЛС: шкалу дальності—6 М, розмір діаграми направлення антени в горизонтальній площині— $\theta=1^\circ$, частоти у обертання антени— $\omega=20$ об/хв, тривалість зонduючого імпульсу передавача $t_n=0.3$ мкс, частоту повторення цих імпульсів— $P=1200$ Гц. РЛ-інформація при навколишні судно об'єкти одержується послідовним при обертанні антени зондуванням простору по азимуту. Якщо прийняті $\omega=20$ об/хв, $\omega=1200$ Гц, то неважкі і підрахувати, що зондування простору робиться через кожні 6' повороту антени.

Отриманий після відбивання зонduючого імпульсу відеосигнал вважається відповідним осевій лінії діаграми направлення антени в момент випромінювання. Зміни амплітуди відеосигналів, що відповідають опромінюваному об'єкту, назвемо РЛ-відміткою цього об'єкта. Цілком зрозуміло, що РЛ-відмітка характеризує тільки відбиваючу поверхню об'єкта. При рішенні задач судноводіння РЛС дозволяє одержувати відстань до об'єкта і напрямок на нього. В основу визначення першого елемента покладена залежність відстані B об'єкта від інтервалу часу X з моменту посилки зонduючого імпульсу до моменту приходу ехо-сигналу від об'єкта:

$$D = Ct/2;$$

де C —швидкість розповсюдження радіохвиль.

Напрямок на об'єкт визначається шляхом фіксації кутового положення антени в момент приходу ехо-сигналу.

Серед об'єктів РЛ-спостереження розрізняють точкові, зосереджені і про тяжні. Така класифікація звичайно робиться в залежності від площі потенційної зони роздільності РЛС, тривалості зонduючого імпульсу і горизонтального розміру діаграми направлення антени. Дійсна зона роздільності РЛС для цієї цілі не використовується, бо її величина змінна і залежить від багатьох чинників (потужності передавача, чутливості приймача, відбиваючої властивості об'єкта і т.д.) і не завжди визначена.

Протяжність зони потенційної зони роздільності РЛС по відстані (рис. 5.3) відповідає тривалості зонduючого імпульсу ($\delta IV = C t_n I_2$), а її кутовий розмір по азимуту $\delta \Pi$ приймається рівним ширині діаграми направлення антени θ . Лінійний розмір δB , відповідний $\delta \Pi$, залежить від відстані: $\delta B = 2 \theta D$ і $\theta = 1^\circ$.

Для $t_n=0.3$ мкс, $\theta=1^\circ$ і $\theta=3$ милі розміри потенційної зони роздільності РЛС складають: $\delta B=45$ м, $\delta B=93$ м.

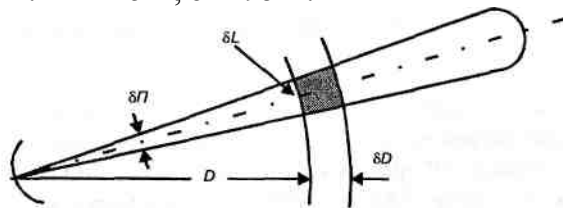


Рис. 5.3. Потенційна зона роздільності РЛС.

Таким чином, потенційна зона роздільності РЛС — це майже прямокутна область, один розмір якої відповідає ширині діаграми направлення антени в горизонтальній площині, а другий — відстані, пройденій радіохвилями і час, рівний тривалості зонduючого імпульсу РЛС.

До точкових РЛ-об'єктів відносять такі, розмірами яких можна зневажити порівняно з розмірами потенційної зони роздільності РЛС. До зосереджених належить об'єкти, порівняльні за розмірами з цією зоною, а до протяжних—об'єкти, у яких хоч би один із розмірів значно перевищує відповідний розмір потенційної зони роздільності РЛС. Незважаючи на залежність потенційної зони роздільності РЛС від відстані до неї, можна установити, що до точкових об'єктів в основному відносяться шіпавучі знаки навігаційної огорожі і малі судна. Середньотоннажні і великотоннажні судна звичайно належать до зосереджених РЛ-об'єктів.

Графічна інтерпретація РЛ-відміток об'єктів. Коли відсутні перекоди розповсюдженню радіохвиль і радіоприйому, то при одиночному опромінюванні

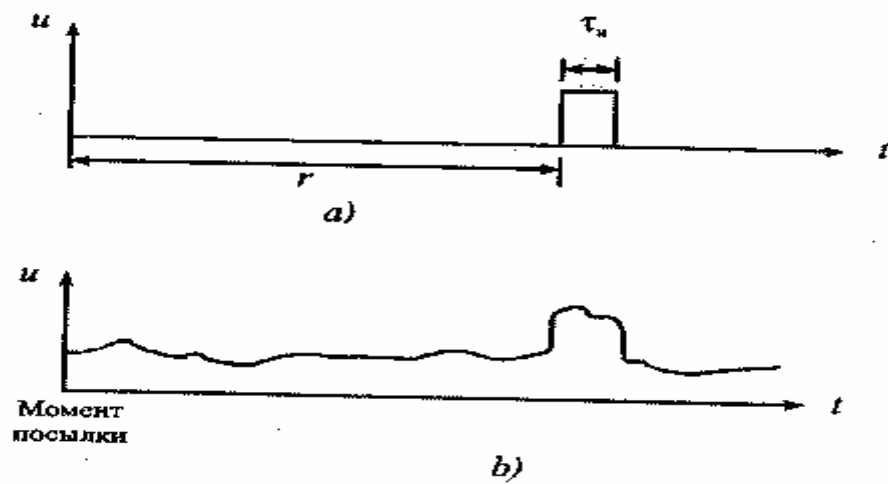
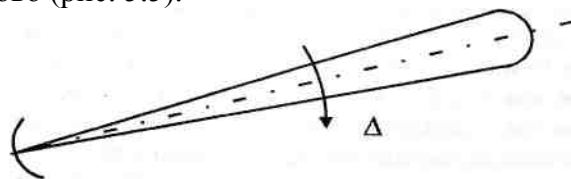


Рис. 5.4. Часова розгортка ідеального і реального виходу приймача РЛС в одному періоді посылки при опромінюванні точкового об'єкта

точкового об'єкта його відеосигнал повторює обгинаючу іонідууючого імпульсу. В цьому ідеалізованому випадку лінійна часова роз-Гортка вихідного сигналу приймача РЛС буде мати вигляд, показаний на рис. 1,4,а. Зазначимо, що відстань по часу відмітки точкового об'єкта від моменту Посилки зондууючого імпульсу характеризує відстань до об'єкта. В дійсності Це вихідний сигнал РЛС впливають завади середовища розповсюдження, від Підстеляючої поверхні, шуми на вході приймача і в самому приймачі.

Тому на виході прийомного прилада РЛС завжди буде обумовлена завали ми складова, що викривляє корисний сигнал. Часова розгортка реального вш< >ну прийомного приладу РЛС після одного опромінювання точкового об'єкта буд» подібна до поданої на рис. 5.4,6. Для розрізнення реальних відеосигналів від ідр ального їх відображення поряд з терміном "РЛ-відмітка об'єкта" використовуї і ь ся поняття "ідеальна РЛ-відмітка", під якою розуміється відображення об'єкті и вихідному сигналі РЛС при умові повної відсутності перешкод.

Розглянемо інтерпретацію ідеальноїРЛ-відмітки точкового об'єкта. Тому що діаграма направлення антени в горизонтальній площині має певну ширм ну, при проходженні нею точкового об'єкта останній опромінюється сигні лами РЛС не один раз, а багаторазово (рис. 5.5).



**Рис. 5.5. Проходження діаграми направлення антени че-
рез точковий об'єкт**

Наприклад, при обраних для ілюстрацій параметрах РЛС, коли зондуваї і ті простору виконується через кожні 6' повороту антени, а ($2=1^\circ$, при проходженні діаграми направлення через точковий об'єктвін буде опромінюватися 10 раз і від нього на виході приймача буде пачка з 10 імпульсів вигляду (рис. 5.4,а), в якій і м пульси слідують рівно через період посылки. Ця пачка і являє собою ідеальну радії і локаційну відмітку точкового об'єкта. Оскільки одержувані в проміжках між посылками зондууючих імпульсів відеосигнали відповідають певним напрямкам осьовоїлініїантени, то інтерпретувати ідеальну РЛ-відмітку точкового об'єктамо-жна, використовуючи послідовні радіально часові розгортай виходу приймача, як показано на рис. 5.6,а. Огинаюча пачки імпульсів ідеальної відмітки точкового об'єкта повторює вигляд діаграми направлення антени (рис.

5.6,6). Зазначимо, що протяжність ідеальної РЛ-відмітки точкового об'єкта уздовж розгортки (по відстані, по тривалості) дорівнює тривалості зонduючого імпульсу, а по азимуту (по ширині)—ширині діаграми напpавлення антени в горизонтальній площині, тобто її розмірами вона відповідає потенційній зоні роздільності РЛС.

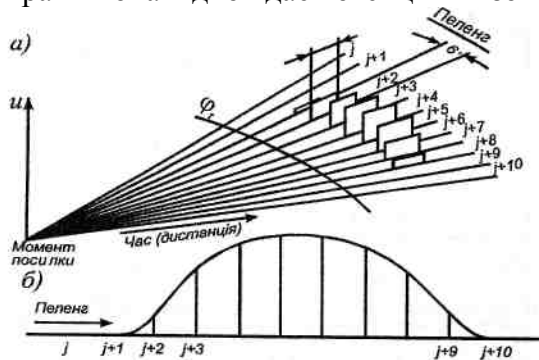


Рис. 5.6. Інтерпретація ідеальної РЛ-відмітки точкового об'єкта

Ідеальна РЛ-відмітка зосередженого об'єкта більша за своїми розмірами відмітки точкового об'єкта як по відстані, так і по ширині. Імпульси ідеальної пачки від зосередженого об'єкта відрізняються один від одного не тільки амплітудою як у точкового, але також тривалістю і формою. Слід визначити, що по тривалості ідеальна відмітка зосередженого об'єкта більше розміру його відбиваючої поверхні на тривалість зонduючого імпульсу, а по ширині—на ширину діаграми напpавлення антени. Так, якщо зосереджений об'єкт точно відповідає за розмірами потенційній зоні роздільності, то протяжність його ідеальної РЛ-відмітки по тривалості буде дорівнювати $2\tau_w$, а по ширині— $2\alpha_{\text{г}}$.

Реальні РЛ-відмітки об'єктів — це суттєво викривлені впливом завад їх ідеальні відмітки, внаслідок чого їх виявлення і визначення розмірів ускладнені.

5.4. ПЕРВИННА ОБРОБКА РЛ-ІНФОРМАЦІЇ.

Під обробкою РЛ-інформації мають на увазі таке перетворення сигналів РЛС, внаслідок якого отримуються необхідні при судноводінні відомості про цілі, що є в зоні огляду. В АРП виділяють 2 стадії обробки інформації: первинну і вторинну. Впервинну входять наступні операції: дискретизація сигналу РЛС по часу і рівні і, стробування відеосигналу (виділення сигналу в області простору, де знаходиться об'єкт) виділення в стробі ехо-сигналів об'єктів на фоні завад, класифікація об'єктів (цілі, берег), ґрупування в цифровому коді інформації про відстань і пеленг. Є досить суттєві відмінності в організації первинної обробки інформації різних типів АРП, тому нижче розглядають тільки принципи виконання її основних операцій без урахування особливостей, властивих конкретним АРП.

Квантування РЛ-сигналу і кодування інформації по відстані. Вихідний сигнал РЛ-датчика є складним за формою і являє собою суміш корисної ехо-сигналів з шумом. Часова розгортка такого сигналу в одному періоді посилення зонduючого імпульсу подібна поданій на рис. 5.7,а [30].

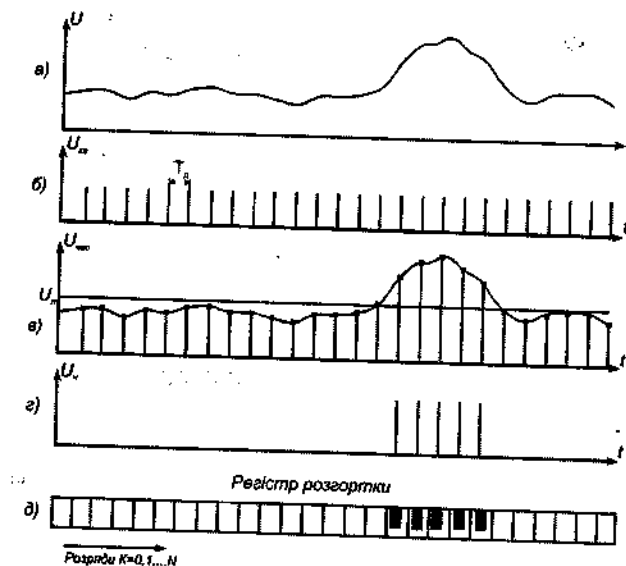


Рис. 5.7. Квантування сигналу РЛ-датчика по часу і рівню

При виділенні корисних сигналів на першому етапі виконується квантування РЛ-сигналу по часу і рівню. При часовому квантуванні вихідний сигнал РЛ-датчика (/представляє послідовність імпульсів малої тривалості (рис. 5.7,б), амплітуда яких дорівнює амплітуді сигналу РЛ-датчика. Схема часового квантування зображена на рис. 5.8. Вона включає тактовий генератор П і схему співпадання. П запускається синхронізуючим імпульсом РЛС і виробляє через постійний інтервал часу імпульси квантування (рис. 5.7,в). Схеми співпадання пропускає сигнали РЛ-датчика тільки в моменти, коли на другому її вході є тактовий імпульс від П. Щоб не загубити корисну інформацію і не погіршити точність вимірювання відстані РЛС, інтервал дискретизації T_d роблять меншим по тривалості ехо-сигналу від точкового об'єкта, тобто $T_d < 4R_{\max}/c$, де c — швидкість звуку. У той же час немає сенсу робити T_d занадто малим, бо це тягне підвищення вимог до швидкодії приладу обробки і веде до появи зайвих імпульсів, що являють собою об'єкти, і неускладнену обробку. Тому T_d звичайно беруть в інтервалі $T_d > T_{\text{ім}}/1$. В прикладах приймають $T_d = 0.2 \text{ мкс}$, що відповідає частоті квантування 5 МГц. Такому високому часу між імпульсами квантування відповідає велика кількість імпульсів.

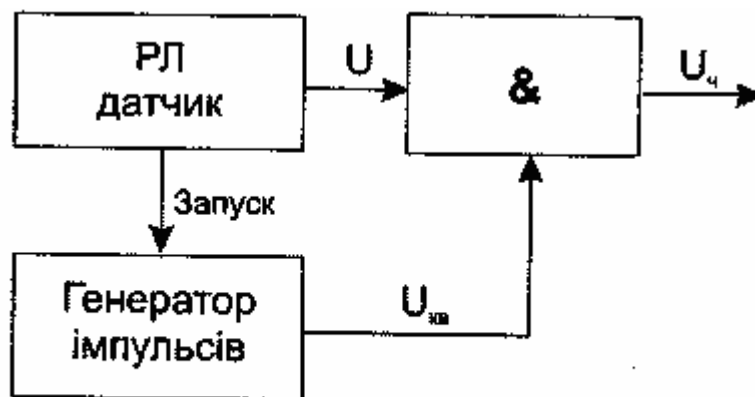


Рис. 5.8. Схема часового квантування.

На виході схеми часового квантування послідовність імпульсів поступає на схему амплітудної дискретизації. Схема амплітудного квантування в загальному випадку має декілька рівнів і видає на виході номер верхнього із рівнів, що був знищений імпульсами в

кожному інтервалі часового квантування. Область зна-ф, і юмерів рівнів, що представляють об'єкт після квантування відеосигналу по рівню, зветься цифровою РЛ-відміткою цього об'єкта В багатьох АРП виконується саме просте бінарне квантування з одним рівнем (наприклад, з поро-ШІ)п, якподано на рис.5.7,в). Схема такого бінарного квантування видає імпульс Цйdartної амплітуди і тривалості (одиницю), якщо амплітуда одержаних при щсшому квантуванні імпульсів перевищує $\varepsilon/_$, і нуль, коли цей рівень не переви-

і" н і (рис. 5.7,г). При виборі порога амплітудного квантування враховують інтен- іііість шумів на виході РЛ-датчика. В АРП звичайно застосовують регульований ііііежності від інтенсивності шумів, а отже і від відстані, рівень порога $1/_$, що ііііежує можливість оптимального виділення корисних сигналів при завадах.

Отриманий після амплітудного квантування сигнал $I/$ у вигляді Шіідовності нулів і одиниць записується в регістр розгортай (рис. 5.7,д), де «штриховані розряди означають, що в них одиниці, а незаштриховані відпові-Ірть нулям. Регістр розгортай повинен мати число розрядів відповідне шка-<1 дальності, на якій працює РЛС. Це число, позначимо його n , може бути ^Іржано за формулою

$$n = D_{\text{ш}}/D_{\text{к}} = 2D_{\text{ш}}/(CT_{\text{д}}).$$

Наприклад, для $\varepsilon_{\text{ш}}=6$ миль і $7\text{д}=0.2$ мкс число розрядів регістра має бути і§ меншим 370. Зазначимо, що зміна величини розгортай на інших шкалах *щмюсті* РЛС може досягатись або зміною числа розрядів в регістрі, або НШІЮю інтервалу квантування T . Якщо розряди регістра пронумерувати, то по номеру $L^{\wedge}$ розряду, в якому зафіксована одиниця, що відповідає відбіїІ сигналу від об'єкта, можна визначити відстань до цього об'єкта.

Розглянемо, як перетворюються в процесі первинної обробки РЛ-відмітки об'єктів. Якщо інтервал квантування по часу обраний в інтервалі $t/2 < T < T$, і після одного опромінювання ідеальний ехосигнал від точкового об'єкта буде одиницею в одному розряді регістра розгортай, що відповідає відстані до цього об'єкта Коли об'єкт має певну протяжність по відстані, то при одному зондуЯ ні одержаний від нього відбитий сигнал буде представлений рядом одиниць, розташованих в сусідніх розрядах регістра, як подано, наприклад, на рис. 5.7,1 д. Після кожного зондування простору вміст регістра розгортки поновлюється. Сукупність одиниць, що виникає в цьому регістрі при послідовних зондуваннях, відповідному опромінюваному об'єкту (цифрова РЛ-відмітка об'єкта), називається бінарними з РЛ-відміткою цього об'єкта. Кількість розрядів регістра, яка займається одиницями від об'єкта, характеризує протяжність об'єкта по відстані, а кількість послідовних посилок, після яких виникали в регістрі одиниці від об'єкта, х;арактеризує протяжність об'єкта по азимуту. Тому що ідеальна РЛ-відміткаточікового б'єкта (рис. 5.6,а) складається з пачки імпульсів тривалістю t розташоваш одному місці часової розгортки, то ідеальна бінарна РЛ-відмітка цього об'єкта буде являти собою послідовність одиниць, що виникає в одному розряді регістрі .Таку бінарну відмітку можна інтерпретувати у вигляді, показаному на рис.5.деальна бінарна РЛ-відмітка зосередженого об'єкта є областю більшого числа одиниць, ніж відмітка точкового об'єкта.

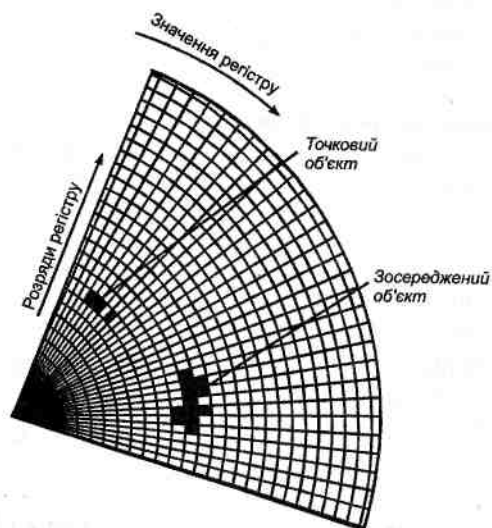


Рис. 5.9. Інтерпретація ідеальних бінарних РЛ-відміток точкового і зосередженого об'єктів.

В реальних умовах через вплив завад ідеальні відмітки спотворюються і в областях одиниць бінарних РЛ-відміток можуть бути внутрішні пропуски, а також пропадання одиниць на кордонах. Крім того, після окремих посилок у регістрі розгортки можуть виникати окремі одиниці, що відповідають викидам шуму у вихідному сигналі РЛ-датчика.

Зазначимо, що при більшому числі рівнів квантування по амплітуді РЛ-сигналу, цифрова відмітка РЛ-об'єкта називається по числу використаних рівнів. Наприклад, при 8 рівнях амплітудного квантування цифрова РЛ-відмітка об'єкту зветься вісімковою і являє собою взаємозалежну цифрову область значень цифр, що перевищують поріг шуму. При використанні розмірностей цифрових відміток, більш бінарних, є можливість у певній мірі покращити якість первинної обробки, проте складність обробки зростає.

Кодування інформації по пеленгу. Можливі різноманітні способи одержання в АРП пеленгів у цифровому коді. Якщо б антена РЛС оберталась з суворо постійною швидкістю, то визначення пеленга можна було б провести шляхом підрахунку числа посилок зондуючих імпульсів від моменту, коли осьова лінія діаграми антени скерована на північ до моменту приходу сигналу від цілі. При цьому одержання пеленга в цифровому коді зводиться до перетворення часового інтервалу в число. Проте в реальних умовах від недосконалості механізму обертання антени, перемінного вітрового навантаження на неї швидкість обертання антени буде непостійна і цей спосіб не дає точних результатів. Результати кращі, коли відліки знімають з датчика поточного пеленга, основним елементом якого є перетворювач кута повороту антени в цифровий код. Один із найбільш простих варіантів такого перетворювача побудовано на принципі рахунку (рис. 5.10), що включає: *Д* — диск з великим числом прорізів по периметру і прорізью скиду; *ОС* — оптичну систему, яка формує вузький промінь світла; *ФП-1*, *ФП-2* — фотоприймачі, *Л* — лічильник і *СФ* — схему формування імпульсів зчитування.

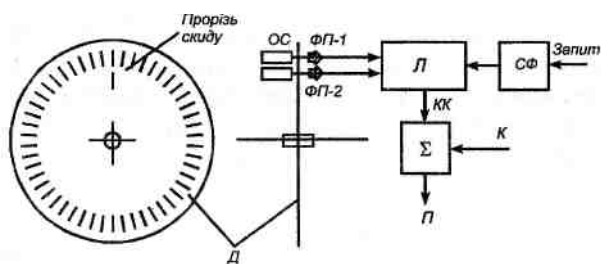


Рис. 5.10. Схема кодування інформації по пеленгу.

Диск пов'язаний з механізмом повороту антени і обертається синхронно з нею. Коли осьо́ва лі́нія діаграми на́правлення антени проходить точно через носову частину діаметральної площини судна, прорі́зь скиду на диску влучає на фоточутливу поверхню ФП-2 і вона освітлюється променем світла. І цьому сигналу ФП-2 виробляє імпульс, що обнуляє лічильник. При подальшому обертанні антени через прорізи, розташовані по периметру диска, освітлюється ФП-1. Він перетворює світлові імпульси від прорізів в електричні імпульси, що підраховуються лічильником. Число цих імпульсів пропорційне куту повороту антени, тому в лічильнику в будь-який момент часу буде поточний курсовий кут осьо́вої лі́нії діаграми на́правлення антени. За запитом, що подається на схему формування, код поточного курсового кута видається із лічильника, складається з кодом поточного курсу і на виході схем 11 формується цифровий код пеленга на момент запиту.

Принципи автоматичного виявлення і класифікації цілей. Термін виявлення означає прийняття рішення про наявність цілі в зоні огляду РЛС. Автоматичне виявлення цілей в різних ЗАРП виконується по-різному: в певному кільці дальності (охоронному кільці) (рис. 5.11, а), в двох охоронних кільцях (рис. 5.11, б), в секторі (рис. 5.11, в), в області, яка утворюється спеціально використаними (бар'єрними) лініями, або у всій зоні РЛ-огляду (рис. 5.11, г). В основу виявлення цілей покладена та обставина, що відмітка будь-якої цілі, навіть точкової, складається з пачки відбитих імпульсів, що приводить при послідовних посилках до появи цифр, які перевищують поріг шуму, в одному чи декількох сусідніх розрядах регістра озо́гпо́тки

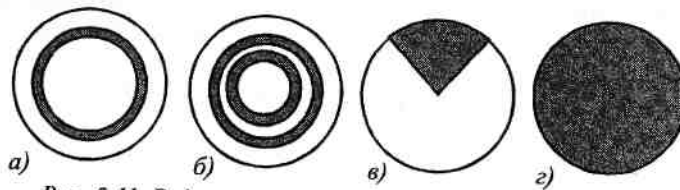


Рис. 5.11. Види виявлення об'єктів.

При виявленні цілі в кільці дальності аналізуються розряди регістра розгортай, що відповідають по відстані цьому кільцю. Якщо в якомусь із цих розрядів з'явиться декілька значимих цифр підряд, то це буде ознакою виявлення цілі. При виявленні цілі в двох охоронних кільцях аналізуються розряди регістра розгортай, відповідні цим кільцям, а при виявленні цілей в усій зоні РЛ-огляду аналізуються усі розряди регістра розгортай.

Є різноманітні критерії виявлення, наприклад 3-п-2. Він означає, що якщо в якомусь із аналізованих розрядів регістра розгортай в процесі оновлення вмісту при послідовних посилках з'явилося три значимих цифри підряд, то це відповідає початку опромінювання об'єкта. Пропуск двох значимих цифр підряд означає кінець опромінювання об'єкта.

У зв'язку із недостатністю апріорної інформації про закони розподілу амплітуд сигналів і завад у вітчизняних системах автоматизації судноводіння Чірюза" і "Панорама-СТ" запропоновано вирішувати задачу виявлення сивілу РЛС з застосуванням способу навчання [10].

Алгоритм навчання в загальному вигляді має вигляд (рис. 5.12)

$$C_g[n] = U(n, n-1, C_g[n-1]) + \gamma_g[n] \omega_y (F\{\tilde{Q}[\tilde{X}[n], U(n, n-1, C_g[N-1])]\} - V_g)$$

де $U(n, n-1, C(n-1))$ функція характеризує нестаціонарність вхідного процесу, n - дискретний час (кількість обертів антени), $P\{\dots\}$ - характеристична функція, $y_g[n]$ - коефіцієнт передачі ланки зворотнього зв'язку,

$$F\{\tilde{Q}[\tilde{X}[n], U(n, n-1, C_g[N-1])]\} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tilde{X} \in X_g^o \\ 0, & \text{якщо } \tilde{X} \notin X_g^o \end{cases}, \quad \omega_y = \begin{cases} \omega_{12}, & \text{якщо } y_g = 1 \\ \omega_{21}, & \text{якщо } y_g = 0, \end{cases}$$

w_2, w_{21} - вартість помилок першого та другого роду відповідно.



$$\omega_{12}P\{\bar{X} \in X_g^o, \bar{S}_g = 0\} = \omega_{21}P\{\bar{X} \notin X_g^o, \bar{S}_g \neq 0\};$$

Керуюча дія С (п) змінює величину у [п] у g-строба [§=1,2,...0], виходячи з критерію оптимальності та доповнюючих вказівок вчителя

$$y_g = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \bar{S}_g \neq 0, \\ 0, & \text{якщо } \bar{S}_g = 0, \end{cases}$$

Шо $\{0, \text{якщо } \delta_g = 0, \dots\}$ визначають належність прийнятої реалізації X (пачки Хімпультів x) до Класу X^a , котрому належить δ — сигнал, відбитий від $\mathcal{F}$ -го об'єкта, або класу X^o_i до якого належить завада.

Враховуючи, що під час навчання процес квазістаціонарний (справедливо для більшості суднових РЛС), ввівши додаткові цикли навчання ($i=0$) і Приймавши регульовальну характеристику приймача РЛС лінійною, одержимо алгоритм навчання в наступному вигляді:

$$C_s, \hat{i}[n] = e(n, i)C_s, \hat{i}[n-1] + \gamma_g[n]\omega_y(F\{\text{sgn}[X_{il}[n](K_o - \alpha e(n, i)C_s[n-1])K_n - B] \dots \\ \text{sgn}[X_{il}[n](K_o - \alpha e(n, i)C_s[n-1])K_n - B]\} - Y_g) \quad ,$$

$$\text{де: } e(n, i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } n > 0, \text{ або } i > 0, \\ 0, & \text{якщо } n = i = 0, \end{cases} \quad \text{sgn}[\bullet] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } [\bullet] > 0, \\ 0, & \text{якщо } [\bullet] \leq 0, \end{cases}$$

сигнал $X_{lu}[n]$ — відповідає L-елементу
познізнення стробу. Структурна схема системи, що

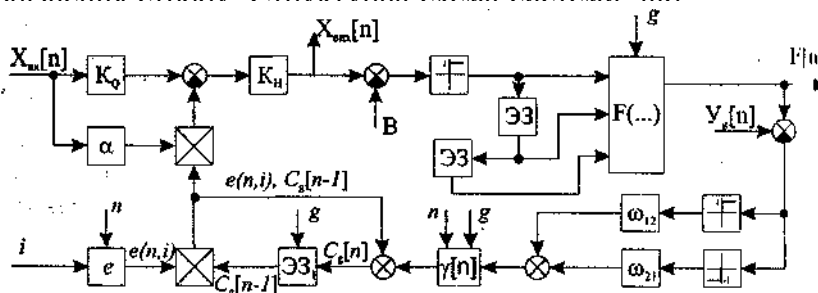


Рис. 5.13. Структурна схема системи виявлення, що навчається

При варіюванні форми і параметрів закону розподілу вхідного процесу вірогідність похибок системи, що навчається, лежить у прийнятних на прші тиці межах: від 0,05 до 0,2.

Класифікація РЛ-об'єктів. Класифікація РЛ-об'єктів полягає в визначенні типу об'єктів по їх цифрових образах. Класифікація об'єктів виконується в залежності від розмірів їх цифрових РЛ-відміток. Так, якщо об'єкту відповілиють цифри тільки в одному розряді і їх кількість з початку до кінця опромінювання відповідає ширині діаграми направлення антени, то виявлений об'єкт і точковим. Якщо об'єкт не точковий, але протяжність його цифрової РЛ-відмітки по відстані і пеленгу не перевищує критерію,

який обраний для розпізнання судна, наприклад 450 м і 5° , то отримана відмітка вважається судном. При великих розмірах цифрової області РЛ—відмітки відносяться до берега.

5.5. СКЛАД ВТОРИННОЇ ОБРОБКИ РЛ-ІНФОРМАЦІЇ. СЕЛЕКЦІЯ ВІДМІТОК ЦІЛЕЙ ДЛЯ СУПРОВОДЖУВАНИХ ТРАЄКТОРІЙ.

Для одержання інформації про кінематичні параметри цілей в ЗАРП виконується автоматичне супроводження їх відміток. Кінематичні параметри (елементи руху) цілі—це параметри, які характеризують її положення і переміщення її (координати місця, курс, швидкість, прискорення та ін.). Супроводженням її називають процес спостереження за послідовними змінами позиції об'єкта для визначення його кінематичних параметрів. Відбір об'єкта, що необхідно взяти на автосупроводження, називається захопленням об'єкта. В ЗАРП звичайні реалізуються ручне і автоматичне захоплення цілей для супроводження. Після захоплення цілі процес її супроводження розділяється на два етапи: вхід в номінальний режим супроводження (захоплення траєкторії певного виду з заданою точністю) і номінального режиму супроводження.

При автосупроводженні цілі необхідно відокремити відмітки, що належать їй, від інших відміток. Процес виділення із відміток багатьох цілей відмітки конкретної супроводжуваної цілі називається селекцією відміток траєкторії цілі.

Прилад вторинної обробки (ЕОМ) обчислює кінематичні параметри цілей і параметри, що характеризують ситуацію розходження, а також виконує розрахунки, пов'язані з програванням маневрів. При розрахунку кінематичних параметрів цілей виконуються циклічно наступні операції: селекція відміток траєкторій цілей; розрахунок координат цих відміток; уточнення кінематичних параметрів цілей (курс, швидкість) шляхом зглажування знайдених координат; екстраполяція координат цілей на момент наступного огляду. Основною метою знаходження параметрів траєкторій є прогноз наступного руху цілей.

Селекція відміток траєкторій супроводжуваних суден виконується за допомогою стробування. Під стробом мають на увазі область можливої появи цілі на момент наступного огляду РЛС. До траєкторії цілі прив'язується тільки та відмітка, що потрапила в строб. Це виключає прив'язку до траєкторії відміток інших об'єктів. Строби можуть обиратись в різних системах координат: полярній чи прямокутній. У суднових ЗАРП строби частіше усього формуються в полярній системі координат (рис. 5.14). Параметрами такого стробу є протяжність по відстані dD і протяжність по пеленгу $d\P$. Загальний розмір стробу можна охарактеризувати виразом $dD * d\P$.

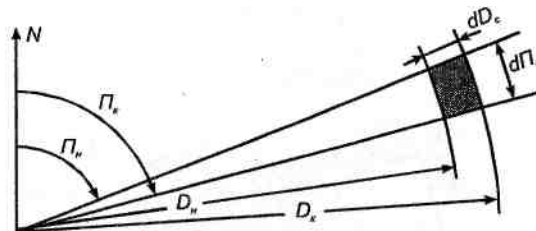


Рис. 5.14. Строби в полярній системі координат

Стробування може бути фізичним і математичним. При фізичному стробуванні виділення області появи відмітки, що належить супроводжуваній траєкторії, виконується безпосереднім впливом на прийомний пристрій РЛС. В цьому випадку вихід приймача відкривається тільки в області появи відмітки. Математичне стробування полягає в

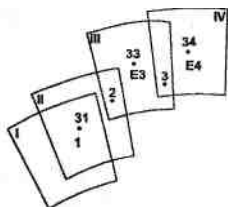


Рис. 5.16. Пояснення стробування.

формуванні області появи відмітки в вигляді деякої сукупності значень. Наприклад, в полярній системі координат строб задається двома значеннями дальності D_n , D_k і двома значеннями пеленга P_n , P_k (рис. 5.14), що визначають кордони стробу. Як правило, координати центру стробу співпадають з координатами екстрапольованої відмітки цілі на момент насту 11 ного огляду, а розміри стробу обираються із умови забезпечення заданої ймовірності влучення в нього наступної відмітки. Площа стробу залежить від стадії супроводження: автозахоплення траєкторії (перехідного процесу при одержанні параметрів руху) або сталого супроводження. При автозахопленні траєкторії звичайно розміри стробу при кожній прив'язці нової відмітки цілі зменшуються, а при стійкому супроводженні залишаються постійними. В деяких ЗАРП розмір стробу є однаковим для обох стадій супроводження, проте в такому випадку при сталому супроводженні величина стробу виявляється завищеною, що ускладнює селекцію відміток у середині його.

Розглянемо процес стробування при автозахопленні траєкторії. Припустимо, що ціль вводиться на супроводження вручну при наведенні на неї маркера. При вводі формується строб I (рис. 5.16), центр якого співпадає з

Центром маркера, а розміри такі, що ймовірність влучення в нього відмітки ЦІЛ і з врахуванням її переміщення за інтервал між оглядами РЛС з максимально Можливою для судна швидкістю в будь-якому напрямку достатньо велика. Так наприклад, в ЗАРП "Бриз-Е" розміри початкового стробу на шкалі 16 Миль — 1440м x 5°. В першому (після вводу на супроводження) огляді по відмітці, що влучила у строб I, визначаються координати місця 1 цілі. Тому що по Одній відмітці не можна судити про вектор швидкості цілі, екстрапольованим Місцем Е2 цілі на момент наступного огляду вважається місце 1. Точка Е2 приймається за центр стробу II, який за своїми розмірами дорівнює стробу I. По I відмітці цілі, що влучила у строб II при другому огляді, визначається місце цілі 2. По координатам точок 1,2 знаходяться елементи траєкторії (курс, швидкість) I екстрапольоване місце Е3 на момент наступного огляду. Цілком зрозуміло, що точність одержаних елементів руху буде низька. Третє екстрапольоване місце приймається за центр стробу III, площа якого трохи менша другого, бо вже одержані відомості про елементи траєкторії. По відмітці цілі, що влучила у строб III в третьому огляді, знаходиться місце 3 цілі. Воно використовується для уточнення елементів траєкторії, з їх врахуванням одержується екстрапольоване місце Е4. Це місце приймається за центр стробу IV, площа якого трохи менша, ніж стробу III. Надалі дії по знаходженню координат відмітки, уточненню елементів траєкторії, екстраполяції і утворенню стробу меншої площі повторюються до тих пір, поки точність визначення елементів траєкторії не досягне встановленого значення. На цьому автозахоплення траєкторії закінчується і починається стале супроводження, при якому величина стробу залишається постійною. Автозахоплення траєкторії, що являє собою перехідний процес визначення її параметрів, повинне тривати не більш 3 хв.

При сталому супроводженні отримувані при кожному огляді координати цілі згладжуються і використовуються для уточнення параметрів траєкторії, знаходяться екстрапольовані координати на момент наступного огляду, і формується строб, в якому очікується поява нової відмітки, з відміток, що влучили у строб, обирається одна для продовження траєкторії.

5.6. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАЄКТОРІЙ СУПРОВОДЖУВАНИХ ЦІЛЕЙ *Моделі траєкторій руху цілей.*

Початковою інформацією для визначення параметрів траєкторій цілей в ЗАРП є вимірювані в кожному РЛ-огляді полярні координати їх відміток: пеленги P і відстані B . Безпосереднє використання цих даних при знаходженні параметрів траєкторій пов'язане з певними незручностями. Достатньо просто рішення досягається, якщо перейти від полярних координат відміток цілей до їх прямокутних координат і відносних чи абсолютних (рис. 5.15).

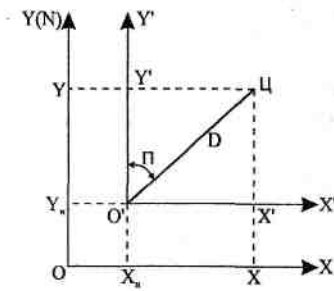


Рис. 5.17. Системи координат, що використовуються при обробці РЛ-інформації.

Початок відносної прямокутної системи координати OU пов'язаний і положенням антени РЛС нашого судна, вісь OU має напрямок на північ, вісь OX — на схід. Перехід від полярних координат відміток до їх відносних прямокутних координат виконується за формулами

$$Y' = D \cos \pi; \quad X' = D \sin \pi.$$

ісі абсолютної (істинної) прямокутної системи XOU скеровані паралельно осям системи $X'OU'$, а її початок міститься в точці земної поверхні і районі знаходження нашого судна. Абсолютні координати цілі дорівнюють

$$X = X_0 + X'; \quad Y = Y_0 + Y'.$$

де X_0, Y_0 — поточні координати нашого судна в системі XOU .

Знаходження параметрів траєкторій цілей в будь-який із названих прямокутних систем координат вимагає знання основних закономірностей руху, що зумовлюються звичайно використаними режимами руху цілей, інерційними властивостями цілей та їх обмеженими маневрними можливостями. Аналізуючи характер руху суден-цілей, можна встановити, що він складається із випадкового чергування ділянок переміщення без зміни курсу і швидкості і ділянок маневру, причому перші значно триваліші за других. Траєкторії руху судна на цих ділянках різні. Тому і гіпотези про характер зміни координат цілей на цих ділянках також повинні бути різними, щоб бути адекватними характеру переміщення цілі. Крім того, через випадковості в часі при чергуванні ділянок переміщення цілей без зміни курсу та швидкості і ділянок маневру необхідно в процесі супроводження безперервно контролювати відповідність прийнятої на даному етапі гіпотези характеру переміщення цілей.

При розгляді ділянок руху цілей без зміни курсу і швидкості спираються на гіпотезу прямолінійного рівномірного переміщення. Відомо, що прямолінійний рівномірний рух об'єктів в прямокутній системі координат представлений поліномами першого ступеню (лінійна модель)

$$X = X_0 + V_x t; \quad Y = Y_0 + V_y t; \quad (5.4)$$

де X_0, Y_0 — координати об'єкта в початковий момент часу; V_x, V_y — довільні швидкості об'єкта. Іншими, еквівалентними поліномам першої ступені, моделями траєкторії прямолінійного рівномірного руху об'єкта є моделі, що зображують цю траєкторію в неявному вигляді:

$$V_x = \text{const}; \quad V_y = \text{const}; \quad \text{або} \quad W_x = 0; \quad W_y = 0;$$

де IV, III — прискорення об'єкта по осях OX, OY .

Аналізуючи рух цілей без зміни курсу і швидкості, слід звернути увагу на той факт, що він не є суворо прямолінійним і рівномірним, бо на судно мають вплив збурення середовища та погрішності утримання на курсі, що дають невеликі відхилення від моделі прямолінійного рівномірного руху. Крім того, в координатах цілі проявляються нелінійність і нерівномірність в русі свого судна, носія РЛС. Тому в процесі обробки при описі руху цілей слід врахувати можливість зміни в малому діапазоні параметрів моделі (5.4). Найбільш компактною моделлю, що враховує можливі відхилення від траєкторії рівномірного прямолінійного руху, є модель лінійного тренду

$$W_x = R_x; \quad W_y = R_y; \quad (5.5)$$

де K , K — білі шуми з нульовим математичним чеканням, що мають малі дисперсії і відповідають можливим малим відхиленням від прямолінійного рівномірного руху.

Цілком зрозуміло, що коли рух суворо прямолінійний і рівномірний, названі дисперсії необхідно дорівнювати нулю. Оскільки в ЗАРП вимірювання координат цілей виконується через постійний проміжок часу, то модель (5.5) доцільно представити в дискретному вигляді

$$\nabla^2 X_i = R_x; \quad \nabla^2 Y_i = R_y; \quad (5.6)$$

де друга різниця координат відповідає прискоренню (якщо перейти від нескінченно малих прирощень в часі до кінцевих). Тут інтервалом прирощення часу вважається інтервал в вимірюванні координат цілі.

Праві частини виразів (5.6) є дискретними білими шумами, які мають малі дисперсії, що вважаються однаковими і позначені $D_{\text{бш}}$. Величина $D^{\wedge}$ характеризує межі, в яких через збурення може статися збільшення чи зменшення складових швидкості об'єкта за інтервал дискретності при русі цілі без зміни курсу і швидкості. Величина $D_{\text{бш}}$ при обробці повинна задаватися і не бути ані суттєво завищеною, ані заниженою, бо завищення цієї дисперсії приводить до пониження при прогнозі руху цілі існуючої до нинішнього часу інформації про траєкторію, а заниження — до ігнорування можливих відхилень від режиму рівномірного прямолінійного руху.

На ділянках маневру можна використовувати для прогнозу траєкторій декілька моделей. Практичний інтерес мають дві. В основі першої моделі лежить опис координат траєкторії на ділянках маневру поліномами другого ступеню (квадратична модель)

$$X = X_0 + V_x t + W_x t^2/2; \quad Y = Y_0 + V_y t + W_y t^2/2; \quad (5.7)$$

з обчислюваними в залежності від оперативної інформації параметра ми, причому величина можливої зміни параметрів за той чи інший час обмежується. Це обмеження відповідає в основному маневренним можливостям судна. Найбільш компактно модель траєкторії виду (5.7) може бути подана в неявному вигляді моделлю квадратичного тренду

$$dW_x/dt = R_x; \quad dW_y/dt = R_y; \quad (5.8)$$

де a/V , a/y — зміна прискорень по осях за нескінченно малий інтервал часу L ; K , K — білі шуми з нульовим математичним чеканням і малими дисперсіями.

Величини цих дисперсій обирають відповідно можливостям об'єкта змінювати своє прискорення при маневрі. Модель (5.8) означає, що прискорення об'єкта при маневрі може збільшуватися або зменшуватися в межах, що найбільш можливі для об'єкта. Ці межі задаються величиною дисперсії шумів K_x , K_y . При її збільшенні буде занижена при прогнозі роль існуючої до поточного моменту інформації про траєкторію, а при заниженні не буде врахована можливість здійснення цілком занадто сильного маневру.

Друга модель траєкторії при маневрах є більш спрощеною. Відомо, що при малому інтервалі дискретності будь-яку криволінійну траєкторію можна представити відрізками прямолінійного рівномірного руху, що відповідають інтервалам дискретності. Якщо інтервал зйому даних в АРП малий, то для опису траєкторії обирається модель лінійного тренду (5.6). Порівнюючи умови застосування цієї моделі для ділянок руху судна без зміни курсу і швидкості і при маневруванні, можна зазначити, що дисперсія, яка характеризує можливі відхилення від моделі прямолінійного рівномірного руху, в іншому випадку повинна бути значно більшою, бо вона додатково повинна враховувати зміни в характері руху, обумовлені керуючими діями при маневрі. Модель лінійного тренду при малому інтервалі дискретності в вимірюванні координат відміток дозволяє робити задовільний прогноз руху з малим упередженням, проте в порівнянні з моделлю (5.8) вона супроводжується занадто високим рівнем систематичних погрешностей оцінювання параметрів траєкторій цілей і відповідно їх прогнозування.

Проведені дослідження показують, що використання в ЗАРП для прогнозу маневрів цілей траєкторій, еквівалентних поліномам з обчислюваними параметрами більшого ступеню, ніж друга, не виправдовується, бо не покращує суттєво точності прогнозу і значно ускладнює обробку.

Кінематичні параметри траєкторій супроводжуваних цілей знаходяться шляхом послідовного згладжування координат відміток цілей. До алгоритму згладжування пред'являється вимога одержання максимальної точності вихідних даних за мінімальний інтервал часу з допомогою простих виразів, які іпбезпечують одержання результатів у кожному циклі обчислень з високою швидкістю. В процесі супроводження цілей виділяють два етапи: перехідний і сталий. На першому етапі, що починається з моменту взяття цілі на супроводження, з прив'язкою до траєкторії нових відміток точність оцінювання параметрів траєкторії покращується. На етапі сталого супроводження вона практично незмінна.

Рішення задачі визначення кінематичних параметрів цілі засновано на теорії оптимальної фільтрації. Для режиму руху цілі з постійним курсом і швидкістю ця задача ставиться наступним чином. Зміна координат цілі описується моделлю (5.6), причому можливі відхилення від режиму рівномірного прямолінійного руху характеризуються середньою квадратичною величиною $\delta_{\text{бш}}$. Починаючи з моменту захоплення цілі, через постійний інтервал часу T_i (звичайно рівний часу обігу антени) вимірюються координати відміток цілі з погрішністю, що характеризується СКП σ_i . Треба після вимірювання координат кожної нової відмітки знайти уточнення координат цілі і складових її швидкості. У відповідності з теорією оптимальної фільтрації для оцінки параметрів лінійного тренда застосовується так званий «фільтр», що описується стосовно до задачі, що розглядається рекурентними співвідношеннями, які приведені тільки для координатах, бо для Гвони аналогічні:

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_i &= X_{ei} + \alpha_i (X_i - X_{ei}) \\ \hat{V}_{xi} &= \hat{V}_{x(i-1)} + \beta_i (X_i - X_{ei}) / \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (5.9)$$

де X_{ei} — екстрапольоване значення координати на момент i -го вимірювання, X_i — вимірюване значення координати i -ої відмітки цілі; X_e — значення координати після згладжування; V^x — складова швидкості цілі на момент i -го вимірювання; α_i і β_i — коефіцієнти згладжування чи вагові множники нової інформації.

Екстрапольоване значення координати знаходиться за формулою

$$X_{ei} = \hat{X}_{(i-1)} + \hat{V}_{x(i-1)} \Delta t; \quad (5.10)$$

Коефіцієнти згладжування на перехідному етапі залежать від номеру i відмітки, яка прив'язується до траєкторії цілі, і від співвідношення $\delta = \sigma_i / \delta_{\text{бш}}$. В сталому режимі

$$\alpha_u = 1 - \delta^2; \quad \beta_u = \alpha_u^2 / (1 + \delta^2). \quad (5.11)$$

коефіцієнти згладжування постійні і визначаються тільки співвідношенням δ . Сталі значення коефіцієнтів згладжування можуть бути знайдені за формулами:

Параметр δC , що входить в ці формули, лежить в інтервалі $[0,1]$ і задовольняє рівнянню четвертого степеня

$$\delta^4 - (4 + \delta^2)\delta^3 + (6 - 2\delta^2)\delta^2 - (4 + \delta^2)\delta + 1 = 0. \quad (5.12)$$

Чим менше δ , тим ближче δC до одиниці; при $\delta = 0$ $\delta C = 1$.

Важливим питанням обробки РЛ-інформації є використання для обчислень коефіцієнтів згладжування в перехідному процесі виразів, що дозволяють вести швидкий рахунок. Найбільш прості в випадку, що розглядається, вирази для розрахунку коефіцієнтів, коли $\delta_{\text{бш}} = 0$ (суворо прямолінійний і рш номірний рух). Ці вирази мають вигляд [23]

$$\alpha_i = 2(2i-1)/[i(i+1)]; \quad \beta_i = 6/[i(i+1)]; \quad \dots \quad (5.13)$$

СКП обчислюваних координат і швидкості в перехідному процесі в цьому випадку визначаються за формулами

$$\sigma_x = S_r \sqrt{\alpha_i}; \quad \sigma_v = S_r \sqrt{12\beta_i(i-1)}/\Delta t; \quad (5.14)$$

Аналізуючи загальний випадок обробки ($S_{\text{бш}} > 0$), можна зазначити, що відхилення від траєкторії прямолінійного рівномірного руху, якщо цілі ПР змінює курсу і швидкості, малі. Величина σ , що характеризує ці відхилення, набагато менша S і близька до нуля. Внаслідок цього перехідний процес її зміни a і $\dot{a}$ виявляється близьким до (5.13). Використовуючи цей факт, іш практиці коефіцієнти згладжування для перехідного процесу і в загальному випадку обчислюють за формулами (5.13). Зчислення припиняють, коли значення $a/2$ досягнуло розрахованих сталих значень $a_{\text{ц}}$, фільтр з заданим параметром невизначення моделі траєкторії), або коли тривалість перехідного процесу стає рівною заданому допустимому значенню (фільтр з заданим часом перехідного процесу). З цього моменту перехідний процес вважається закінченим, а коефіцієнти згладжування залишаються незмінніми. Час перехідного процесу фільтрації називається нижче також постійною часу фільтра. Фільтр є складовою і найбільш інерційною частиною модулі автосупроводження, тому постійна часу фільтра є практично і постійною часу автосупроводження. Якщо при автосупроводженні використовується $a/1$ фільтр, то таке автосупроводження нижче називається $a/1$ -автосупроводженням.

СКП σ_x, σ_y , значення координати і складової швидкості в режимі сталої $a/1$ -фільтрації можуть бути обчислені за формулами

$$\sigma_x = S_r \sqrt{\alpha_u}; \quad \sigma_y = S_r (1 - \alpha_u) \sqrt{(\alpha_u - \beta_u) / \beta_u} / \Delta t.$$

Курс і швидкість цілі знаходяться по складових швидкості після згладжування і

$$K = \arctg(\bar{V}_x / \bar{V}_y); \quad \bar{V} = \sqrt{\bar{V}_x^2 + \bar{V}_y^2}. \quad (5.15)$$

Складові швидкості цілі в відносному русі

$$\bar{V}_{x\text{ср}} = \bar{V}_x - V_{\text{ср}x}; \quad \bar{V}_{y\text{ср}} = \bar{V}_y - V_{\text{ср}y}; \quad (5.16)$$

де $V_{\text{ср}x}, V_{\text{ср}y}$ — складові швидкості свого судна.

При згладжуванні координат відміток цілі на ділянках маневру, якщо для траєкторій цілей застосована модель лінійного тренду, також використовується фільтр, тільки з меншим значенням постійної часу (відповідно будуть більше вагові коефіцієнти нової інформації), ніж при супроводженні неманевруючої цілі. Так, при згладжуванні відміток цілей, коли зберігається режим руху постійним курсом і швидкістю, постійна часу фільтра приймається рівною 2-3 хв, для цілей, що маневрують, вона повинна бути суттєво меншою. При великій і постійній часу вага нової інформації при оцінці параметрів траєкторії мала, фільтр є інерційним і поволі реагує на відхилення від обраної моделі руху. Якщо такий *фільтр* використовувати для слідкування за судном, що маневрує, то може статися зрив супроводження. Для можливості пристосування фільтра в ЗАРП може бути передбачене встановлення декількох значень його постійної часу.

Через випадковості в часі зміни ділянок руху без маневрів і ділянок маневрування в ЗАРП передбачена паралельна обробка з використанням двох фільтрів: з великою постійною часу і малою. Тому що ймовірність першого режиму вище, основним вважається алгоритм з великою постійною часу. Облік результатів отриманих за другим алгоритмом виконується, починаючи з моменту виявлення системою маневру судна, що супроводжується, до моменту його закінчення. Виявлення маневру виконується шляхом використання різноманітних критеріїв злагоди, за допомогою яких визначається, чи відповідають значення координат цілі, отримані РЛ — спостереженням, гіпо-езі прямолінійного рівномірного руху.

Більш досконалим, ніж фільтр, для оцінки кінематичних параметрів маневруючих цілей є $a/3$ фільтр, оснований на припущенні, що траєкторії мають квадратичний тренд. Відповідно цьому фільтру на ділянках маневру параметри траєкторії цілі при згладжуванні уточнюються за формулами, що для координати X мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_i &= X_{ei} + \alpha_i (X_i - X_{ei}); \\ \hat{V}_{xi} &= V_{xei} + \beta_i (X_i - X_{ei}) / \Delta t; \\ \hat{W}_{xi} &= W_{xe(i-1)} + \gamma_i (X_i - X_{ei}) / (\Delta t)^2; \end{aligned} \right\} \quad (5.17)$$

$$\text{де } V_{xei} = \hat{V}_{x(i-1)} + \hat{W}_{x(i-1)} \Delta t;$$

$$X_{ei} = \hat{X}_{(i-1)} + \hat{V}_{x(i-1)} \Delta t + \hat{W}_{x(i-1)} (\Delta t)^2 / 2.$$

В формулах (5.17) α — коефіцієнти згладжування (вагові множники нової інформації). В перехідному режимі вони залежать від номеру відмітки, що прив'язується до траєкторії цілі і від співвідношення $5_{\text{бш}}/5_{\text{г}}$. В сталому режимі коефіцієнти згладжування

$$\alpha_i = 1 - \delta; \quad \beta_i = 1 + Q_1 + 2\delta; \quad \gamma_i = 1 - Q_1 - Q_2 - \delta;$$

$$\text{де } Q_1 = [(1 + 6\delta - \delta^2) - (1 - \delta)(\delta^2 + 14\delta + 1)^{1/2}] / 2\delta; \quad Q_2 = (Q_1 - 6)\delta.$$

незмінні і залежать тільки від δ . Для обчислювання цих коефіцієнтів можна застосувати формули

Параметр δ є вагою минулої інформації при згладжуванні координати, він лежить в інтервалі $[0, 1]$ і задовольняє рівнянню

$$\delta^8 - (8 + \delta^2)\delta^7 + (28 - 12\delta^2)\delta^6 - (56 - 7\delta^2)\delta^5 + (70 + 4\delta^2 + \delta^4)\delta^4 - (56 - 7\delta^2)\delta^3 + (28 - 12\delta^2)\delta^2 - (8 + \delta^2)\delta + 1 = 0.$$

$$\alpha = 3(3i^2 - 3i + 2)/M; \quad \beta_i = 18(2i - 1)/M; \quad \gamma_i = 30/M; \quad (5.18)$$

$$\text{де } M = i(i+1)(i+2).$$

в цьому випадку СКП значень координати, швидкості і прискорення в перехідному процесі визначаються так

$$\sigma_x = S_r \sqrt{\alpha_i}; \quad \sigma_v = S_r \sqrt{12(2i - 1)(8i - 11)/N} / \Delta t;$$

$$\sigma_w = 2S_r \sqrt{12(2i - 1)(8i - 11)/N} / (\Delta t)^2;$$

$$\text{де } N = i(i^2 + 1)(i^2 + 2).$$

Зважаючи на те, що величина $i_{\text{бш}}$ при обробці РЛ-інформації близька до нуля і значно менша 5, перехідний процес при фільтрації виявляється близьким до перехідного процесу фільтрації в частковому випадку, коли $5 = 0$, в якому значні і коефіцієнтів згладжування змінюються в відповідності з формулами Г231

На цій основі формули (5.18) використовуються і для розрахунку коефіцієнтів згладжування в перехідному процесі фільтрації в ЗАРП до моменту, коли значення α досягнуть розрахованих сталих значень, або коли тривалість перехідного процесу стане рівною заданому допустимому значенню. З цього моменту перехідний процес вважається закінченим, а коефіцієнти згладжування — незмінними.

5.7. ОЦІНКА НЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ І ІМІТАЦІЯ МАНЕВРУ НА БЕЗПЕЧНЕ РОЗХОДЖЕННЯ.

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ. Відповідно до вимог ІМО в ЗАРП і повинна бути передбачена візуальна і звукова сигналізація при виникненні небезпечної ситуації в зближенні з суднами. Для вияву такої ситуації для всіх супроводжуваних суден при кожному вимірюванні координат їх відміток оС> числюються відстань і час найкоротшого зближення ($\xi > T$). При розрахунку використовуються згладжені значення прямокутних координат і складових їх швидкості в відносному русі [30]:

$$\begin{aligned} D_{xp} &= (\hat{X}\hat{V}_{ys} - \hat{Y}\hat{V}_{xs}) / V_s; \\ T_{xp} &= -(\hat{Y}\hat{V}_{ys} + \hat{X}\hat{V}_{xs}) / V_s^2; \end{aligned} \quad (5.19)$$

При розрахунку $O \quad T^{\wedge}$ можна використати і інші формули, які отримують із геометричних співвідношень (рис. 5.18)

$$\begin{aligned} D_{кр} &= D_y \sin(K_y - \Pi_y); \\ T_{кр} &= -D_y \cos(K_y - \Pi_y) / V_o; \end{aligned} \quad (5.20)$$

Отримані значення B, T можуть бути позитивними і від'ємними. Позитивне значення

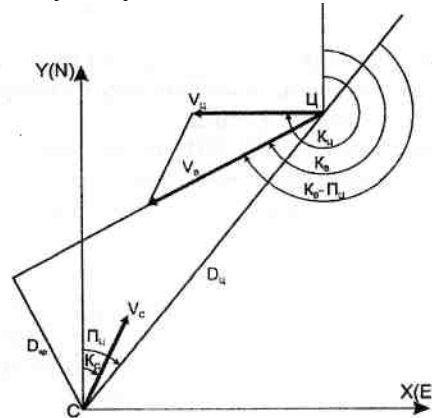


Рис. 5.18. Визначення $D_{кр}, T_{кр}$

B означає, що зустрічне судно пройде праворуч від нас, а від'ємне — ліворуч. Знак плюс у T показує, що наше судно зближується з іном-ціллю, а від'ємне значення вказує, що названі судна віддаляються од-від одного. Ціль вважається небезпечною, коли для неї виконується умова $B \leq B_{з}, T \leq T_{з, \text{деф}}$, $T_{з}$ —назначені судноводієм значення. Вибір цих ічень провадиться в залежності від району, умов плавання і маневрових іжливостей судна. У відкритому морі звичайно беруть $B = 2-3$ милі, а $T = 20-30$ хв. В районах інтенсивного судноплавства і в вузкостях, де судна ушені розходитись на невеликих відстанях, B, T назначаються менши-*, відповідно до конкретної обстановки. ІМІТАЦІЯ МАНЕВРІВ НА РОЗХОДЖЕННЯ. При виникненні небезпечні ситуації судноводій повинен обрати план на розходження(стратегію роз-їдження) з небезпечною ціллю, відповідний правилам МППЗС. Стратегія входження в простому випадку являє собою один маневр: курсом чи швидкістю або сумістний курсом і швидкістю. Більш складні стратегії розходження складаються із послідовності двох і більше маневрів. Щоб бути впевненим у правильності і безпеці обраної стратегії, бажано програти її виконання і проаналі-зувати ситуацію, яка постане в процесі її виконання і відразу після закінчення. Існують декілька видів імітації виконання стратегій розходження. Частіше за все імітуються стратегії, що включають тільки один маневр на розходження: курсом чи швидкістю або одночасно курсом і швидкістю. Імітація може ви-ріуватися як в відносному, так і в істинному русі, вона може бути статичною і динамічною.

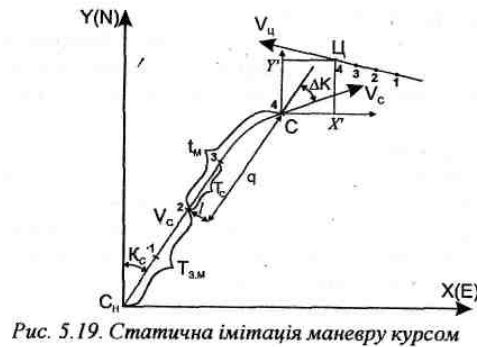
При статичній імітації на екрані прокладача відразу відображається ситуація, відповідна моменту закінчення обраного маневру. При динамічній — відображається в прискореному часі розвиток ситуації в процесі маневру від моменту його початку до закінчення.

При статичній імітації маневру курсом положення нашого судна на момент закінчення маневру обчислюється з урахуванням часу затримки маневру $T_{зм}$, який вибирається судноводієм, і приращень координат при маневрі. Для розрахунку цих приращень траєкторія судна з моменту початку маневру курсом (точка 2 рис. 5.19) представляється в ряді ЗАРП у вигляді двох ділянок: прямолінійної (2-3), що відтворює запізнення реакції судна на пері, кладку стерна, і дуги (3-4) кола (припускається перекладка стерна на морі. Ця траєкторія визначається двома параметрами: інерційною постійною T_c і радіусом циркуляції $D_{ц}$. Значення T_c і $D_{ц}$ для конкретного судна знаходять по результатам

морехідних випробувань і закладають в пам'ять ЕОМ. Різниця ΔX , ΔY (рис. 5.19) в координатах між положеннями нашого судна в момент початку і кінця маневру

$$\Delta Y = q \cos K_c - l \sin K_c; \quad \Delta X = q \sin K_c + l \cos K_c;$$

де l_c — курс до маневру; q , l — пряме і бокове зміщення точки виміну на новий курс відносно точки початку повороту і лінії K .



Значення q , l обчислюються в залежності від величини кута повороту ΔK , швидкості судна V , інерційної постійної часу T і радіуса K циркуляції

$$l = K(1 - \cos \Delta K); \quad q = VT + Y \sin \Delta K.$$

Час маневру дорівнює $t_m = \Gamma + l_c \cdot \frac{1}{V}$, де Γ виражено в радіанах.

Абсолютні координати суден-цілей на момент закінчення маневру найшвидше судна знаходяться екстраполяцією руху по їх траєкторіях на час, рівний сумі t_m і t_c . Знаючи положення і елементи руху нашого судна і суден-цілей в істинному русі, легко обчислити елементи ситуації в відносному русі. При статичній імітації маневру швидкістю також враховують час затримки маневру і прирощення координат за час від моменту початку маневру до його закінчення. Ці прирощення розраховують в залежності від відстані, пройденої судном і час маневру. При зменшенні швидкості від номінального значення V до обраного V пройденої судном відстані можна отримати за формулою

$$S = C_1 \ln \left[\frac{V_0^2 + C_2}{V^2 + C_2} \right];$$

де C_1 , C_2 — параметри, які характеризують шершівність судна і опір його руху. Значення цих параметрів визначаються по експериментальним спостереженням, приблизно вони можуть бути одержані за формулами $C_1 = 0.5M/k$; $C_2 = PK$;

де M — маса судна з урахуванням приєднаної маси, k — коефіцієнт опору руху судна, P — упор гвинта на задньому ході. При пасивному гальмуванні $P = 0$.

При динамічній імітації обраних маневрів обчислюються послідовні значення координат нашого судна і цілей на період маневру, а зміна ситуації при маневрі відображається в динаміці прискорення. Для одержання траєкторії руху судна при маневрах звичайно використовують спрощені моделі. Так, для уявлення маневрів курсом часто застосовують просту лінійну модель, рідко при динамічній імітації маневрів швидкістю використовують гіпотезу про рівноуповільнений рух. Постійна величина уповільнення при зменшенні швидкості обирається таким чином, щоб результат моделювання був близьким до процесу гальмування судна. Перевагою спрощених моделей є простота реалізації, але разом з цим вони мають малу точність. Для цілей програмування процесу розходження зазначеним недоліком моделей можна зневажити. Проте з розвитком ЗАРП розширюються їх функції в забезпеченні навігаційної безпеки плавання, за їх інформацією починають проводити управління рухом судна і планування маневрів в складних умовах. Для цих цілей точність спрощеного моделювання може виявитись

недостатньою. Тому розвиток засобів обробки РЛ — інформації супроводжується опрацюванням більш досконалих моделей, перспективне значення серед яких мають динамічні різничні моделі, зокрема модель у вигляді системи взаємозалежних нелінійних рівнянь.

В найбільш сучасних ЗАРП передбачена можливість програвання стратегій управління, що включають як один, так і два послідовних маневри. Така імітація завжди проводиться прискорено в динаміці.

5.8. ВІДОБРАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБРОБКИ РЛ-ІНФОРМАЦІЇ.

Прилад відображення інформації ЗАРП включає засоби світлової сигналізації, реєстрації і індикації. Перші призначені для попередження судноводія у випадках, які вимагають його контролю чи втручання. Прилади реєстрації служать для документування інформації. До них відносяться друкуючі апарати, прилади запису на магнітні диски чи інші носії.

Основну роль при відображенні РЛ-інформації грають прилади індикації. Вони служать для оперативного відображення ситуації руху суден в районі плавання і подання цифрових даних про рух цілей і нашого судна. В одних ЗАРП цифрова інформація відображається на окремих цифрових індикаторах, в других — на спеціальному літерно — цифровому дисплеї, в третіх

— на периферії екрану, на якому в графічному вигляді представлена інформація про ситуацію розходження, останні ЗАРП найбільш поширені.

Основне значення для судноводіїв при забезпеченні безпеки плавання має графічна інформація про ситуацію руху суден. Торкаючись відображення цієї інформації, необхідно зазначити наступне. В системах, пов'язаних з управлінням рухом об'єктів, до відображення інформації про навколишню обстановку ставиться ряд вимог, серед яких можна визначити основні. По-перше, в цих системах відображення повинно бути оперативним і характеризувати ситуацію на поточний момент часу без суттєвої затримки. По-друге

— зображення ситуації має бути наочним, тобто чітким, ясным, незахаращеним другорядними деталями, важлива інформація повинна бути виділена. Наглядність зменшує час, витрачений на оцінку ситуації, і дозволяє виключити помилки при його інтерпретації. По-третє, відображення має бути адекватним, тобто відбивати суттєві для задачі сторони ситуації з необхідною точністю. І по-четверте, воно повинно бути повним, тобто давати усю необхідну інформацію для прийняття рішень.

Аналізуючи приведені вимоги, можна зазначити, що вид відображення інформації нерозривно пов'язаний з задачею, яка вирішується. За допомогою ЗАРП вирішується задача забезпечення безпеки плавання при наявності в районі плавання інших суден. Ця задача є складною і включає в себе декілька задач, із яких можна виділити наступні: оцінка натуральної ситуації руху суден в районі плавання, тобто оцінка руху свого судна і інших суден відносно берегу, (плану маневру чи серії маневрів) при наявності небезпеки зіткнення.

Тому задача, що вирішується, є багатоплановою, і досить тяжко знайти вид відображення інформації, що в повній мірі відповідає вимогам всіх задач, які входять до неї. В цій ситуації при рішенні загальної задачі можливо виморити стання двох способів подання інформації: роздільного відображення для кожної складової задачі і загального відображення для всіх цих задач. В першому випадку для кожної задачі обирається свій, що найбільше відповідає її цілям, режим відображення, який дозволяє переключенням режимів найкращим чином забезпечити рішення задач роздільно. Недолік такого способу полягає в тому, що інколи необхідно вирішувати названі задачі разом. На одному індикаторі здійснювати одночасну реалізацію декількох режимів відображення ніяк не можливо, а використання для кожного режиму окремого індикатора економічно не вигідно. Другий

спосіб полягає в опрацюванні для усіх окремих задач виду відображення інформації. Звичайно в цьому випадку не представляється можливим з такою повнотою, як у першому, задовільнити вимоги кожної задачі, але зате інформація для рішення всіх задач відображається на одному екрані і

В ЗАРП в нинішній час застосовано два види відображення РЛ-інформації: векторний і у вигляді зон небезпек. Перший відноситься до способу роздільного відображення інформації для окремих задач і включає три режими відображення: режим істинного руху, режим відносного руху і режим для програвання маневру. Перший режим служить для оцінки натуральної ситуації руху цілей в зоні огляду, другий—для оцінки ступеня небезпечного зближення з зустрічними суднами, а третій — для забезпечення вибору безпечної стратегії розходження. При використанні векторного відображення інформації дані про курс і швидкість цілей представляються на екрані екстрапольованими векторами на заданий час руху цілей. Приклад такого відображення інформації показано на рис. 5.20,а.

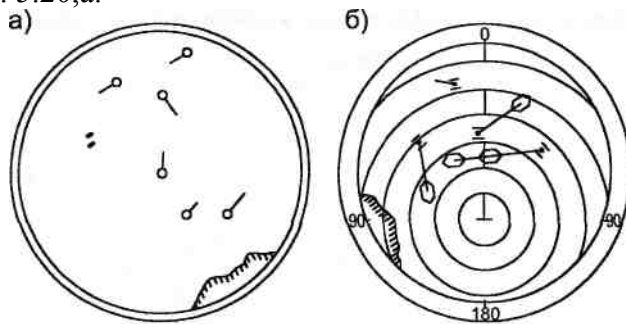


Рис. 5.20. Два види відображення інформації в ЗАРП.

Початок екстрапольованого вектора співпадає з положенням відмітки супроводжуваного судна на поточний момент, а його довжина відповідає Шляху цілі за час прогнозу. Час екстраполяції руху обирається судноводієм і залежить від ситуації. При великому числі цілей надто довгі вектори захаращують екран і погіршують наочність зображення. В цьому випадку час Прогнозу установлюють невеликим. Разом з цим, по довгих векторах можна здійснювати окомірну оцінку ряду важливих параметрів: наприклад, в режимі відносного руху ступінь небезпеки цілей (O , T_k); в режимі Істинного руху — на якій відстані судно носом чи кормою перетне курс зустрічного. Тому, коли число супроводжуваних суден мало, час прогнозу руху збільшується.

Для забезпечення наочності зображення важлива для судноводія інформація виділяється на екрані ЗАРП кольором, яскравістю, умовними знаками та іншими засобами.

Режим програвання маневру частіше застосовується в відносній системі координат, бо в ній простіше оцінити ступінь небезпеки ситуації після маневру. В ряді ЗАРП імітація маневру може бути як в відносній, так і в істинній системі координат. Відображення РЛ-інформації у вигляді зон небезпек можна віднести до способу загального відображення для всіх окремих задач, що вирішуючи цей вид відображення реалізується в ЗАРП фірми "8репу" (США) і поданий нарис. 5.20,б. Відображення виконується в істинній системі координат. У ній відображається лінія екстрапольованого переміщення і на ній зона небезпек, що визначає значення небезпечних курсів свого судна, при яких стане існує зближення з ціллю на відстані, меншій B . В перших ЗАРП фірми, яка зараз входить в фірму Біпоп Магіне 8у5Іетз (США), зони небезпеки представлялись у вигляді еліпсів, ав останніх моделях—у вигляді шестикутники (рис. 5.20,б), що спрощує їх побудову на екрані ЗАРП. На лініях прогнозованою переміщення цілей відображається шість яскравих точок, які поділять цей вектор на відрізки, відповідні 6 хвилинам часу прогнозу. Таке розділення ні проваджене для полегшення окомірної екстраполяції переміщення цілей.

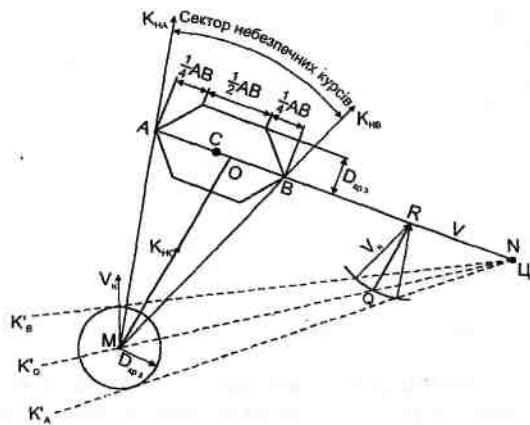


Рис. 5.21. Принцип побудови зони небезпек.

Шестикутну зону небезпек можна одержати шляхом наступних побуді (рис. 5.21). Припустимо, наше судно знаходиться в точці M і слідує курсом $K_0 = 0^\circ$ з швидкістю V_n . Ціль знаходиться в точці N і рухається з швидкістю $V_{ц}$ курсу АГ (значення курсу і швидкості визначені в ЗАРП при вирівнюванні координат її відміток). Проведемо від точки M три відносних курси цілі: K' — відповідний зближенню нашого судна з ціллю впритул; $K_K \backslash K'$ — курси, що приводять до розходження з ціллю точно на O . Знаючи швидкість нашої п судна, курс і швидкість зустрічного судна, а також відносний курс IC_0 , шляхом побудови трикутника швидкостей $N11$ (3 можна знайти курс K нашого судна на зближення з ціллю впритул. Проведемо його від положення нашого судна M до лінії курсу цілі і одержимо точку O можливого зіткнення з ціллю. Анапо гічно, якщо взяти замість K_0 відносні курси K''_A і K_{N_0} можна визначити курси нашого судна $K_{ш}$, K_m , які забезпечують розходження з ціллю точно на $\xi_{>к/}$.

Якщо прокласти курси $K^{\wedge}$, $K_{ш}$ від точки M , одержимо сектор небезпечних курсів (СНК), при проходженні в якому з швидкістю V_n наше судно наблизиться до цілі на відстань, меншу $\xi_{>_3}$.

Якщо наше судно буде йти курсом K , то воно обмине ціль на відстані, точно рівній B , і перетне курс цілі носу в точці A ; якщо обрати курс K_m , воно також обмине ціль на відстані $\xi_{>_3}$, але перетне її курс кормою в точці B . Точки A , B і B_3 є опорними величинами при утворенні зони небезпеки. Принцип її побудови пояснюється рис. 5.21. Зазначимо, що центр зони небезпеки (точка (7) в загальному випадку не співпадає з точкою O можливого зіткнення з ціллю.

Коли швидкість цілі більше швидкості нашого судна, при знаходженні зон небезпек можливі наступні окремі випадки:

- для однієї цілі існують дві зони небезпек;
- зони небезпек немає (наше судно, не змінюючи швидкості, не в змозі шляхом будь-якого маневру наблизитися до цілі на P);
- немає частини шестикутника зони небезпеки (наше судно шляхом маневру курсом може наблизитися до цілі на $\xi_{>_3}$, але не в змозі обминати її на $\xi_{>}$ носом, тобто в зоні небезпеки не буде точки A і частини шестикутника, що примикає до неї).

Ці випадки враховуються при відображенні. При наявності у цілі двох зон небезпек вони відображаються на екрані; якщо одна із зон виходить за межі шкали дальності, то відображається ближча. Коли зони небезпеки немає або вона виходить за межі шкали дальності, то біля відмітки цілі відображається вектор, відповідний екстрапольованому на 6 хвилин її шляху. Якщо небезпечне зближення з ціллю можливе, але точки A при визначенні зони небезпеки немає, то відображається частина шестикутника.

Аналізуючи відображення РЛ-інформації у вигляді зон небезпек, необхідно зазначити ряд моментів. По-перше, якщо курс нашого судна перетинає зону небезпеки якоїсь цілі, то є небезпека наблизення до неї на відстань, меншу $\xi_{>}$. По-друге, щоб обминати безпечно цілі, слід обрати курс, який не перетинає жодну зону небезпеки. Таким чином, досягнення способу відображення інформації, що характеризується, полягає в

можливості одночасного оцінювання натуральної ситуації руху суден в істинній системі координат, можливості небезпечного зближення з суднами і вибору маневру курсом для розходження. Недоліки цього способу — трудність окомірної оцінки $И^{\wedge}$, T цілей; порушення наочності зображення при великому числі цілей через захаращення екрану зонами небезпек; неспроможність зміни часу екстраполяції векторів і непристосування до вибору маневру швидкістю.

Прийняття рішень про розходження з суднами в стиснених водах не може бути виконано без обліку навігаційних обставин у районі плавання. Тому в сучасних АРП передбачена можливість виводу на екран електронних карт, суміщення з електронною картою РЛ-зображення і подання на ній даних вторинної обробки РЛ-інформації.

5.9. ТОЧНІСТЬ РОБОТИ ЗАРП.

Точність роботи ЗАРП визначається величиною похибок обчислення, кінематичних параметрів суден- цілей і елементів, які характеризують небо і пеку ситуації. На величину похибок цих елементів впливають багато чинників: точність РЛ-відміток положення цілі (дистанції і курсового кута), інтервали часу між їх проведенням, похибки визначення елементів руху свого судна, точність утримання курсу ціллю і своїм судном, геометрія взаємного руху свого судна і судна-цілі (величина курсового кута, напрямку і швидкості руху), стан атмосфери і водної поверхні та ін. Аналізуючи чинники, які впливають на точність роботи ЗАРП, необхідно зазначити такі моменти.

Точність РЛ-відмітки цілі визначається похибками вимірювання дистанції і курсового кута цілі. Основними компонентами похибки РЛ-вимірювання відстані цілі є: похибка від нестабільності затримки випромінюваний зондуючого імпульсу передавача щодо імпульсу синхронізації РЛС; похибки від квантування в часі РЛ-сигналу і нестабільності генератора квантів даних; флуктуації по дистанції центра РЛ-відмітки через інтерференцію при мого і відбитого від поверхні моря сигналів, а також зміни властивостей відмітки цілі на хитанні і при зміні траектору. Похибка від квантування РЛ-сигналу в часі має рівномірний розподіл, інші названі похибки розподілені приблизно за нормальним законом. Згідно з вимогами Резолюції ІМО А.422 (ХІ), які становлять вимоги до ЗАРП, похибка нестабільності затримки випромінювання зондуючих імпульсів РЛС (для $T = 1$ мкс) і похибка квантування по часу не повинні перевищувати 20 м, похибка флуктуації центру РЛ-відмітки повинна бути не більш 30 м уздовж судна і 1 м поперек нього (для судна довжиною 200 м і шириною 30 м).

Похибка вимірювання курсового кута цілі включає в себе: похибку від квантування кута повороту антени; люфт антени; похибку через несиметричність ширини діаграми направлення антени; похибки, викликані хитанням судна; похибки від флуктуації по пеленгу центру РЛ-відмітки. Резолюція ІМО А.422 (ХІ) вимагає, щоб перші 4 складові похибки не перевищували відносно до $\pm 0.1^\circ$, 0.05° , 0.05° , 0.22° (при хитанні з амплітудою 10°), а остання із названих складових — межа аналогічної похибки по дистанції, зазначеній вище. Стосовно особливостей складових похибок вимірювання курсового кута, треба визначити, що похибки від квантування кута повороту антени і її люфти мають рівномірний розподіл, похибка від хитання судна залежить від курсового кута цілі і змінюється приблизно за синусоїдальним законом з періодом у два рази меншим періоду хитання судна. Максимальне значення вона має при курсових кутах цілі 45° , 135° , 225° і 315° , а при курсових кутах 0° , 90° , 180° , 270° вона дорівнює нулю.

Істотний вплив на точність РЛ-відміток цілей вносять завади від хвилі, і опадів. Навіть невеликий рівень завад від моря і дощу в стробі цілі зміщує положення центру РЛ-відмітки і відповідно погіршує точність РЛ-відмітки. І

§АРП використовуються різноманітні засоби зменшення завад від хвилі і опадів, найбільш ефективними з них є адаптивні засоби.

На точність обчислених даних істотно впливають похибки вимірювання ІЯементів руху свого судна (похибки ГК і лага), похибки стабілізації свого судна 1% курсі і похибки в урахуванні маневрів, що виконуються. Резолюцією ІМО А.424 (Х1) про техніко-експлуатаційні вимоги до ГК визначено, що в сталому ріж и мі руху судна (одним курсом і швидкістю при відсутності хитання) величина похибки ГК повинна бути в межах $\pm 0.25^\circ$. Цією ж резолюцією визначно, що інерційна похибка ГК при маневрах не повинна перевищувати: при мшидкій зміні швидкості на 20 вузлів — $\pm 2^\circ$, а при швидкій зміні курсу на 180° при швидкості 20 вузлів — $\pm 3^\circ$. Закон зміни величини інерційної похибки, як Ідомо, може бути знайдений з системи диференціальних рівнянь, що описує рух чутливого елемента ГК при дії на нього прискорень. В резолюції ІМО А.422 (Х1), яка містить вимоги до ЗАРП, зазначено, що в сталому режимі руху судна вді іим курсом і швидкістю систематична складова похибки ГК повинна бути в Межах $\pm 0.5^\circ$, а СКВ випадкової складової — $\pm 0.12^\circ$. Величина інерційної похибки ГК цією резолюцією не регламентується.

Основними складовими похибки швидкості, що вимірюється відносним ЯИіом, є похибка калібровки лага на мірній лінії і похибка вимірювання швидкості в процесі експлуатації. Відповідно до вимог ІМО похибка калібровки Лпа не повинна перевищувати ± 0.5 вузла. СКВ другої складової повинна бути в межах ± 0.2 вузла. Збурення і похибки датчиків інформації, які впливають на роботу ЗАРП, мають різноманітні розподілення і частотний склад. їх величини залежить іід стану навколишнього середовища. Вплив цих збурень і похибок на обчислені параметри в ЗАРП залежить від частоти РЛ-засічок, геометрії зближення нашого судна з судном-ціллю, алгоритма обробки результатів засічок цілей і його параметрів. Через велику кількість чинників, які впливають на Точність ЗАРП, і складності їх структури одержання аналітичних виразів для оцінки точності величин, що обчислюються в ЗАРП, в загальному випадку ускладнено. Це завдання може бути виконано тільки для окремих спрощених ситуацій. В загальному випадку одержання чисельних оцінок точності роботи ЗАРП може бути виконано засобом статистичного моделювання роботи ЗАРП. Для цієї цілі повинна бути створена імітаційна модель функціонування ЗАРП в різноманітних ситуаціях, що включає модель збурюючих чинників і похибок датчиків інформації, яка забезпечує можливість і моделювання функціонування ЗАРП при різноманітних ситуаціях зближення Суден. Для одержання оцінок точності роботи ЗАРП для найбільш ймовірних чи несприятливих умов по імітаційній моделі одержується досить велике число реалізацій оцінки параметрів руху зустрічного судна і по ансамблю реалізацій визначаються характеристики точності цього процесу як функція часу з моменту взяття цілі на супровід.

Таблиця 5.1 Контрольні ситуації руху судан

	Параметри	Ситуації розходження			
		1	2	3	4
1.	Курс свого судна, град.	0	0	0	0
2.	Швидкість свого судна, вузли	10	10	5	25
3.	Дистанція до цілі, милі	8	1	8	8
4.	Пеленг цілі град	0	0	45	45
5.	Відносний курс цілі, град.	180	90	225	225
6.	Відносна швидкість цілі, вузли	20	10	20	20
7.	Розрахунковий курс цілі, град.	180	45	238	310
8.	Розр. швидкють цілі, вузли	10	14.1	17.5	17.5
9.	Окр, милі	0	1	0	0
10.	Ткр, хв	24	6	24	24

Природно, ситуацій зближення суден може бути нескінченно багато. Для того, щоб установити, чи задовольняють ЗАРП вимогам точності, виділено 4 стандартні контрольні ситуації, для яких Резолюцією ІМО А.422 (ХІ) визначені межі допустимих похибок величин, що обчислюються в ЗАРП. Параметри контрольних ситуацій і необхідна точність оцінки даних в них прикладні згідно з вимогами ІМО в табл. 5.1 і 5.2.

Таблиця 5.2 Точність розрахункових параметрів згідно з вимогами ІМ

		Ситуації розходження							
		1		2		3		4	
		Іхв	Зхв	Іхв	Зхв	Іхв	Зхв	Іхв	Зхв
1.	Курс, град.	—	7.4	—	2.8	—	3.3	—	2.6
2.	Швидкість, вузли	—	1.2	—	0.8	—	1.0	—	1.2
3.	Відн.курс, град.	11	3.0	7	2.3	14	4.4	15	4.6

4.	Віда.швидкю ть, вузли	2.8	0.8	0.6	0.3	2.2	0.9	1.5	0.8
5.	Окр, милі	1.6	0.5	—	—	1.8	0.7	2.0	0.7
6.	Тір, хв	—	1.0	—	—	—	1.0	—	1.0

5.10. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАРП

В цей час в експлуатації знаходиться багато типів ЗАРП, що виробляються різноманітними фірмами. Як приклад можна привести вітчизняні АРП "Брі і Е", "Панорама-І"; зарубіжні ЗАРП: ЗАРП РЛС "Океан-С", "Наяда-5М" (Росія), "Діджіплот" фірми "Іотрон" (США), "Дата Брідж-7" фірми "Норконтрол" (Норвегія), "КАС-1", "КАС-2" фірми "Сперрі" (США); ЗАРП фірм "СТН-Атлас Електроник" (Німеччина), "Кельвін Х'юз" (Англія) і багато інших. Незважаючи на існуючі відміни, всі ЗАРП мають багато спільного. Типовий представник сучасних ЗАРП з'єднується: з дводіапазонними (3- і 10-см.) судновими РЛС (або входить до їх складу), з лагами різноманітних видів, з електронним і звичайним ГК, магнітним компасом з дистанційною передачею показань і РіхОаіе Компасом. В пам'яті багатьох ЗАРП зберігається картографічна інформація, По якій на екрані дисплея ЗАРП відтворюються спрощені ЕК.

Основними тактико-технічними характеристиками ЗАРП є: максимальна дальність РЛ-огляду, максимальна кількість автосупроводжуваних цілей, максимальна і мінімальна дальність захоплення цілей на автосупровід, мінімальна дальність супроводу, час від моменту захоплення цілі до моменту появи вектора цілі, час від моменту захоплення цілі до моменту виробітку її елементів руху з номінальною точністю (час перехідного процесу фільтрації відміток цілей). Максимальна дальність РЛ-огляду залежить від використаної РЛС. Максимальна кількість супроводжуваних цілей у різноманітних типів АРП коливається в широкому діапазоні: від 10 до 120. Максимальна дальність захоплення цілей (середньотоннажних і великотоннажних суден) на супровід звичайно лежить в діапазоні від 15 до 25 миль. Мінімальна дальність захоплення у різноманітних АРП знаходиться в межах 0.15-0.4 миль, а мінімальна дальність автосупроводу— 10.1-0.3 миль. Час з моменту захоплення до моменту появи вектора швидкості цілі займає у різноманітних ЗАРП час від 30 с. до 1 хв., а перехідний процес фільтрації відміток цілі з моменту захоплення її на супровід має тривалість від 2 до 3 хв.

Сучасний ЗАРП вирішує як задачі розходження з судами, так і навігаційні завдання. Типовими завданнями, пов'язаними з забезпеченням безпечного розходження суден, є:

- ручне захоплення на супровід;
- автоматичне виявлення і автозахоплення цілей в заданій області (в охоронному І кільці, у всієї зоні РЛ-огляду, в заданому секторі або в іншій заданій області);
- виконання автосупроводження і визначення елементів руху цілей;
- відкриття маневрів супроводжуваних цілей;
- оцінка небезпеки сутички по закладеному в ЗАРП критерію; І - виробіток маневрів (стратегій) розходження;
- програвання заданих або рекомендованих маневрів (стратегій) на розходження;
- наочне подання на екрані ситуації в графічному вигляді цифрових даних, що її

характеризують. Із навігаційних задач в ЗАРП частіше всього вирішуються наступні: - зчислення шляху судна; визначення місця свого судна по РЛ-пеленгах і РЛ-відстанях нерухомих об'єктів;

- вимірювання полярних (щодо нашого судна) і географічних координат будь-якої точки екрана;

- вимірювання полярних координат будь-якої точки екрана щодо прийнятої за опорну іншої точки екрана;

- обчислення шляхового кута, швидкості свого судна, а також параметрів знесення по РЛ-вимірюванням навігаційних параметрів нерухомих об'єктів;

- побудову фарватерів з заданою шириною на екрані дисплея для полегшення проведення цим фарватером свого судна.

Управління роботою ЗАРП здійснюється за допомогою різноманітних органів: перемикачів, кнопок, держаків, клавіш. Параметри управління ЗАРП поділяються на текстові і числові. Серед обох цих типів можуть бути виділені ще бінарні, що мають тільки два значення. Вибір значення параметра виконується різними способами: установкою перемикача на необхідне значення; наведенням за допомогою клавіш "ВПРАВО" і "ВЛІВО" ("ВГОРУ", "ВНИЗ") на необхідне значення параметра маркера і натиском клавіші ВВІД (Enter); набором номеру чи першої літери параметра і натиском клавіші ВВІД (Enter); набором цифрового значення числового параметра або іншими засобами. Умовно параметри управління роботою ЗАРП можна поділити на наступні групи.

Район і його орієнтація :

- 1.МИЛІ (ШКАЛИ) — переключення шкал дальності (Range), тип числовий;

- 2.ЗМІЩЕННЯ ЦЕНТРУ — зміщення центру розгортай (8eI Center);

- 3.ПОВЕРНЕННЯ ЦЕНТРУ — повернення центру розгортай в початкове положення (Кезеї Center);

- 4.ОРІЄНТАЦІЯ — орієнтація зображення (Beagind — зєєсіоп оґBeagігу рґезепіаіоп тосіє), тип текстовий. Значення текстового параметра:

ПІВНІЧ — орієнтація по меридіану (N01-01 Ir);

КУРС — орієнтація по курсу (Heaa Ir).

КУРС СТАБ — орієнтація по стабілізованому курсу (Coигзе Ir). *Якість зображення :*

- 1.ЯСКРАВИСТЬ—яскравість елементів зображення (BгiП — ЪгiШапсе), тип текстовий. Значення текстового параметра:

- НКД—непорушних кілець дальності (Range Kіп§—йхесі гаїще гіп^к), тип числовий;

- ПКД—рухомого кільця дальності (УКМ—уагіаЬе гіп§), тип числовий;

- СИМВОЛИ—символів, що відображаються на екрані (8уtЬo1з), тип числовий;

- ІНФ.ПЕРВ — первинної РЛ-інформації (СКТ — саіЬоае гау йіЬе), тип числовий;

- МАРКЕР — маркера (Магкег), тип числовий;

- ШКАЛА—освітлення шкали пеленгів (8scale),тип числовий;

- КАРТА — зображення карти (СЪаgI), тип числовий.

- 2.ПІДСИЛЕННЯ — підсилення відеосигналу (Саіп — гєєсіуег зепзііуіу афізітеі), тип числовий;

- 3.ХВИЛІ — подавлення завад від моря (8еа — зєа сіійег зирргеззіоп), тип

[Вкл/викл] + числовий;

- 4.ДОЩ—подавлення завад від дощу (Кат — гаіп сіійег зирргеззіоп), та 11 [Вкл/викл] + числовий;

Режими руху і індикації:

1. ІСТ/ВІДН- режим руху (Тше/геі оґ Могіоп- ігіе/геіаіуе тосіє оґтоІоп), тип текстовий бінарний;

- ІСТ — режим істинного руху (Тгие Моїоп), може бути відносно води (8ЕА) чи ґрунту (СКОШО);
- ВІДН — режим відносного руху (К.є1 Моїоп);
2. ВЕКТОРИ (ЛІР/ЛВР)—вид індикації переміщення (V Tґae/Y Kei от УесЮог), тип текстовий бінарний:
- ЛІР — істинні вектори (Тгие Уесіог);
- ЛВР — відносні вектори (Кеіаііуе Уесюг); *Режим автосупроводження*: ІАВ — режим автоматичного виявлення цілей і автозахоплення (Аиго Мосіе), тип [Вкл/Викл];
2. ЗАПРОВАДЖЕННЯ—ручне взяття цілей на автосупровід (Асґііге), тип текстовий. Значення текстового параметра:
- Ц—цілі (Тг§—Іаг§ег);
- ТО — непорушного точкового орієнтира (Р — йхей роіпі);
- ПО — протяжного об'єкта;
- ОЦ — опорної цілі, відносно якої обчислюються параметри зближення з будь-якою іншою ціллю (Кі—геїегапсе Іагдеї);
- ОТ — опорної точки, відносно якої обчислюються дистанція і пеленг координатного маркера (КР — геїегапсе роіпі);
- 3.Скидання АС — зняття з автосупроводження цілі, відміченої координатним маркером (Кеіеазе Таг§ел);
- 4.ЗОНА ПОШУКУ — параметри зони пошуку (Аиіо Рагаш — аигошосіе рагатеїегз), тип текстовий. Конфігурація зони у різних ЗАРП може бути різноманітною. Коли пошук проводиться в носовому секторі, то значення цього параметра:
- Макс. Д—відстань кордону зони пошуку спереду по курсу (Р Кш* Ь— Іогшагй гап§е Іітії), тип числовий;
- СЕКТОР П—сектор пошуку (8есІог), тип числовий. Звичайно характеризується половиною свого значення, що відраховується від ДП судна до правого або лівого променя.
5. ЛІНІЇ — режим побудови ліній заборони захоплення (Ваггїег), тип [Вкл/викл].

Для оцінки ситуації:

1. ЗОНА БЕЗПЕКИ — параметри зони безпеки (8а& Бітії), тип текстовий. Значення текстового параметра:
- Дкрз — мінімальна відстань до точки найкоротшого зближення (СРА), тип числовий;
- Ткрз — час до точки найкоротшого зближення (ТСРА), тип числовий;
- 2.Тпр — час екстраполяції руху цілей—довжина векторів (Уесюг Бепр,і 111 тип числовий);
- 3.ОХР. КІЛЬЦЕ — включення показу зони охоронного кільця (ОіапІ Яіпд) тип [Вкл/Викл];
- 4.СНК — сектор небезпечних курсів — (зесіог ого!еп§егои5 соигзез), тіш [Вкл/Викл];
- 5.СЛІДИ — сліди цілей (Тгаск Нізіогу), тип [Вкл/Викл];
- 6.ФОРМУЛЯР—дані про положення цілі щодо нашого судна і її елементи руху, тип [Вкл/Викл]. Звичайно в формулярі відображаю її-ся значення:
- ЦІЛЬ — номер цілі (Тді — іаг^еі:);
 - П - пеленг цілі (ТВКО—іаг§еі Беагп§);
 - Д - відстань до цілі (ТКЖі — іаг§е(: гап§е);
 - К - курс цілі (ТНОО — Іагдеї Беа(1п§);
 - V - швидкість цілі (Т8РО—1аг§ел зреесі);
 - Дкр - відстань до точки найкоротшого зближення (СРА — сіозеїї роїін. огаппгоисЬ);

- Ткр - час до точки найкоротшого зближення (ТСРА — ппге го сіозаїі роїін ої"арргоисЬ);

7.ВІЗИР—електронний візир для вимірювання пеленгів (ЕВЬ—сіесігоп її Беагіпд Ііпе), тип [Вкл/Викл],

ПОЧ. ВІЗИРА — установка точки початку візира, (ЕВЬ Рооїроіпг) мін текстовий. Значення текстового параметра: ЦЕНТР — початок візира в центрі екрану (Сепіег); МАРКЕР. — початок візирної лінії з місця настанови маркера (Іпф. сіізріау оГЕВЬ &от ІгаскБаП сигзог тагк іпдерепсіепЙу). Режим програвання маневру:

1.ІМІТ.МАНЕВРІВ — режим програвання маневрів (ТгіаІ), тип [Вкл/Викл].

2.Тдпм—час до початку маневру (ТТУ—гіте Іо тапоеиуге), тип числовим,

3.ВИД МАН. — вид маневру (Мапоеиуге Туре), тип текстовий. Вики ристовуються різноманітні види маневрів в різних ЗАРП.У виглнлі прикладу значень цього текстового параметра можуть бути на ступні:

-КУРС ПІВ. БОРТ — маневр курсом з використанням перекладки старна на 15°, тип числовий;

-КУРС БОРТ — маневр курсом з використанням перекладки стерна ні 30°, тип числовий;

-ШВИДКІСТЬ—маневр швидкістю, тип числовий.

Режим запровадження/індикації даних:

1. ВВІД ДАНИХ—режим вводу початкових даних (Баїа — іпїгіаї сіаїа іпрїї), тип [Вкл/Викл];

2. ВИД ІНФ — вид введеної інформації, тип текстовий. Значення цього параметра звичайно наступні:

а) ДАТА — дата: число/місяць/рік (Баїе: Б/ш/у — йау/ топїї/уеаг);

б) ЧАС—Г:Хв [ГУП]- години-хвилини [Г- грінвичське, П-поясне] (Тіте Н:М [О/Ц- Ііте, поиге:тіпїіз [Огїтісп, Ьосаї]);

в) ШВИДКІСТЬ РУЧНА—ручний ввід швидкості (8РБМ — тапіаї зреесі), тип числовий;

г) КУРС РУЧНИЙ—ручний ввід курсу (НООМ — тапіаї НеасІіп§), тип числовий;

д) СИС. ПАРАМ — режим відображення/запровадження системних параметрів (8уз Рагаг— зузіет рагатеїегз), тип текстовий.

Системні параметри характеризують маневрові властивості судна і вплив на РЛ— інформацію особливостей судна. У різних ЗАРП перелік цих параметрів різний. Для прикладу приведено один із можливих варіантів значень цього текстового параметра:

-Кут. шв. — кутова швидкість повороту свого судна (Титл Кяїе), тип числовий;

-сіУ—лінійне прискорення (уповільнення) свого судна при маневрі швидкістю (8рее<1 Яаїе), тип числовий;

-Тмах — затримка в зміні курсу, що викликана інерційністю судна, тип

числовий; -ТІНЬ.СЕКТОР—тіньовий сектор (ВІпсі 8есІог), тип числовий.

Відраховується від ДП судна в обидві сторони, його величина дорівнює подвійному значенню;

-Умах — максимальна швидкість (МАХ 8РБ—тахітиш зрееа), тип числовий;

В сучасних ЗАРП звичайно використовуються звукова і світлова сигналізація про наступні ситуації: НЕБЕЗПЕЧНА ЦІЛЬ — (СОБЬ ШАРИ—соШзіоп шагпщ§); ВТРАТА ЦІЛІ (Скид АС)—скид цілі з автосупроводження (Ш8Т ТКО); НОВА ЦІЛЬ — поява нової цілі (ИЕДУ ТКО); НЕСПРАВНІСТЬ — несправність ЗАРП; При взаємодії судноводія з ЗАРП істотна роль відводиться маркеру. Він використовується при ручному захопленні на автосупроводження і скиді з нього об'єктів (цілей і орієнтирів), виклику на індікацію цифрових значень кінематичних параметрів окремих супроводжуваних об'єктів, установці дистанції охоронного кільця, вимірюванні пеленга і дистанції до будь-якого об'єкта, завданні опорної точки, зміщенні центру розгортай, побудові фарватера, додаткових точок і ліній на ЕК, виконанні операцій з об'єктами ЕК і проведенні ряду інших дій.

Переміщення маркера по екрану задається або чотирма клавішами (за датчиками переміщення вгору і вниз по вертикалі, праворуч і ліворуч по горизонталі) або одним задатчиком переміщення в будь-якому напрямі (джойстиком або трекболом).

Настанова "Яскравість" звичайно дозволяє встановлювати яскравість деяких компонентів зображення (первинної інформації, НКД, ПКД, маркери, карти і т.д.) зокрема, що дозволяє пристосувати зображення за бажанням відповідно до цілі рішення.

Параметр Окр звичайно задається в діапазоні від 0 до 5 миль з кроком 0.1 милі. Час найкоротшого зближення T в одних ЗАРП може встановлюватися в діапазоні 0-60, а в інших — 0-90 хв. з кроком звичайно 1 хв. Час прогнозу (екстраполяції) переміщення звичайно може вибиратися в діапазоні від 0 до 60 хв. з кроком 1 хв;

Зона автовиявлення і автозахоплення цілей на супровід будується на екрані дисплея за допомогою допоміжних ліній чи шляхом задання сектора за допомогою електронного візира або іншим способом. За допомогою електронної $\angle$ і візира звичайно задається і тінювий сектор. Звичайно нова ціль автоматично береться на супровід при появі її відмітки в двох чи в трьох оглядах підряд (при 2 або 3 послідовних обертаннях антени). Ціль автоматично скидається з автосупроводження, коли після одержання останньої її відмітки в певному числі (звичайно від 6 до 10) послідовних оглядів її відмітка не з'явилася.

Слід минулого переміщення може бути утворений як у конкретної цілі при наведенні на неї маркера, так і у всіх цілей при включенні режиму відображення слідів цілей.

Суміщення РЛ-зображення з ЕК звичайно досягається суміщенням P^A і зображення одного чи декількох непорушних точкових орієнтирів з їх значками на карті.

ЗАРП звичайно мають звукову і світлову сигналізацію при наступних ситуаціях: появі небезпечної цілі; зближенні з ціллю на задану (охоронну) відстань; при скиді цілі з автосупроводження; а в деяких ЗАРП при виявленні і маневруванні цілі і в інших випадках.

Критерієм небезпечної цілі в усіх видах ЗАРП служить одночасне виконання двох рівнянь: $D < D_0$, $0 < T < T_0$.

Багато ЗАРП мають режим навчання оператора роботі із РЛ-прокладчиком при вимкнутій РЛС шляхом моделювання різноманітних ситуацій руху і ходження суден.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте принципи визначення пеленга і дистанції в РЛС.
2. Які об'єкти РЛ-спостереження називають точковими (зосередженими), протяжними?
3. Які операції входять в первинну обробку РЛ-інформації?
4. Принцип вибору інтервала квантування РЛ-сигналу по часу.
5. Як в ЗАРП одержують пеленг об'єкта в цифровому коді?
6. Дайте пояснення терміну "цифрова РЛ-відмітка об'єкта", "бінарна РЛ-відмітка об'єкта".
7. Назвіть основні операції, що входять у вторинну обробку РЛ-інформації.
8. Охарактеризуйте призначення операції стробування.
9. Які математичні моделі використовуються в ЗАРП для подання траєкторій цілей?
10. Який критерій застосовується в ЗАРП при визначенні небезпечної цілі?
11. Назвіть види імітації маневрів на розходження, використані в ЗАРП.
12. Охарактеризуйте засоби відображення інформації в ЗАРП.
13. Назвіть основні компоненти похибки РЛ-вимірювання відстані (пеленга) цілі в ЗАРП.

14. Які чинники впливають на точність кінематичних параметрів цілей?
15. В яких межах повинна знаходитися похибка ГК згідно з вимогами ІМО до ЗАРП?
16. Які навігаційні задачі можуть вирішуватися за допомогою сучасних ЗАРП?
17. Назвіть основні тактико-технічні характеристики ЗАРП. V^e

6. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

6.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ.

Для того, щоб за допомогою управління досягати поставлені цілі, необхідно знати, як об'єкт управління реагує на керуючі і збурюючі діяння. При виборі систем автоматичного управління взаємозв'язок між параметрами об'єкта управління і діяннями (керуючими і збурюючими) описується ш допомогою математичних виразів, що називаються математичними моделями керованого об'єкта, бо дають можливість передбачати його поведінку

При рішенні задач автоматичного управління рухом судна використовуються різноманітні моделі. Це пояснюється тим, що управління рухом може виконуватися: по різноманітним координатам (куту курсу, шляховому куту, боковому зміщенню з лінії шляху, положенню об'єкта, лінійній швидкості); по їх сукупностях; за допомогою одного органу управління (стерна, гвинта чи підрулюючих приладів) або декількох разом; при прогнозуванні руху може вимагатися в одних випадках врахування зміни тільки величини, яка регулюється, а в інших—і взаємозв'язаних з цією величиною інших координат об'єкту. Таким чином, завжди вибір математичної моделі об'єкта управління тісно пов'язаний із задачею, що вирішується. Модель повинна відбивати істотні для задачі сторони процесу, що моделюється, бути простою (економною), служити істотним допоміжним засобом при рішенні поставленої задачі, дозволяти просто проводити оцінку своїх параметрів. Звідси випливає, що використання в різних задачах управління різних моделей керованого об'єкта є природним явищем, спрямованим на можливість одержання оптимальних рішень цих задач. При рішенні задачі управління судном використовуються різноманітні види математичних моделей: алгебраїчні рівняння, диференціальні рівняння в часовій і операційній формі, різничні рівняння і комбіновані вирази. Найбільш часто об'єкт управління описується диференціальними рівняннями.

З моделей систем, що застосовуються при розробках і аналізі автоматичного управління рухом судна, можна виділити наступні типи:

- а) судна як об'єкта стабілізації курсу за допомогою стерна;
- б) судна, яке стабілізовано по курсу, як об'єкта управління боковим зміщенням корегуваннями курсу;
- в) судна як об'єкта управління курсом (шляховим кутом, кутовою швидкістю, положенням) при поворотах за допомогою стерна;
- г) судна як об'єкта управління швидкістю ходу за допомогою гвинта;
- д) судна як об'єкта управління рухом за допомогою стерна і гвинта;
- є) судна як об'єкта управління стерном, гвинтом і підрулюючими приладами при маневрах на малих швидкостях переміщення

Перші моделі використовуються при опрацюванні і аналізі систем стабілізації курсу, другі — систем стабілізації судна на траєкторії, треті — систем управління рухом при поворотах за допомогою стерна, четверті — для опису руху при маневрах швидкістю, п'яті—для розрахунку керуючих діянь комбінованих маневрів швидкістю і курсом, шості — при розрахунку керуючих діянь в так званих автоматизованих маневрових системах.

Для полегшення моделювання процес руху судна в усіх випадках поділя-

І ється на детерміновану складову, що визначається керуючими сигналами і ідентифікованими збуреннями, і випадковий компонент, обумовлений

І неідентифікованими збуреннями.

В основі більшості використаних моделей судна як об'єкта управління лежать теоретичні розробки К. К.Федяєвського, А.М.Басіна, Г. В.Соболева, Р. Я.Першица, Н. Х.Норбіна, К.Номото, Х.Еда та ін. Нажаль, точність теоретичних засобів при побудові моделей не завжди належна. Тому в ряді випадків параметри обраних теоретичних моделей необхідно уточнювати за результатами натурних випробувань. Для цієї цілі застосовуються маневри, що називаються дослідницькими, типу "циркуляція", "зигзаг", "спіраль" та

І Ін., при яких чітко проявляються ті чи інші особливості судна як об'єкта управління. Експлуатаційні маневри, тобто маневри, що проводяться при виконанні програми плавання, для цієї цілі використовувалися мало. Проте в цей час, в зв'язку з необхідністю підвищення якості управління, один з шляхів якого полягає в використанні адаптивних систем, приділяється велика увага опрацюванню засобів оцінки властивостей керованості судна саме в експлуатаційному режимі.

6.2. МОДЕЛЬ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ.

ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛІ. Значення регульованої величини і керуючого діяння при утриманні судна на курсі малі, що дозволяє розглядати г зміни курсу незалежно від руху по іншим координатам і нехтувати особливостями, які проявляються в зміні курсу тільки при сильних маневрах. Моделлю судна як об'єкта управління курсом в цьому випадку є тільки рівняння його обертального руху навколо вертикальної вісі 02, яка проходить через центр маси судна. В загальному випадку, як відомо з курсу теоретичної механіки, це рівняння може бути подано у вигляді

$$I_{\omega} \frac{d\omega}{dt} = M_z; \quad (6.1)$$

де I_{ω} — момент інерції маси судна з врахуванням приєднаної маси; M_z — сумарний момент сил щодо осі 02.

Основними прикладеними до корпусу судна при стабілізації курсу моментами сил є: гідродинамічний момент M від сили на стерні (керуючого

діяння), гідродинамічний момент опору обертанню судна M , аеро гідродинамічний момент збурень M_e від повітря, хвиль, несиметричності об водів корпусу і інших збурюючих чинників. Момент інерції I_{ω} приблизно може бути розрахований за формулою [27]

$$I_{\omega} = 0.05 D L^2 (1 + k_u);$$

Тут O — вагова водотоннажність судна; L — довжина судна; k_u — ко-ефіцієнт моменту приєднаної маси

$$k_u = 2/B - 3.2/L,$$

де B — ширина судна.

Момент на корпусі судна від керуючого діяння приблизно може вважатися пропорційним величині перекладки стерна [12]

$$M_p = C_{\omega} V^2 \beta; \quad (6.3)$$

де $C_{ш}$ —гідродинамічний коефіцієнт ефективності стерна, V — лінійна швидкість судна.

Коефіцієнт ефективності стерна може бути оцінений за допомогою формули

$$C_{ш} = \mu S_{\sigma} l_p / 2; \quad (6.4)$$

де μ — коефіцієнт бокової сили стерна, S_{σ} — приведена площа стерна; l_p — відстань балера стерна від центру маси судна.

Для розрахунку μ може бути використаний вираз

$$\mu = 2\pi \lambda_p / (2 + \lambda_p);$$

в якому λ_p — відносне подовження стерна, що дорівнює $n/75$, де n , 5 — відповідно висота і площа стерна.

Приведена площа стерна знаходиться за формулою $S_{\sigma} = S + \delta S$, де S — площа стерна у струмені гвинта; δ — коефіцієнт навантаження гвинта по тиску. Цей коефіцієнт дорівнює

$$\delta_p = 1.22 N_{\max} / (V_{\max}^3 D^2),$$

де N' — максимальна потужність силової установки; V — швидкість судна при цій потужності.

Момент опору M , приблизно може бути представлений наступним ви-

$$M_c = -(b_{\omega} \omega V + b_{\omega\omega} \omega |\omega|); \quad (6.5)$$

В цьому виразі b_{ω} , $b_{\omega\omega}$ —коефіцієнти лінійної і квадратичної складових; а знак мінус показує, що цей момент є реакцією опору води на обертальний рух корпусу судна.

Підставляючи вирази (6.2), (6.3), (6.5) в вираз (6.1), одержуємо моделі руху судна по куту курсу в наступному вигляді

$$I_{\omega} \dot{\omega} + b_{\omega} \omega V + b_{\omega\omega} \omega |\omega| = c_{\omega} V^2 \beta + M_c. \quad (6.6)$$

Для того, щоб аналізувати рівняння руху по куту курсу без врахування лінійної швидкості, вводиться поняття безрозмірної кутової швидкості Ω і безрозмірного часу τ . Безрозмірна кутова швидкість Ω судна становить

личину, зворотну радіусу p кривизни траєкторії, поданому в довжинах корпусу: $CI = b/p$. Безрозмірна кутова швидкість пов'язана з розмірною ω вира-зом: $CI = a > b/V$. Безрозмірний час становить відстань, яку проходить судно за інтервал часу i , також поданий в довжинах корпусу: $\tau = iV/b$. В безрозмірному вигляді рівняння (6.6) записується

$$A_{\omega} \Omega + B_{\omega} \Omega + B_{\omega\omega} \Omega |\Omega| = C_{\omega} \beta + M'_c; \quad (6.7)$$

$$\text{де } \dot{\Omega} = d\Omega/d\tau; \quad A_{\omega} = I_{\omega}/L^2; \quad B_{\omega} = b_{\omega}/L; \quad B_{\omega\omega} = b_{\omega\omega}/L^2.$$

СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА. Крім рівняння, що описує інаміку об'єкта, при його аналізі часто використовуються більш прості ха-іктеристики його властивостей: статична характеристика і перехідна функція. Статична характеристика описує зв'язок між вхідною і вихідною Величинами об'єкта при режимі сталого руху. Перехідна функція становить реакцію об'єкта на східчає одиничне діяння. З рівняння (6.7) випливає, що в режимі руху по куту курсу (при сталій циркуляції), коли Ω рівне нулю, залежність між величиною, що регулюється, і кутом стерна (статична характеристика) описується виразом

$$B_{\omega} \Omega + B_{\omega\omega} \Omega |\Omega| = C_{\omega} \beta; \quad (6.8)$$

де Ω — значення безрозмірної кутової швидкості при циркуляції з положенням стерна p .

Визначаючи звідси значення CI в залежності від D одержуємо

$$\overline{\Omega} = \left(-B_{\omega} + \sqrt{B_{\omega}^2 + 4B_{\omega\kappa}C_{\omega}\beta} \right) / 2B_{\omega\kappa}.$$

Коли в рівнянні (6.8) коефіцієнт B_{ω} позитивний, то судно як об'єкт управління є неасимптотично стійким на курсі, тобто воно володіє наступною Властивістю: якщо внаслідок зовнішнього (керуючого і/або збурюючого) діяння судно одержало обертання щодо осі Oz тією чи іншою кутовою швидкістю, то після припинення цього діяння через деякий час діаметральна Площина судна займе стале положення на якомусь значенні курсу. Від'ємне іначення B свідчить про нестійкість судна як об'єкта управління курсом. В Цьому випадку за відсутності зовнішнього впливу судно впадає в праву або ліву циркуляцію з кутовою швидкістю $O = 5/B$.

Графік, який характеризує залежність між p і Π (або p і co) в режимі еталого руху, називається діаграмою керованості судна. Діаграма керованості характеризує поворотність судна і його стійкість на курсі. При описі руху судна по курсу моделлю (6.7) діаграма керованості має вигляд, поданий [я рис. 6.1.

Для нестійкого судна кут β_{Π} , відповідний значенню Ci 12, називається Граничним кутом зворотної керованості

$$\beta_{np} = (2B_{\omega}\overline{\Omega}_o + B_{\omega\kappa}\overline{\Omega}_o^2) / (4C_{\omega}). \quad (6.9)$$

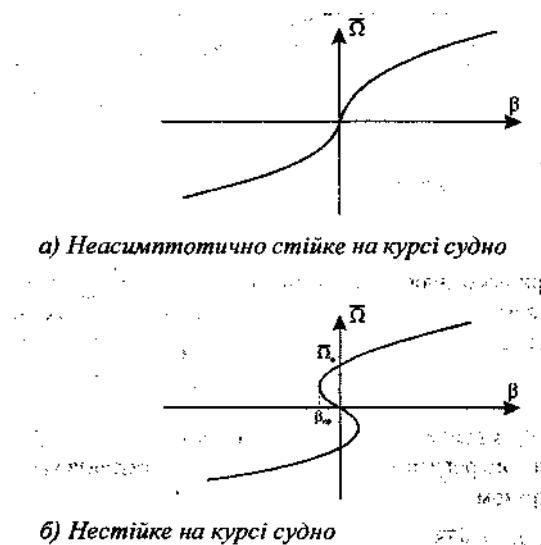


Рис. 6.1. Діаграма керованості судна

Треба зазначити, що характеризуючи судно як об'єкт управління по ку ту курсу, виділяють властивості стійкості на курсі (спроможності залишаті.к на курсі) і спроможності повертання (спроможності змінювати курс). Ці влі стивості мають суперечливий характер, бо підвищення стійкості на курсі зви чайно тягне за собою погіршення спроможності повертання, тому при проектуванні суден намагаються знайти розумний компроміс між ними. Зим чайно судно вважається достатньо стійким на курсі, коли для утримання його на заданому курсі в тиху погоду вимагається біля 5—7 перекидок стерни ш хвилину. Спроміжність повертання судна повинна бути такою, щоб воно були в змозі самостійно виконувати маневри курсом при плаванні по існуючи* водних шляхах. При проектуванні для великотоннажних суден необхідну спро можність повертання інколи потрібно забезпечувати певним погіршенням стійкості судна на курсі.

Тому ці судна, як об'єкт управління, частіше, піт середньотоннажні, бувають нестійкими на курсі.

При стабілізації курсу значення $a > 1/3$ достатньо малі. В діапазоні викори стованих при стабілізації курсу перекидаок стерна для стійких на курсі суден залежність між сої /? може бути задовільно описана лінійною моделлю, що має вигляд

$$A_{\omega}\dot{\omega} + B_{\omega}\omega = C_{\omega}\beta + M'_{\omega}. \quad (6.10)$$

Переходячи від безрозмірної кутової швидкості в (6.10) до розмірніші $(\Pi=\dot{\psi})b/V$, одержуємо модель суднау вигляді

Швидкість ходу при стабілізації судна звичайно постійна. Для конкретної однієї швидкості ходу рівняння (6.11) можна записати в стандартному вигляді

$$(I_{\omega}/V)\dot{\omega} + b_{\omega}\omega = C_{\omega}V\beta + M'_{\omega}. \quad (6.11)$$

де $T_{\omega} = I_{\omega}/(V|b_{\omega}|)$ — постійна часу судна; $k_{\omega} = C_{\omega}/(V|b_{\omega}|)$ — коефіцієнт передачі по керуючому діянню.

Як можна встановить, обидва параметра T_{ω} і k_{ω} моделі залежать від швидкості ходу, при якій здійснюється стабілізація курсу. Значення параметрів моделі (6.12) для сучасних суден при швидкості ходу 10-17 вузлів лежать в межах: $K=0.03-0.15 \text{ с}^{-1}$; $T=10-70 \text{ с}$. [2].

Для дуже малого діапазону перекидаок стерна нестійке на курсі судно, як об'єкт управління, вважається лінійним, тому часто для стійких і нестійких суден модель судна, як об'єкта стабілізації курсу, подають в наступному загальному вигляді:

$$T_{\omega}\dot{\omega} \pm \omega = k_{\omega}\beta; \quad (6.12,a)$$

де знак плюс відповідає неасимптотично стійкому, а знак мінус — нестійкому на курсі судну.

Якщо судно, що описується моделлю (6.12), утримувалося на одному курсі, а після цього стерно було перекидано на величину Δ то реакція його на перекидаку стерна по кутовій швидкості і курсу буде

$$\left. \begin{aligned} \omega(t) &= k_{\omega}\beta_{\sigma}[1 - \exp(-t/T_{\omega})] \\ K(t) &= k_{\omega}\beta_{\sigma}t - T_{\omega}\omega(t) \end{aligned} \right\} \quad (6.13)$$

Графіки зміни цих величин як реакція на ступінчасту перекидаку стерна (рис.6.2,а) подані на рис.6.2,б,в.

Нестійке на курсі судно, як це видно з його діаграми керованості, у межах використаних при стабілізації курсу перекидаок стерна істотно нелінійне. Проте потрібно мати на увазі, що автоматична система стабілізації судна на курсі і з нестійким судном за рахунок введення зворотного зв'язку по кутовій швидкості буде стійкою. При наявності цього зв'язку, коли перекидаки стерна виробляються за законом: $\beta_k = -\&_k \omega$ (де $\kappa > 1/k_{\omega}$, корегований ними об'єкт управління стає стійким на курсі, що дозволяє розглядати його в діапазоні використаних при стабілізації перекидаок стерна як лінійний, і описувати моделлю, еквівалентною (6.12)

$$T'_{\omega}\dot{\omega} + \omega = k'_{\omega}\beta'; \quad (6.14)$$

В цьому виразі

$$T'_{\omega} = T_{\omega}/(k_{\kappa}k_{\omega} - 1); \quad k'_{\omega} = k_{\omega}/(k_{\kappa}k_{\omega} - 1); \quad \beta' = \beta - \beta_{\kappa}. \quad (6.15)$$

Відзначимо, що для корегованого об'єкта керуючим діянням вважається значення β' , рівне різниці між значенням перекидаки стерна β і значення β_{κ} , що коректує нестійкість ρ_{κ}

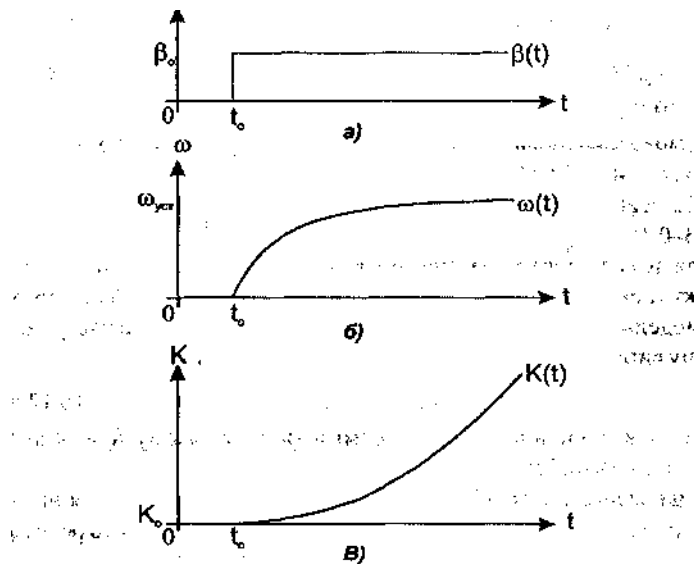


Рис.6.2. Графіки зміни кутової швидкості і курсу судна при ступінчастому керуючому діянні

ЗБУРЕННЯ В РУСІ СУДНА ПО КУТУ КУРСУ, діючі на систему стабілізації курсу, умовно можуть бути поділені на координатні і параметричні. Координатні збурення викликають відхилення регульованих величин від запропонованих значень. Параметричні збурення є причиною зміни параметрів моделі судна як об'єкта управління.

В русанні судна, обумовленому координатними збуреннями, в загальному випадку розрізняють дві складові: низькочастотну і хвильову. Низькочастотним вважається русання, спектр якого знаходиться в смузі пропускання системи управління курсом. Воно являє собою результат складного руху по куту курсу, яке включає кутове переміщення під дією стерна і низькочастотний рух від заданого курсу, що викликається дією повітря, асиметрією обвод корпусу і упору гвинта, повільнозмінюваної складової від дії хвиль, статичного крену судна і ряду інших причин. Хвильова складова русання < наслідком морського хвилювання. Її ніяк не можна компенсувати стерном, бо спектр її лежить поза смугою пропускання системи. У простому випадку кореляційна функція русання від хвиль має вигляд

$$K_{хв}(\tau) = D_{хв} \exp(-\alpha_{хв} \tau) \cos(\omega_{хв} \tau);$$

де B — дисперсія русання від хвиль; $\omega_{хв}$ — кругова частота русання. Вітер викликає на корпусі судна істотні зусилля, коли його швидкість риблизно в тричі більша швидкості судна. Вітряний вплив є причиною дрейфу судна. Крім того, у суден з великою парусністю при русі з кутом дрейфу, особливо при курсових кутах вітру, близьких до 120° , до корпусу прикладається істотний постійний аерогідродинамічний момент, для компенсації якого необхідне істотне зміщення середнього положення стерна.

До параметричних збурень відносять зміну завантаження судна, швидкості ходу, глибини на мілководді і ряд інших. Виразів для достатньо точного обліку впливу цих чинників на параметри математичних моделей судна, поки це не має, існують лише приблизні вирази.

Вплив завантаження судна має складний характер і проявляється в зміні моменту інерції судна; в певній зміні ефективності стерна, особливо при його оголінні; зміні стійкості судна на курсі через зміни диферента і коефіцієнта повноти підводної частини діаметральної площини. Зміна завантаження особливо впливає на динамічні властивості великотоннажних суден, які і при повному навантаженні можуть бути стійкими на курсі, а порожні — істотними.

На мілководді з зменшенням глибини під кілем ефективність стерна падає, змінюється стійкість на курсі, росте опір руху судна, зростає його просідання. Співвідношення між безрозмірною кутовою швидкістю на глибокій іоді і на мілководді

залежно від співвідношення осадки судна до глибини морське бути приблизно оцінено з універсального графіку, запропонованого Гофманом [12].

ЗАСОБИ ОЦІНКИ КОЕФІЦІЄНТІВ МОДЕЛІ КЕРОВАНOSTІ СУДНА розпадаються в багатьох джерелах [2,5,12,24,26,27,31,33].

6.3. МОДЕЛЬ СТАБІЛІЗОВАНОГО ПО КУРСУ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ БОКОВИМ ЗМІЩЕННЯМ КОРЕГУВАННЯМИ КУРСУ

ВИД МОДЕЛІ. Об'єктом корекції при управлінні боковим зміщенням є судно, що управляється по куту курсу. При рішенні завдань корекції модель такого об'єкта звичайно приймається лінійною

$$T_v \ddot{Y} + \dot{Y} = V \delta; \quad (6.16)$$

де T_v — постійна часу об'єкта; V — швидкість ходу; δ — курсова поправка; Y — бокове відхилення від лінії шляху.

При корекціях курсу, що проводяться через інтервал часу, більший 1.5 КВ., інерційністю об'єкта корекції звичайно нехтують і його модель приймає Ігглед

$$\dot{Y} = V \delta; \quad (6.17)$$

Звідси випливає, що швидкість керованого бокового зміщення судин пропорційна величині корекції курсу.

ЗБУРЕННЯ В ПОПЕРЕЧНОМУ РУСІ СУДНА, ЩО УПРАВЛЯЄТЬСЯ ПО КУТУ КУРСУ. Збурюючими лінійний рух судна чинниками є: течія, вітер, похибки засобів зчислення. Викликане цими чинниками зміщення судна і к і діляється на детерміноване і випадкове (знесення). Детермінована складов враховується при зчисленні, методика такого обліку докладно освітлюється в курсах навігації. Для врахування знесення використовують обсервації. Щоб виконати це завдання найкращим чином, враховується характер знесення Найбільш повну інформацію про звичайний характер знесення дає автокурс лаяційна функція, що описує складову швидкості знесення по обраному на прямую, зокрема і швидкість бокового знесення

$$K_v(t) = D_v \exp(-\alpha_v t);$$

При використанні традиційних засобів впливу вітру, течії і похибок курсоказання, параметри цієї функції знаходяться в наступних межах: $\Gamma_v = 0.0 \div 0.5$ вузла; $\alpha_v = 0.1 \div 0.3$ ч⁻¹.

6.4. МОДЕЛЬ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ХОДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГВИНТА

ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛІ. Для опису маневрів швидкістю в судно водінні звичайно використовується модель несталого поздовжнього руху судна, що не враховує можливі відхилення судна від прямого курсу. Базови форма цієї моделі наступна:

$$M \dot{V} + R = T; \quad (6.18)$$

де M — маса судна з урахуванням приєднаної маси; R — опір води руху судна; T — упор гвинта.

Співвідношення для моделювання маневрів швидкістю (розгону, пасші ного і активного гальмування), що одержуються на основі (6.18), залежать в ід припущень, що приймаються до компонентів, що входять в (6.18). Задовільній точність моделювання маневрів швидкістю в судноводінні досягається при наступних припущеннях [31]:

- приєднана маса в ході маневру (при русі тільки вперед чи тільки назад) залишається незмінною;

- в процесі розгону і гальмування траєкторія руху судна залишається прямо лінійною;

- опір води руху судна пропорційний квадрату швидкості;

—упор гвинта може розглядатися як функція поточного Означення швидкості і швидкості в номінальному режимі V (заданого значення), відпо відноїустановки Y_d дросельного клапана машини (або числу n обертані, гвинта фіксованого кроку (ГФК) або куту C установки лопаті гвинті регульованого кроку (ГРК));

- частоти обертання гребного гвинта в швартовому режимі і при номінальній швидкості однакові.

Треба зазначити, що в дійсності одногвинтові судна при реверсі відхиляються від прямого курсу і поперечне зміщення, що виникає від цього, досягає у цих суден (за даними Г.І.Зільмана і А.А.Тер-Захар'янца) 10-15%, а у великотоннажних суден—до 40% шляху при гальмуванні. Частота обертання гребного гвинту в швартовному режимі звичайно менша частоти обертання при номінальній швидкості на 10-15%.

Для розрахунку параметрів моделі (6.18) в судноводінні застосовуються наступні формули.

Маса судна з урахуванням приєднаної маси знаходиться за формулою

$$M=(1+k_{mx})D; \quad (6.19)$$

де ξ —вагова водотоннажність; k_m —коефіцієнт приєднаної маси (для переднього ходу ξ_{tx} приймається рівним 0.1, а для заднього -0.11). Опір води руху судна розраховується за формулою

$$R=k_{\varphi} V^2; \quad (6.20)$$

де $k = A + A$ — сума коефіцієнтів загального опору підводної частини корпусу і стерна.

Для переднього і заднього ходу значення коефіцієнтів $k^{\wedge}$, k_c відрізняються. Для розрахунку коефіцієнта k_x для переднього ходу може бути використана приблизна емпірична формула, що запропонована С.І.Дьомінін

$$k_x = 5.88 + 0.000654 S_{cm} \sqrt{B/T^{\wedge}};$$

де $S_{cm} = \xi^{2/3} (4.854 + 0.492 B/T^{\wedge})$, B — ширина судна, $T^{\wedge}$ — середня осадка.

Процес роботи гребного гвинта при маневрах швидкістю (особливо при реверсі) відрізняється складністю, нестійкістю упору гвинта і появою не-І стабільної по величині і напрямку поперечної сили. Тому для розрахунку упору гвинта застосовуються досить приблизні залежності. Крім того, при зміні умов експлуатації (посадки судна, обростання, міри хвилювання, глибини) величина упору змінюється, також змінюється і коефіцієнт опору руху судна. В цих умовах досить тяжко за приблизними виразами як для упору гвинта так і коефіцієнта опору уточнювати модель до реальних даних. Для спрощення уточнювання можна використати той факт, що звичайно для режимів сталого руху одним курсом відоме співвідношення між Y_d (n або O) і K . Крім того, є способи для оцінки впливу на швидкість сталого руху посадки, обростання, хвилювання, мілководдя. Тобто є можливість оцінювати швидкість сталого руху в тому чи іншому режимі при певних умовах.

В таких умовах, щоб модельована стала швидкість K була близька до реальної і зміна швидкості в динаміці була адекватною, облік зміни коефіцієнта опору руху судна і маси судна при зміні умов можна виконувати за приблизними формулами, а розрахунок упору гвинта робити за формулою

$$T = k_{\varphi} [(1-Q)V^2 - QV_o^2]; \quad (6.21)$$

де <3 — відношення упору гвинта на швартових до упору в номінальному режимі (для роботи гвинта на передній і задній хід значення C ? дещо відрізняються), V — швидкість ходу судна, U_0 — швидкість судна в сталому русі для заданого n або C .

Враховуючи в базовій моделі (6.18) прийняті припущення, одержимо модель для представлення маневрів швидкістю

$$\dot{V} + a_{\varphi} V^2 = a_{\varphi} [(1-Q)V^2 - QV_0]; \quad \text{де } a_{\varphi} = k_{\varphi}/M. \quad (6.22)$$

Для моделювання на ЕОМ руху судна при маневрах швидкістю в динаміці модель (6.22) записується в різничному вигляді. Для цього обирається малий інтервал часу M , рівний 1 або 2 с. Поточне значення швидкості позначається V . Нескінченно малі прирощення в рівнянні (6.22) замінюються кінцевими

$$\Delta t = \Delta t; \quad \Delta V = V_{i+1} - V_i. \quad (6.23)$$

Підставивши (6.23) в рівняння (6.22), одержуємо вираз для чисельного інтегрування, за яким можна розраховувати значення швидкості в процесі маневру в залежності від значень V , які враховуються по поточним значенням обертів гвинта чи кута повороту лопаті.

Більш повні вирази для моделювання маневрів швидкістю приведені в [12].

Серед процесів маневрування швидкістю ходу виділяють розгін, вільне і активне гальмування. В цих стандартних процесах розрізняють ряд періодів [12], що відповідають фізичним процесам, які відбуваються в системі.

6.5. МОДЕЛЬ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗА ДОПОМОГОЮ СТЕРНА І ГВИНТА

Базова форма моделі для відтворення маневрів судна добре відома [27]

$$\begin{aligned} M_x \dot{V}_x + M_y V_y \omega &= F_x; \\ M_y \dot{V}_y + M_x V_x \omega &= F_y; \\ I_{\omega} \dot{\omega} &= M_z; \end{aligned} \quad (6.24)$$

де M_{ω} , M — повні (з урахуванням приєднаних мас) маси судна по поздовжній OX і поперечній OY осям; I_{ω} — повний момент інерції судна щодо вертикальної осі OT ; F_x , F_y — сума проекцій сил (крім інерційних), діючих на судно по осях OX , OY ; M_z — сумарний момент сил щодо осі OT ; V_x , V_y — складові швидкості судна по осях OX , OY ; ω — кутова швидкість судна

Лінійна швидкість U судна дорівнює $U = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$, а кут дрейфу

$$\alpha = \arctg(V_y/V_x).$$

залежно від вагової водотоннажності u і моменту інерції корпусу I_{ω} значення M_x , M_y , I_{ω} приблизно можуть бути одержані за формулами

$$M_x = 1.1D; \quad M_y = 2.0D; \quad I_{\omega} = 1.5I_r.$$

На задньому ході приєднані маси більше приблизно на 12%. З базової форми моделі з врахуванням тих чи інших припущень можуть бути одержані зноманітні моделі для представлення маневрів суден. Нижче приводяться Сновні співвідношення моделі, згідно [31]:

$$\begin{aligned} M_x \dot{V}_x &= T_x + F_k \sin \alpha - R_k \cos \alpha - F_c \sin \alpha' - R_c \cos \alpha' + M_y V_y \omega \\ M_y \dot{V}_y &= T_y + F_k \cos \alpha - R_k \sin \alpha + F_c \cos \alpha' - R_c \sin \alpha' + M_x V_x \omega + F_s \\ I_{\omega} \dot{\omega} &= -M_{\omega} - F_k L_k \cos \alpha - R_k L_k \cos \alpha + F_c L_c \cos \alpha' - R_c L_c \sin \alpha' + L_s F_s \end{aligned} \quad (6.25)$$

В цій моделі I_k , L_k , L_c — відповідно відстані від центру маси судна до Внутру тиску води на корпус, центру стерна, площини обертання гвинта; T_x , T_y — підйомні сили на корпусі і стерні; F_k , F_c — сили опору корпусу і герна; α' — ефективний кут дрейфу; P — бокова сила гвинта; T — упор Шнта; M_{ω} — момент опору обертанню корпусу судна.

Вхідними величинами моделі є положення органів управління: кут стер-а p , установка H дросельного клапана знергетичної установки (частота и Вертання гвинта

і/або кут атаки його лопаті). Вихідними величинами є Інематичні параметри судна (шляховий кут, курс, швидкість і т.д.).

Упор гвинта Γ при моделюванні одержується за формулою (6.21). Вира-і для розрахунку сил на корпусі мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} F_x &= k_{xa} V^2 \alpha, & V > 0 \\ F_x &= k_{xo} V^2 \alpha, & V < 0, H_a < 0 \\ F_x &= k_{xo} V^2 \alpha, & V > 0, H_a > 0 \end{aligned} \right\}; \quad (6.26)$$

$$R_x = k_x V^2 + k_{xx} V^2 \alpha^2. \quad (6.27)$$

Для розрахунку сил на стерні використовуються співвідношення

$$\left. \begin{aligned} F_c &= k_s V_s^2 \beta \\ R_c &= k_c V^2 + k_{cs} V_s^2 (\beta')^2 \end{aligned} \right\} \quad (6.28)$$

В приведених формулах β - ефективний кут стерна, $V = Y - 0.25/U$ іє $AY = Y - U_c$, а значення коефіцієнтів k_x , k^x , k_c , k_{cs} для $Y > 0$ і $K < 0$ дещо ідрізняються. Момент опору обертанню корпусу судна

$$M_\omega = k_\omega \omega^2 \quad (6.29)$$

розраховується за формулою кокова сила від гвинта розраховується в залежності від упору гвинта

$P = \kappa T$; де для $\Gamma > 0$ і $\Gamma < 0$ значення κ різні.

Значення курсу K одержуються шляхом інтегрування кутової швидкості іудна, а складові швидкості по меридіану і паралелі знаходяться за формулами

$$V_N = V_x \cos K + V_y \sin K;$$

$$V_E = V_x \sin K - V_y \cos K.$$

Для моделювання на ЕОМ руху судна при маневрах швидкістю і курсом в динаміці, співвідношення, які входять до моделі, подаються в різничному вигляді. Використавши в одержаній моделі відповідні судну коефіцієнти, мок ливо на ЕОМ показати різноманітні його маневри в прискореному і реальній му часі.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1.Охарактеризуйте значення математичних моделей при автоматизоіш ному рішенні задач управління судном.

2.Які види математичних моделей об'єкта використовуються при р| шенні задач управління судном?

3.Приведіть нелінійну і лінійну диференціальні моделі судна для систем стабілізації курсу.

4. Які особливості мають нестійкі на курсі судна?
5. Яку інформацію про властивості судна як об'єкта управління дає статистична характеристика керованості судна і як вона називається в суднової динаміці?
6. Охарактеризуйте модель системи стабілізації курсу як об'єкта управління лінійним боковим зміщенням з заданої лінії шляху.
7. Яка математична модель використовується для опису маневрів швидкістю?
8. Охарактеризуйте модель у вигляді системи взаємозв'язаних диференціальних рівнянь, що описує маневри як курсом судна, так і його швидкістю

7. АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА.

7.1. ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

Автоматизована система управління рухом судна (АСУР) є системою програмного управління і служить для автоматичного відпрацювання програм плавання по маршруту, програм розходження з суднами, а також для виконання окремих завдань управління за вказівками задавальної системи чи оператора. АСУР в загальному плані вирішує задачі управління рухом по окремим координатам (курсу, шляховому куту, боковому зміщенню, лінійній швидкості і т.д.), за сукупностями цих координат за допомогою одного із органів управління (стерна, гвинта, підрулюючих приладів) або декількох, наприклад, за допомогою стерна і гвинта при здійсненні повороту з мінімальним радіусом, або сумісного управління стерном, гвинтом і підрулюючими приладами для забезпечення переміщення корпусу судна в заданому напрямі при швартовці. Алгоритми задач, що вирішуються АСУР реалізуються у вигляді підпрограм, записаних у пам'яті системи. Послідовність підключення цих підпрограм визначається програмою, яку відпрацьовує АСУР, або судноводієм.

В сучасних АСУР задачі управління розподіляються по декількох рівнях (підсистемах), на нижніх з яких система може функціонувати незалежно від стану більш високого рівня. Наприклад, в задачах, які вирішуються без управління швидкістю ходу, на нижньому рівні розташовується підсистема управління курсом, а на другому рівні — підсистема управління траєкторією, що корегує нижчу підсистему в залежності від бокового зміщення з заданої траєкторії. На кожному рівні можуть бути два підрівня ієрархії. На нижньому підрівні розташовується підсистема без автоматичної підстройки до умов експлуатації, а на верхньому — блок адаптації, який забезпечує автоматичний розрахунок і/або пошук оптимальних параметрів алгоритму управління підсистеми і їх установку. Звичайно вимагається, щоб підсистема управління мала можливість самостійного функціонування без автоматичної підстройки (при необхідності з ручною настройкою) при виключенні або виході із ладу блоку адаптації.

АСУР відноситься до стохастичних систем і вирішує два типи задач управління: стабілізації динамічного стану — підтримки певного стану системи шляхом компенсації відхилень, викликаних випадковими збуреннями, що діють на систему; зміни динамічного стану — забезпечення необхідного характеру переходу системи із одного стану в інший при наявності випадкових збурень. Даними при пошуку оптимальних рішень цих задач звичайно є: модель об'єкта в широкому розумінні слова (що включає моделі: судна, вимірювальних і виконавчих приладів, збурень і похибок вимірювань); критерій якості управління; обмеження на величини, що регулюються, і керуючі діяння; початковий і кінцевий стан об'єкта управління (для другої задачі). Критерієм якості частіше за все служить функціонал, який відбиває ціль управліня. Розрізняють: функціонал максимальної швидкодії, коли ціль управління полягає в переводі системи з одного стану в інший за найкоротший час; квадратичний функціонал перемінних стану і управління, коли необхідно мінімізувати середні квадратичні значення похибок управління і витрат на нього; інші функціонали, коли ціль управління не може бути відбита функціоналами перших двох видів [24].

Строго аналітично задача оптимізації стохастичної системи може бути вирішена при виконанні так званих ЖГ-умов, тобто для лінійних задач з квадратичним функціоналом і гаусовськими збуреннями. Тому для можливості одержання таких рішень в нелінійних системах, якщо допустимо, широко використовують метод лінійаризації. Для спрощення рішень застосовують також спосіб розділення руху. Так, в задачах зміни динамічного стану системи при малому рівні збурень управління розглядається як суперпозиція двох складових: програмної для забезпечення необхідної зміни стану детермінованої системи і коректурної для компенсації відхилень регульованих величин, викликаних випадковими збуреннями. Детермінована модель стохастичної системи одержується абстрагуванням від випадкових збурень або шляхом заміни випадкових

збурень їх математичними чеканнями. Не порушуючи оптимальності рішення, в цьому випадку програмну компоненту можна шукати до здійснення управління як функцію часу по розомкнутій схемі. Коректурна складова виробляється оперативно як функція спостережень залежно від відхилення поточних значень регульованої величини від програмних.

Рішення істотно нелінійних задач виконується частіше всього методом динамічного програмування, який зводиться до послідовного обчислення системи рекурентних відношень (рівнянь Беллмана). Іншими традиційними методами рішення таких задач є класичний засіб варіаційного обчислювання (принцип максимуму Понтрягіна). При застосуванні традиційних методів для нелінійних задач часто зустрічаються чималі обчислювальні труднощі. Бажання обминути ці труднощі зумовило застосування спрощених (субоптимальних) методів оптимізації нелінійних систем. При їх використанні вибір управління проводиться в рамках обмеженого числа алгоритмів і зводиться до знаходження оптимальних параметрів настройки. Широке розповсюдження із цих методів одержують пошукові методи.

Методи пошуку за моделлю забезпечують знаходження управління за допомогою імітаційної моделі системи, яка дозволяє прогнозувати хід процесу управління при переборі алгоритмів управління і/або значень їх параметрів в прискореному масштабі часу. Для задач зміни динамічного стану частіше всього використовується два види пошуку програмних керуючих діянь: з кусково-постійним поданням керуючого діяння і з регулюванням по відхиленню, яке прогнозується. В першому керуючі діяння представляють Кусково-постійною функцією часу з відомими значеннями чи моментами Переключень і при пошуку за моделлю визначають моменти її переключень і її значення. Другий полягає в пошуці програмного управління ітеративно іп імітаційною моделлю системи, в якій використовується з випередженням ііичайне регулювання по відхиленню від програмної траєкторії.

При зміні умов експлуатації динамічні властивості судна змінюються, Причому досить часто відсутня інформація, щоб визначити модель системи для нових умов. У цих випадках доводиться оптимізувати управління, не маю-чи моделі об'єкта. Розповсюдженими методами такої оптимізації є: метод пошуку в реальному процесі і метод підстройки реакції системи до реакції моделі-еталону. Метод пошуку в реальному процесі полягає в виборі алгоритму управління і/або значень його параметрів цілеспрямованим перебором різноманітних варіантів в процесі управління з оцінкою по спостереженнях показника якості управління і визначення за одержаними результатами оптимального варіанту. Метод підстройки до моделі-еталону полягає в наступному. Під моделлю-еталоном розуміють модель, яка відбиває структуру об'єкта і реакція якої на керуючий сигнал відповідає бажаній. Ця модель в загальному випадку кількісно не відповідає реальному об'єкту. У процесі вирішування системою її завдання (або при заданні керуючого сигналу спеціального виду) керуючий сигнал поступає на модель-еталон і на реальний об'єкт. Оп-тимізація приладу регулювання здійснюється на основі порівнювання сигналу, який надходить з моделі, з дійсним. Залежно від величини відхилення чмінюють динаміку системи шляхом зміни параметрів приладу регулювання, щоб звести відхилення до мінімуму.

В цей час у переважній більшості випадків судна оснащуються системами автоматичного управління тільки курсом, вимоги до яких приводяться нижче.

ВИМОГИ ДО НЕАДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КУРСОМ.

Правилами Регістру до системи автоматичного управління рухом судна по курсу пред'являються наступні вимоги. Система повинна утримувати судно на курсі з точністю 1° при швидкості понад 6 вузлів, незалежно від умов плавання і завантаження судна. Під точністю утримання судна на курсі мають на увазі різницю між заданим курсом і середнім арифметичним значенням курсу, визначеним з 30 і більш відрахунків, знятих на протязі інтервалу часу не менше 2 хвилин.

При стабілізації курсу амплітуда рискання судна під дією хвиль не повинна бути більше тієї, що досягається при кваліфікованому ручному управлінні.

І ні. Орієнтовно середня амплітуда рискання по курсу для стану моря до 3 балів повинна бути в межах 1° , до 6 балів — 2° - 3° , понад 6 балів — 4° - 5° . Повинна забезпечуватися можливість автоматичної зміни курсу судна.

І на величину, не менш 10° , з перерегулюванням, яке не перевищує 10% від величини заданої зміни курсу.

Повинна бути передбачена можливість ручної настройки при зміні умов роботи системи. Межі значень регулюючих органів повинні бути достатніми для забезпечення якісної настройки.

В системі повинні бути передбачені три види управління: простий (аварійний), слідкуючий (напівавтоматичний) і автоматичний. Перехід з одного виду управління на інший повинен виконуватися не більш, ніж двома органами управління, без будь-якого узгодження елементів схеми і займати не більше 3 с.

На показниках положення стерна різниця між зазначеним і дійсним по ложенню стерна не повинна перевищувати 1° для стерна в діаметральній площині, $1,5^\circ$ — при куті перекладки від 0° до 5° , $2,5^\circ$ — при куті перекладки від 5° до 35° ;

Привід стернових пристрій повинен забезпечувати перекладку стерпи і одного борту на інший за час, що не перевищує 28 с.

Стернові приводи на протязі 1 хв. повинні витримувати навантаження по моменту, що на 50 відсотків перевищує розрахункове.

ВИМОГИ ДО АДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КУРСОМ. Згідно з міжнародними вимогами, адаптивна система управління рухом судин по курсу повинна володіти наступними якостями [24]: забезпечувати мінімальну амплітуду рискання (виходячи з обмежень, що визначаються динамічними властивостями судна) мінімальною роботою стернового приводу, настрюватися без участі оператора на оптимальний режим при зміні завдання, швидкості і зовнішніх умов плавання, процес настройки не повинен зменшувати швидкість ходу.

Повинні бути передбачені такі види управління: адаптивний, автоматичний, слідкуючий, ручний.

Повинна бути передбачена індикація використаного виду управління, а також звукова сигналізація про вихід з ладу блоку адаптації, про відхилення судна з заданого курсу на величину більш за задану і перекладках стерна, які виходять за задану межу. Повинна також бути на мості судна аварійно попереджувальна сигналізація про припинення подачі електроживлення на стерновий привід і/або в його схему управління.

При будь-якій відмові в блоці адаптації повинен забезпечуватися перехід на інший вид управління при будь-якому положенні стерна за час не більш 3 с.

В складних умовах повинна допускатися одночасна паралельна робота і двох силових агрегатів стернового приводу.

Блок адаптації не повинен знижувати експлуатаційну надійність системи управління стерном і виводити її з ладу при відмові цього блоку.

7.2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ.

АЛГОРИТМ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ. Стабілізація курсу (автоматична орієнтація поздовжності судна в заданому напрямі руху) полягає в підтримці

постійного значення курсу шляхом компенсації стерном відхилень від нього, викликаних випадковими діями. При автоматичній стабілізації курсу на морських суднах використовується принцип управління по відхиленню, який в цьому випадку полягає в формуванні величини перекладки стерна для утримання судна на курсі залежно від відхилення поточного курсу від заданого. Принципова схема системи стабілізації

курсу приведена на рис. 7.1. На цій схемі позначено: K_2 — заданий для стабілізації курс; $K(t)$ — поточне значення курсу; y — відхилення поточного курсу від заданого; γ — кут перекладки стерна.



Рис. 7.1. Принципова схема системи стабілізації курсу

Вимірником курсу в системі стабілізації є ГК; у вигляді резервного датчика курсу для середніх і великих суден (і основного для авторульових малих суден) в ряді АСУР використовується електронний магнітний компас з нерухомим чутливим елементом (Ріх§ale сотразз), на показання якого не впливають прискорення на хитання і при маневрах.

Якість стабілізації курсу при виробітку керуючих діянь в системі тільки в залежності від кута відхилення поточного курсу від заданого звичайно невисока, для досягнення задовільної якості стабілізації використовуються коректурні сигнали по кутовій швидкості і інтегралу кута рискання. Вимірником кутової швидкості (ВКШ) рискання в цьому випадку є електронний чи електромеханічний диференціюючий прилад або гіротахometr; а датчиком $\int y/\omega$ служить інтегратор того чи іншого виду. Точність вимірювання кута і кутової швидкості рискання повинна бути достатньо високою. Особливе значення точність вимірювання кута рискання має для нестійких на курсі суден, де від неї істотно залежить точність стабілізації курсу. Тому на великотоннажних малостійких і нестійких на курсі суднах для вимірювання кутової швидкості рискання застосовуються високочутливі гіротахометри

В сучасних авторульових кладки стерна в режимі стабілізації курсу звичайно знаходяться залежно від кута рискання y (або його низкочастотної складової y_n) за пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД) законом регулювання

$$\beta = -(k_p \psi + k_d \dot{\psi} + k_i \int \psi dt); \quad (7.1)$$

де k_p, k_d, k_i — коефіцієнти, $\psi = d\psi/dt$.

Звідси випливає, що спрощено авторульовий в режимі стабілізації курсу може бути представлений наступною блок-схемою

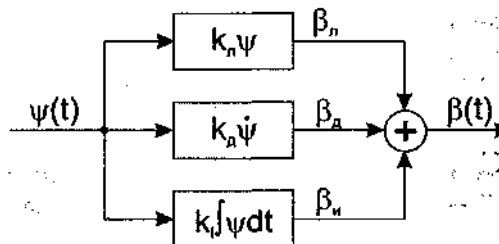


Рис. 7.2. Спрощена блок-схема автостернового

Для зменшення зростання інтенсивності перекладки стерна при хвильово му рисканні застосовуються різноманітні способи: змінюються коефіцієнти закону регулювання (7.1) або застосовуються спеціальні фільтри (аналогові або цифрові), що розміщуються на вході або на виході приладу регулювання і маючі свої регулювані залежно від характеристик хвильового рискання параметри.

ПРИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ СИГНАЛУ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ. Про порційна куту рискання складова ($D_n \sim K_x y$) є основною — при появі відхилення від курсу вона викликає пропорційну йому перекладку стерна, що повертає судно на заданий курс. Значення параметру K_x залежить від умов, в яких проводиться стабілізація курсу, і може знаходитися для сучасних суден в діапазоні від 0.5 до 5.0.

Диференціальна складова ($D \sim K_d \dot{\psi}$) служить для демпферування власних коливань системи "прилад регулювання-судно". Для нестійких на курс і суден вона забезпечує структурну стійкість системи стабілізації курсу і необхідну якість перехідного процесу. Для стійких на курсі суден вона виконує тільки другу функцію. Орієнтовно власні коливання суден водотоннажністю 10—30 тис.т. мають період 60-130 с. Ці коливання легко розрізнити на курсові рамі, в тиху погоду і при хвилюванні, бо їх період на порядок більший періоду ристання від хвиль. Демпферування власних коливань з допомогою сигналу D пояснюється за допомогою схеми (рис. 7.3). Для простоти припускається, що кут ристання при коливаннях щодо заданого курсу змінюється по синусоїдальному закону, а швидкість змінювання кута ристання є косинусоїдою. Виділяючи в процесі ристання ділянки: I — судно відходить від курсу і II — судно підходить до курсу, можна установити наступне.

Коли кут ристання збільшується, сигнал D_d одного знака з D_{ψ} , отже, на цих ділянках стерно буде перекладене на величину, більш ніж D_{ψ} , і ефектам ніше перешкоджатиме зростанню відхилення від курсу. При підході до курсу знак D_d протилежний D_{ψ} . Внаслідок при підході до курсу стерно перекладається на деякий кут іншого борту і виконує удержування судна. Звідси видно, що диференціальна складова виконує функцію виробітку діянь, що демпферу-ють коливання системи. При стабілізації значення параметра K_d залежить від умов і для стійких на курсі суден звичайно вибирається в діапазоні 0-10

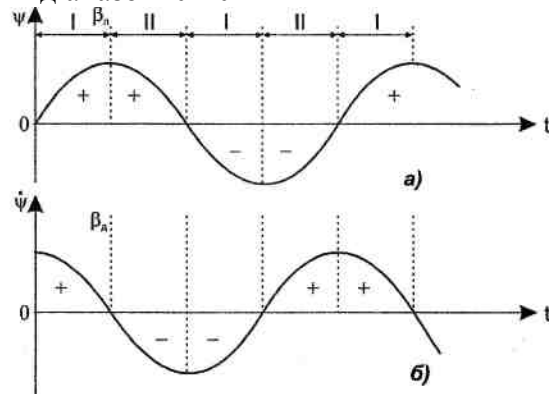
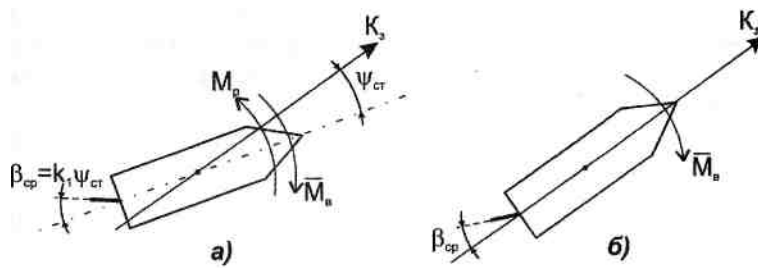


Рис. 7.3. Пояснення принципу демпферування власних коливань системи стабілізації курсу

Інтегральна складова ($\int \dot{\psi} dt = -\psi$, у як) служить для усунення статичної Похибки, що викликається постійною складовою M моменту зовнішніх сил M , яка прагне розвернути судно в будь-яку одну сторону. Цей момент зумовлений дією повітря, асиметрією обводів корпусу, упора гвинта, дією хвиль і т.д. За відсутності в законі стабілізації курсу складової D в час, коли судно лежить на курсі, стерно знаходиться в діаметральній площині і збурюючий момент $M_{\text{пв}}$ не компенсується. Тому судно буде зміщуватися з заданого курсу в напрямі дії моменту збурення, поки не наступить положення рівноваги (рис. 7.4 а), коли момент від перекладки стерна на кут P , що виникає при відхиленні від курсу (величина D пропорційна відхиленню від курсу), не стане рівним M . Величина відхилення від курсу в положенні рівноваги ($y/$) називається статичною похибкою. Система стабілізації курсу, яка має цю похибку, також називається статичною



а) Сталій режим статичної системи

б) Сталій режим астатичної системи

Рис. 7.4. Пояснення принципу усунення статичної похибки системи стабілізації курсу

Сигнал p пропорційний інтегралу від кута рискання, служить для імітації (при знаходженні судна на курсі) середнього положення стерна з ДП на величину $\beta/3$ (рис.7.4,б), при якій компенсується складова моменту зонні шніх сил, що повільно змінюється. Величина параметра k_1 повинна бути і кою, щоб, по-перше, система була стійкою ($\beta < \beta^*$), а по-друге, щоб в умови хвилювання фільтрувалася повільно змінювана складова від хвильового риб кання ($\beta < 0.2\beta_k$), де ω_k — частота рискання від хвиль ($\omega_k = (0.05-0.2)\text{с}^{-1}$). При стабілізації курсу в різноманітних умовах величина β^* обирається в діапазоні $0-0.1\text{с}^{-1}$. Система стабілізації курсу з нульовою статичною похибкою називається астатичною.

7.3. РІВНЯННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ.

Рівняння руху судна по курсу при його стабілізації з використанням тої § чи іншого закону управління одержується при врахуванні в рівнянні руху судна по курсу збурюючого курс моменту M і керуючого діяння. Коли сії тема стабілізації курсу має П-закон управління $p = -k y$, перекладка стерня при стабілізації пропорційна тільки куту відхилення від курсу, і рівняння еш теми стабілізації курсу має вигляд

$$T_\omega \dot{\omega} \pm \omega = -k_\omega k_\alpha \psi + M'_\omega; \quad (7.2)$$

де $M'_\omega = M/B_\alpha$ — приведений збурюючий момент, знак "плюс" перед m відповідає стійкому, а "мінус" — нестійкому на курсі судну.

.... При розгляді властивостей системи не будемо поки що враховувати вплив збурюючих чинників і подамо її рівняння в вигляді

$$\tau^2 \ddot{\psi} \pm 2\gamma\tau \dot{\psi} + \psi = 0; \quad (7.3)$$

$$\text{де } \psi = \omega; \tau = \sqrt{T_\omega/(k_\omega k_\alpha)}; \gamma = \pm 0.5/\sqrt{T_\omega k_\omega k_\alpha}.$$

, Система з таким диференціальним рівнянням другого порядку стійка, коли всі коефіцієнти рівняння додатні. Таким чином, коли судно нестійке н| курсі, система з приладом регулювання, який виробляє перекладки стерня їй законом $p = -k_\alpha i/2$, є непрацездатною. Тому будемо вважати, що при законі управління $p = -k_\alpha y$ судно є неасимптотично стійким по курсу. В цьому мі падку рівняння (7.3) записується

$$\tau^2 \ddot{\psi} + 2\gamma\tau \dot{\psi} + \psi = 0. \quad (7.4)$$

Рішення цього рівняння при значенні $\gamma < 1$ має наступний вигляд

$$\psi = A_0 \exp\left(-\frac{\gamma}{\tau} t\right) \cos(\omega_b t - \psi_0); \quad (7.5)$$

$$\text{де } \omega_b = \frac{1}{\tau} \sqrt{1 - \gamma^2}.$$

при початковій умові $\psi(0) = -y/a$, $y/y) = ki$, значення постійних у цьому рі шенні будуть наступними:

$$A_0 = \psi_n / \sqrt{1 - \gamma^2}; \psi_0 = \arcsin \gamma.$$

Величина γ називається фактором згасання. Коли $0 < \gamma < 1$, то якщо будь-який чинник викликав відхилення судна від курсу на величину y/y_0 , після припинення дії цього чинника система приходить до заданого курсу, спричиняючи біля нього згасаючі коливання з частотою ω . Коли $\gamma = 0$, система знаходиться на межі стійкості, тобто в цьому випадку, якщо будь-який чинник викликав відхилення судна від курсу на величину y/y_0 , то після припинення дії цього чинника, система робить незгасаючі коливання щодо заданого курсу. Коли $\gamma > 1$, система є непрацездатною, бо при виникненні відхилення від курсу в неї виникають коливання, що посилюються. При $\gamma < 0$, якщо будь-який чинник викликав відхилення судна від курсу, то після припинення дії цього чинника система поволі приходить до заданого курсу за експоненціальним законом. Через малу швидкість такий характер приходу до курсу є небажаним.

Процес зміни регульованої величини при переході системи з одного стану в інший називається перехідним. Відповідно перехідною називається і функція, що описує зміну регульованої величини в цьому процесі. Таким чином, перехідною функцією системи стабілізації курсу з П-регулятором при $\gamma < 1$ є вираз (7.5). Різноманітні види перехідної функції системи стабілізації курсу приведені на рис. 7.5.

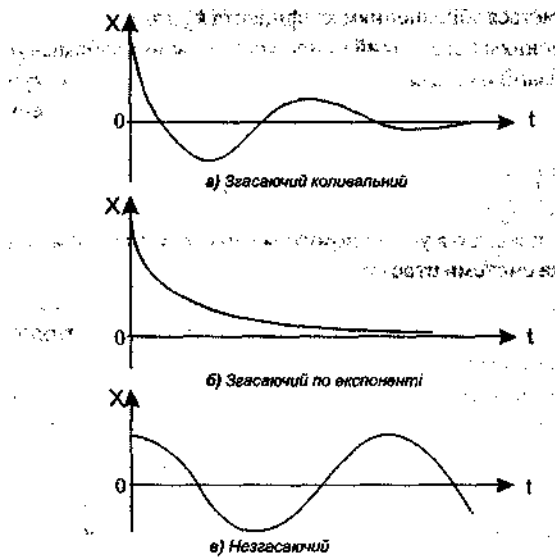


Рис. 7.5. Види перехідних процесів системи.

Як обґрунтовувалося вище, в загальному випадку лінійна модель (6.12,а) задовільно описує рух по курсу тільки в малому діапазоні значень σ_0 і Δ . Для представлення руху з великим діапазоном зміни цих кінематичних параметрів судна вона для більшості суден є надто грубою. Цим пояснюється той факт, що зроблений на основі лінійної моделі висновок про розходження перехідного процесу системи стабілізації нестійкого на курсі судна з П - регулятором не зовсім точний. В дійсності перехідний процес в цьому випадку становить незатухаючі коливання з досить великою амплітудою, що у деяких нестійких суден досягає 20° .

По характеристиках перехідного процесу можна судити про швидкодію і коливання системи. Швидкодія системи визначається часом, витраченим на компенсацію відхилень від курсу, що виникають. Вона має бути достатньо високою, щоб судно значно не відходило від лінії шляху за час, коли курс судна відхилився від розрахункового. Коливання є негативною властивістю систем управління. Коливання, що виникають в системі, повинні швидко згасати. Звичайно по швидкодії і коливаності система стабілізації вважається якісною, коли судно, відхилившись від курсу, приходить до нього достатньо швидко і з малим числом перерегулювань (переходів крізь заданий курс). Звичайні оптимальним у цьому випадку вважається наявність тільки двох-трьох перерегулювань (рис.7.5 а). При використанні тільки П—регулятора досить складно забезпечити задовільнення обох цих вимог, бо вони протилежні: підвищення швидкодії

досягається збільшенням коефіцієнта k_n , а зменшення коливань системи— зменшенням його. Такий прилад регулювання забезпечує задовільну якість стабілізації на судах, що самі по собі добре стійкі на курсі.

Для дослідження впливу на систему стабілізації курсу збурень врахуємо їх в її рівнянні

$$A\ddot{\psi} + \dot{\psi} + C\psi = M'_b; \quad (7.6)$$

$$\text{де } A=T_{\omega}; C=K_{\omega}K_{\alpha}.$$

Звідси випливає, що в усталеному режимі ($\dot{y} = 0; y/ = \backslash; y/ = y/cm$) встановлена похибка системи стабілізації курсу з П—законом управління дорівнює $y/c^{\wedge}=M'_b I(K_{\omega}/y)$, де M'_b — математичне чекання приведенного моменту збурень. Таким чином, система стабілізації курсу з П-регулятором є статичною, тобто має сталу (статичну) похибку в сталому режимі функціонування

Коли система стабілізації курсу має ПД - закон управління $\dot{y} = -\{K y A - K y\}$, то рівняння системи буде наступним

$$T_{\omega}\dot{\omega} \pm \omega = -k_{\omega}(k_{\alpha}\psi + k_{\alpha}\omega) + M'_b. \quad (7.7)$$

Запишемо це рівняння також у вигляді (7.3)

$$\tau^2\ddot{\psi} \pm 2\gamma\tau\dot{\psi} + \psi = 0; \quad (7.8)$$

В цьому випадку коефіцієнти цього рівняння будуть наступними

$$\tau = \sqrt{T_{\omega}/k_{\omega}k_{\alpha}}; \gamma = 0.5(k_{\omega}k_{\alpha} \pm 1)\sqrt{T_{\omega}k_{\omega}k_{\alpha}}. \quad (7.9)$$

Система, що описується таким диференціальним другого порядку рівнянням, є стійкою, коли всі коефіцієнти рівняння додатні. Таким чином, коли судно нестійке на курсі, система з ПД - регулятором є дієздатною, коли $(k_{\alpha}k_{\omega} - 1) > 0$. Звідси випливає: щоб система стабілізації курсу була структурно стійкою, коли судно нестійке на курсі, прилад регулювання курсу повинен містити диференціальну ланку з коефіцієнтом підсилення $k_{\alpha} > 1/k_{\omega}$. Необхідність постійно мати пропорційний y /сигнал при стабілізації курсу викликає певні труднощі в зменшенні реакції стернового приводу на хвильове ристання. Якщо на стійких на курсі судах диференціальна складова приладу регулювання на хвилюванні може бути зменшена до нуля для запобігання частих і великих по амплітуді переключок стерна, то на нестійких на курсі судах це не може бути використано в повній мірі, бо система стане структурно нестійкою. Названа обставина вимагає застосування додаткових заходів для зменшення інтенсивності переключок стерна на хвилюванні, зокрема низькочастотної фільтрації складової ристання і виконання регулювання залежно від параметрів цієї складової.

Порівнюючи П-прилад регулювання з тим, що розглядається, можна відзначити, що в останньому є більш можливостей (підбираючи значення k_{ω} , A_{α}) забезпечити задовільнення вимог до швидкодії і відсутності коливань. Аналіз впливу збурень на систему з ПД - регулятором показує, що вона, як і система з П—регулятором, є статичною.

Коли система стабілізації курсу з ПД-законом управління

$$\beta = -(k_{\alpha}\psi + k_{\alpha}\omega + k_{\alpha} \int \psi dt), \text{ вона має рівняння}$$

$$T_{\omega}\dot{\omega} + \omega = -k_{\omega}(k_{\alpha}\psi + k_{\alpha}\omega + k_{\alpha} \int \psi dt) \quad (7.10)$$

Перетворюючи вираз (7.10), приведем його до вигляду

$$A\ddot{\psi} + B\dot{\psi} + C\psi + D\psi = M'_b, \quad (7.11)$$

$$\text{де } A=T_{\omega}; B=k_{\omega}k_{\alpha}+1; C=k_{\omega}k_{\alpha}; D=k_{\omega}k_{\alpha}.$$

Таким чином, система стабілізації при ПД законі управління може розглядатися як лінійна третього порядку. Така система, згідно з критерієм Вишнеградського, є дієздатною (стійкою), коли всі коефіцієнти рівняння (7.11) додатні і добуток середніх коефіцієнтів більш ніж добуток крайніх. З другої вимоги критерію Вишнеградського

(добуток середніх коефіцієнтів більш добутку крайніх) впливає умова стійкості системи стабілізації курсу

$$\frac{k_n(k_{\omega} k_n \pm 1)}{k_1 T_{\omega}} > k_1 T_{\omega} \quad (7.12)$$

З рівняння (7.11) впливає також, що в сталому режимі роботи (в цьому режимі змін величин не проводиться, тобто вихідні в рівнянні (7.11) приймаються рівними нулю, а $w=w_l$) статична похибка системи (дорівнює нулю, тобто система є астатичною).

7.4. ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСУ.

Зміна умов роботи впливає на якість функціонування системи стабілізації курсу, що обумовлює необхідність її підстройки при експлуатації. По виду настройки розрізняють системи: з ручною настройкою, з частковою адаптацією, адаптивні. Існуючі адаптивні системи стабілізації курсу є в основному самоналагоджуваними. Автоматичні способи пристосування до умов, що змінюються, є надто різноманітними. Існують способи роздільної підстройки до зміни параметричних і координатних збурень і способи, що забезпечують сумісне врахування цих збурень. Значення коефіцієнтів при адаптації може визначатися безпошуковим і пошуковим способом. Розрізняють адаптацію з застосуванням моделі об'єкта і адаптацію без моделі. Використані є прилади регулювання моделі можуть бути різноманітних видів: лінійні і нелінійні; алгебраїчні, диференціальні, різничні. Ці моделі можуть застосовуватися: для прогнозу процесу, для розрахунку за їх параметрами коефіцієнтні приладу регулювання, для одержання значень важкодоступних вимірювань змінних об'єкта, для моделювання "еталонної" реакції об'єкта. Параметри моделі в процесі адаптації можуть залишатися незмінними, оцінюватися теоретично за даними про параметричні збурення, ідентифікуватися в режимі роботи чи в спеціальному режимі.

Залежно від числа етапів настройка приладу регулювання може бути одноетапною, двохетапною (грубою і точною), багатаетапною. По виду розрахунку коефіцієнтів розрізняють адаптацію аналітичну і чисельну.

Система стабілізації повинна забезпечувати високу точність утримання судна на курсі раціональними переключками стерна, з мінімумом витрат палива, з малим зносом матеріальної частини стернової машини і з малою витратою електроенергії на переключки стерна. При визначенні такої системи застосовують декілька критеріїв якості. При тихій погоді, зокрема, управління вважається оптимальним, коли відхилення від курсу мінімальні і перехідний процес системи швидко затухає, але в загальному випадку при характеристиці якості стабілізації враховується і величина переключок стерна. Нормовано, що величина зміни відносного опору води руху судна за рахунок ризику і кутів переключки стерна приблизно може прийматися рівною

$$\Delta R/R = C_1(\sigma_{\psi}^2 + C_2\sigma_{\beta}^2); \quad (7.13)$$

де a_{ψ} — СКВ ризику; a_{β} — СКВ кутів переключки стерна; C_1, C_2 — коефіцієнти пропорційності, залежні від типу судна і умов його експлуатації

Тому найбільш часто критерієм якості стабілізації курсу є квадратичний

$$I = \sigma_{\psi}^2 + \lambda_1 \sigma_{\beta}^2 = \min. \quad (7.14)$$

функціонал [2]

Значення вагового коефіцієнта λ_1 , в основному залежить від типу судна, його завантаження, швидкості ходу і може бути знайдено за отриманою і

Нормованою формулою. Застосовується при синтезі систем стабілізації курсу і критерій, запропонований Т.Койямою

$$I = \sigma_{\psi}^2 + \lambda_1 \sigma_{\beta}^2 + \lambda_2 \sigma_{a\psi}^2 = \min; \quad (7.15)$$

де a_{ψ} — СКВ кутової швидкості ризику судна; λ_1, λ_2 — вагові коефіцієнти.

Значення Y_1 , Y_2 розраховуються за формулами Т.Койями за даними про судно, його швидкість і завантаження.

З іншими використаними критеріями якості стабілізації курсу можна познайомитися в літературі [2,24,27]. Треба визначити, що в сучасних системах стабілізації курсу при розрахунку вагових коефіцієнтів враховується і їх залежність від вимог до точності судноводіння.

Крім середнеквадратичних критеріїв якість стабілізації курсу визначається і рівнем статичної похибки. В цьому відношенні звичайно висувається вимога структурного астатизма, тобто дорівнювання нулю статичної похибки курсу при будь-яких можливих значеннях складової моменту зовнішніх сил, що змінюється поволі.

Фільтрація хвильової складової рискання забезпечується на вході або виході приладу регулювання. В сучасних авторульових для цієї цілі використовуються електронні цифрові чи аналогові фільтри. Із них найбільше розповсюдження одержали інерційна ланка і фільтр Калмана. В фільтрі, яким є інерційна ланка, вхідний сигнал X пов'язаний з вихідним Y співвідношенням

$$T_{\phi} \dot{Y} + Y = X;$$

де T_{ϕ} — постійна часу фільтра, яка підстроюється. На виході такого фільтра амплітуда хвильової складової, що має переважну частоту ω , послаблюється в n раз:

$$n = 1 / \sqrt{(1 - \omega^2 T_{\phi}^2)}.$$

є інерційна ланка, вхідний сигнал X пов'язаний з вихідним Y співвідношенням

Більш досконалим при послабленні хвильової складової рискання є фільтр Калмана. У приладі регулювання курсу він служить для одержання розділних оцінок низькочастотного y_w і хвильового y_g рискання. Процес фільтрації за Калманом включає операцію прогнозування величин, що оцінюються. Прогноз y_w одержується за прогнозами керованого руху і низькочастотного відхилення від курсу під дією збурень. Перша складова прогнозується з допомогою моделі динаміки судна. Прогнозування низькочастотного відхилення від курсу і хвильового рискання виконується за допомогою їх моделей, якими звичайно служать формуючі прилади. Формуючий прилад — це динамічна ланка (або її модель), яка з похибки типу білого шуму утворює випадковий процес з певними статистичними характеристиками, в даному випадку — з характеристиками низькочастотного і хвильового відхилення від курсу. Адаптивний фільтр Калмана — це фільтр, в якому за даними спостережень за процесом фільтрації при різних умовах експлуатації системи визначаються відповідні цим умовам параме

три моделей об'єкта і збурень, а після цього по них знаходяться параметри фільтра, при яких забезпечується найкраща якість фільтрації.

Аналітичні способи автоматичної настройки коефіцієнтів по апріорно визначеній залежності їх від параметрів збурень засновані на використанні залежності, що зв'язує значення коефіцієнтів закону регулювання і параметри збурень. Названу залежність одержують на підставі теоретичних і спеціальних експериментальних досліджень системи на головних представниках серій суден. Таким способом частіше всього компенсуються параметричні збурення: зміна швидкості ходу, глибини на мілководді, завантаження. Названий метод застосовується, хоч і рідко, для зменшення впливу на перекидки стерна хвильової складової рискання. Так, в авторульовому А8АР-II (Швеція, фірма АТЕ\У) за допомогою двокоординатного датчика кутової швидкості вимірюється швидкість рискання і бортового хитання, заданими вимірювань одержують середнє квадратичне значення суми цих величин і залежно від цієї величини змінюються коефіцієнти закону регулювання. Основною перевагою цього методу є швидкість пе-

ребудови приладу регулювання. Обмеження в його застосуванні пов'язані з труднощами одержання залежності, що зв'язує коефіцієнти закону регулювання зі значеннями збурень.

Аналітичні методи оптимізації приладу регулювання запараметрами моделі судна полягають у знаходженні коефіцієнтів приладу регулювання залежно від параметрів моделі судна, які оцінюються при зміні умов експлуатації теоретично або експериментально. Один із них використовується при визначенні коефіцієнтів ПД-регулятора курсу в автотоматизованих системах "Бірюза" і "Панорама". При рішенні завдання модель судна обрана у вигляді (6.12,а), а критерій якості — (7.14). Коефіцієнти вираховуються за введеними вручну значеннями T , K , L за наступною методикою. Для забезпечення заданого співвідношення між дисперсіями (вважається, що хвильова складова рихання відсутня і частота рихання мала) коефіцієнт K_n приймається рівним $1/A$. Якісною стабілізація може вважатися тоді, коли система має задовільний (швидко згасаючий) перехідний процес. Коефіцієнт K , при якому перехідний процес має такий характер, розраховується за формулою

$$k_d = (\sqrt{1 + 2k_\omega T_\omega / \lambda \pm 1}) / k_\omega; \quad (7.16)$$

де знак $-$ відповідає неасимптотично стійкому, а $+$ — нестійкому на курсі об'єкту управління.

Коефіцієнт інтегральної складової вибирається таким, щоб забезпечувалася

$$k_i < k_d (k_\omega k_d \mp 1) / T_\omega. \quad (7.17)$$

стійкість системи

не можна спостерегти, при розрахунку коефіцієнтів в даному випадку не враховуються швидкість перекладки стерна, характер збурень в русі по

курсу, нелінійність об'єкта. При більш досконалих, ніж (6.12,а) моделях об'єкта управління, аналітичні способи оптимізації приладу регулювання ускладнені, перевагу в цьому випадку мають чисельні способи. Оцінка параметрів моделі судна для конкретних умов при такому аналітичному методі може бути різноманітною: близькою теоретичній, або з використанням спеціального режиму руху, наприклад, зигзагу Кемпфа, з малими відхиленнями (порядку 10°) від заданого курсу, або шляхом спостережень деяких перехідних процесів при підправленнях курсу на величину 10° праворуч і ліворуч в автоматичному режимі.

При чисельних методах оптимізації регулятора модель системи, що включає модель об'єкта управління, виконавчих механізмів, приладу регулювання і збурень, може бути як лінійною, так і нелінійною. Щодо об'єкта управління, то тут перевагу можна віддати нелінійній моделі (6.24), для якої є теоретичний апарат урахування впливу на рух судна завантаження, швидкості ходу, мілководдя, повітря, хвилювання. На основі цієї моделі одержується імітаційна модель процесу стабілізації курсу, за якою методом пошуку знаходяться найкращі для умов, які задаються, значення параметрів закону регулювання. Наприклад, якщо вимагається на тихій воді для певного завантаження, швидкості ходу і глибини під кілем обрати коефіцієнти регулятора (7.1), що забезпечують задовільний перехідний процес, рішення виробляється таким чином. Теоретично з урахуванням заданих параметричних збурень визначаються параметри імітаційної моделі судна, якщо об'єкт стійкий, коефіцієнти приладу регулювання K , K_i приймаються рівними нулю і з різними значеннями K_d в прискореному часі моделюються перехідні процеси системи, із значень K_d вибирається найбільше, при якому перехідний процес є задовільним, після цього шляхом пошуку знаходиться значення K , при якому перехідний процес швидко затухає. Стратегії пошуку значень названих коефіцієнтів вибираються такими, при яких час одержання результату мінімальний. При оптимізації за іншими критеріями якості шлях знаходження рішення аналогічний.

Успішність рішення задачі оптимізації методом пошуку за моделлю залежить від адекватності імітаційної моделі реальному процесу. В наш час у цій області є ще ряд проблем, що не дозволяють в усіх випадках одержувати задовільне рішення. Істотним

чинником є також і час одержання рішення, бо пошук чисельним способом за імітаційною моделлю пов'язаний з проведенням великого числа розрахунків. *Методи пошуку в реальному процесі оптимальних значень параметрів регулятора* полягають у пошуці параметрів регулятора безпосередньо за спостереженнями процесу стабілізації в реальних умовах. В цьому випадку при наявності хвильового ризику визначаються його характеристики і параметри фільтра, що виключає їх як завади. Після цього виробляються невеликі зміни параметрів регулятора і аналізується їх вплив на критерій якості, оцінка якого виробляється за спостереженнями. За кінцеві приймаються значення

параметрів, при яких значення критерію якості мінімальне. Досвід експлуатації адаптивних авторульових показує, що такий пошук займає порядка 15—20 хвилин. Найбільш расповсюдженими методами пошуку рішень є: пошук шляхом перебору, метод понадшвидкого спуску і релаксаційний метод [24].

Методом оптимізації приладу регулювання за моделлю-еталоном при тихій погоді можливо підстроювати коефіцієнт K закону управління (7.1) Принцип підстройки полягає в наступному. Припустимо для певного завап таження і швидкості ходу знайдені параметри моделі судна (6.12,а) і коефіцієнти закону стабілізації, що забезпечують бажану якісь перехідного процесу. Підставим вираз для ψ в (6.12,а) і одержане внаслідок рівняння представимо як модель- еталон системи з вхідним сигналом

$$\beta_m = -k_\psi \psi;$$

$$T_M \dot{\omega} + \omega = k_M \beta_m$$

де $T_M = T_\omega / (\pm 1 + k_\omega k_{MД}); k_M = k_\omega / (\pm 1 + k_\omega k_{MД})$.

Сигнал ρ_m буде подаватися на цю модель в процесі управління'. Сигнал управління, що подається на реальний об'єкт, обирається у вигляді

$$\beta = -(k_\lambda \psi + k_\delta \dot{\psi});$$

$$\text{де } k_\delta = k_{MД} + r(\omega - \omega_M), \dot{\psi} = \omega.$$

В цих виразах a_u кутова швидкість, яка одержується за моделлю-етало ном як реакція на ρ_m ; а m — кутова швидкість реального об'єкта, що вимірю ється. Якщо реакція реального об'єкта на сигнал β і моделі — еталону m сигнал B однакові, то $k = k$. При зміні завантаження і швидкості ходу динам і

$$\begin{matrix} M & D & MD & * & * \wedge \end{matrix}$$

чні властивості судна змінюються, що впливає на міру стійкості судна на кур сі. При зменшенні стійкості на курсі швидкість перехідного процесу юзросли (відповідно при збільшенні стійкості зменшується) у порівнянні з a . Ці приводить до зміни k в напрямі компенсації зміни міри стійкості системи і, як наслідок, до зменшення різниці між a і a_u .

Комбінований метод оптимізації системи припускає декілька етапів на строювання, на кожному з яких застосовуються різні методи адаптації. Наприк лад, за допомогою розрахункових методів можуть визначатися близькі значення параметрів фільтра і регулятора. Після цього засобом пошуку за реальним про цесом ці значення уточнюються. В цьому випадку підвищується точність розр;ї хункового способу і зменшується час одержання результату при пошуці.

7.5. АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ КУРСОМ НА ПОВОРОТІ

В задачах управління рухом судна на повороті, на відміну від плавання по заданій криволінійній траєкторії, накладені вимоги не на лінію шляху, а тіл ьк 11 на один чи декілька її параметрів. Траєкторія тут є залежним елементом від способа повороту. Найбільш часто вимагається виконувати повороти без істо тного падіння швидкості ходу або з певним радіусом (виходячи з приблизної уявлення про лінію шляху на повороті як дуги кола). Виконання цих вимог при ручному управлінні зводиться до завдання для повороту певної перекладки стерна, в першому випадку малої, а в другому — відповідної заданому радіусу. Зрідка повороти вимагається виконувати з максимальною швидкістю.

Алгоритми автоматичного виконання поворотів можуть бути поділені на: алгоритми, засновані повністю або частково на методі слідкування за зміною курсу, що задається; і алгоритми, які базуються на розділенні управління на програмне і коректурне.

АЛГОРИТМИ, ЗАСНОВАНІ НА МЕТОДІ СЛІДКУВАННЯ ЗА ЗАДАНИМ КУРСОМ. Найбільш часто алгоритми автоматичного управління курсом на повороті базуються повністю або частково на методі слідкування за зміною програмного курсу, що задається, $K_n(t)$ за пропорційно-диференціальним законом управління:

$$\beta = -(k_{\Delta} \psi + k_{\Delta} \dot{\psi}); \quad (7.18)$$

де $\psi = K(t) - K_n(t)$.

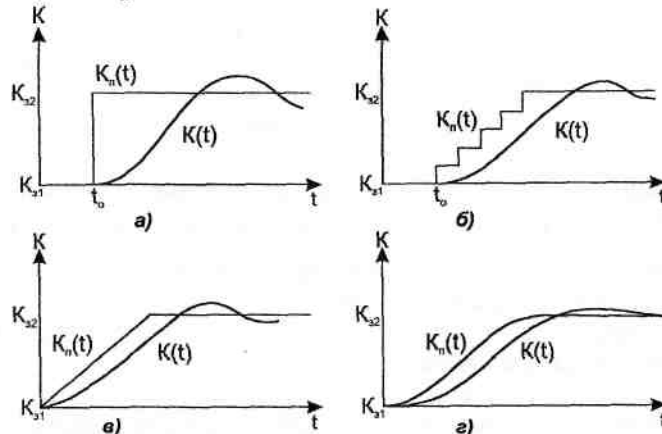


Рис. 7.6. Характеристика поворотів методом слідкування за програмним курсом

До таких методів відносяться: поворот слідкуванням за зміною курсу стрибком; поворот слідкуванням за східчастою зміною курсу; поворот слідкуванням за зміною курсу з заданим значенням кутової швидкості і інші. На рис. 7.6 представлені графіки зміни заданого курсу і дійсного при реалізації методу слідкування: а) за зміною програмного курсу стрибком; б) за східчастою зміною програмного курсу; в) за зміною програмного курсу з заданою кутовою швидкістю; г) за зміною програмного курсу з заданою кутовою швидкістю з урахуванням заданого прискорення на початку повороту і при підході до нового курсу.

Схема роботи авторульового в режимі виконання поворотів методом слідкування характеризується рис. 7.7. На схемі $K_n(t)$ — програма зміни заданого курсу.

При повороті слідкуванням за зміною програмного курсу стрибком значення програмного курсу від старого K до нового K в момент початку повороту i_n змінюється стрибком (при $i_n K_n(i) = K^{\wedge}$, при $1 > i_n K_n(i) = K_{\text{ж}}$). Таке задання курсу здійснюється в багатьох авторульових (режим градусної поправки). Стрибок є одним із несприятливих для системи вхідних діянь, тому зміна курсу цим методом є небажаною.

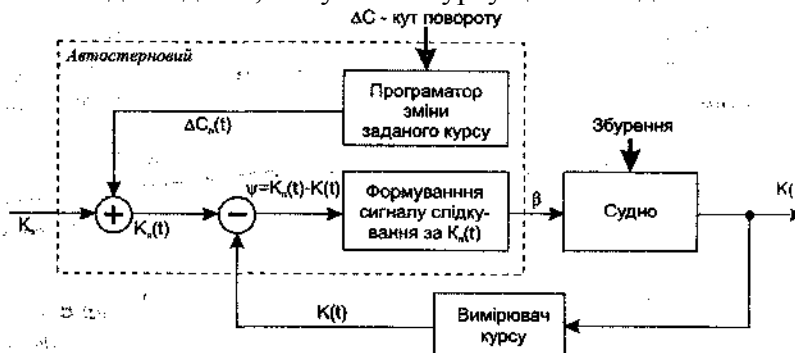


Рис. 7.7. Принципова схема роботи авторульового в режимі виконання повороту (методом слідкування за зміною заданого курсу)

при повороті опонуванням за східчастою зміною програмного курсу зміна програмного курсу від старого до нового задається через певний інтервал часу малими порціями, що полегшує режим роботи системи у порівнянні з попереднім методом.

При повороті слідкуванню за зміною програмного курсу з заданим значенням кутової швидкості в процесі повороту програмний курс змінюється від старого до нового значення з заданим значенням кутової швидкості ω

$$K_n(t) = K_{\text{ст}} + \omega t; \quad (7.19)$$

і здійснюється слідкування за $K_n(t)$ за пропорційно-диференціальним законом (7.18), в якому треба приймати $y = K_n(t) - K(w)$; $w = a_{\text{ст}} - K(I)$.

Поворот слідкуванню за заданою кривизною траєкторії (Поворот із заданим радіусом циркуляції). Треба зазначити, що при різних швидкостях ходу в попередньому методі одному значенню ω відповідні неоднакова кривизна траєкторії. Щоб кривизна траєкторії не залежала від швидкості ходу, може використовуватися слідкування за програмним курсом, який змінюється з однаковим значенням безрозмірної кутової швидкості

$$K_n(t) = K_{\text{ст}} + \Omega_3 V_{\text{ст}} t / L_{\text{ст}} = K_{\text{ст}} + V_{\text{ст}} t / R_3$$

Тому що кривизна траєкторії приблизно дорівнює $K = w / \dot{x}$, цей метод називається поворотом слідкуванню за заданою кривизною траєкторії.

При повороті із заданим кутом стерня для розгону по куту курсу використовується задана перекладка стерня, а для одержання — метод слідкуванню за новим значенням курсу. Цей поворот виконується у відповідності з алгоритмом

$$\beta = \text{sgn}(\Delta C) \beta_3; u = k_{\text{н}} \psi + k_{\text{д}} \dot{\psi};$$

$$\text{якщо } \text{sgn}(\Delta C) u < G, \text{ то } \beta = u,$$

де $\Delta C = K_{31} - K_{3I}$, G — граничне значення, що визначає перехід на метод слідкуванню.

Згідно з приведеним алгоритмом поворот здійснюється таким чином. В

момент початку повороту стерно встановлюється на заданий кут Δ . В процесі повороту вираховується u і перевіряється виконання нерівності $H(\Delta C) u < C$. При підході до нового курсу величина u стає менш G і в цей момент виконується перехід на метод слідкуванню за новим курсом.

Перед поворотом потрібно визначити, на якій відстані від точки пересічення нової лінії шляху з старою треба почати поворот. При використанні поворотів методом слідкуванню звичайно таке визначення проводиться спрощено, коли траєкторія повороту розглядається як сукупність двох ділянок: прямолінійної, яка враховує інерційність системи на початку повороту, і дуги кола. Величина прямолінійної ділянки і радіус дуги кола визначаються в залежності від заданого способу повороту.

АЛГОРИТМИ, ЩО БАЗУЮТЬСЯ НА РОЗДІЛЕННІ УПРАВЛІННЯ. Важливою умовою безпеки автоматичного виконання поворотів є можливість їх планування з визначенням програмного управління, траєкторії і інших елементів, а також з забезпеченням необхідного резерву керуючих діянь для компенсації збурень в процесі виконання маневру. В цьому випадку досягається висока точність виконання поворотів за рахунок комбінації програмного $P_n(i)$ і коректурного pp) управління. Схема роботи авторульового при виконанні поворотів таким способом показана на рис. 7.8. На схемі $AC_n(t)$ — зміна курсу судна, відповідна програмному сигналу $P_n(i)$ при відсутності збурень.

Програмна складова управління, що забезпечує необхідну зміну курсу при відсутності збурень або при гіпотетично заданих детермінованих збуреннях, розраховується до виконання повороту різноманітними способами, що характеризуються нижче.

Коли застосовують аналітичні методи, розрахунок програмної складової управління стерном для здійснення повороту необхідним чином може бути виконаний тільки при простих моделях судна як об'єкта управління. Як приклад такого розрахунку вкажемо знаходження оптимального по швид

кості управління для виконання повороту на заданий кут, що розглянути в [2], і приведемо аналітичний розрахунок програмного управління для цього виконання

повороту мінімальним числом переключень стерна, в якому необхідно знайти програмне управління для зміни курсу на кут ΔC двома переключеннями стерна (для розгону по куту курсу β , для одержування $-\beta$). коли модель судна (6.12), а переключення стерна вважаються миттєвими. Розрахунок програмного управління в цьому випадку зводиться до рішення рівняння

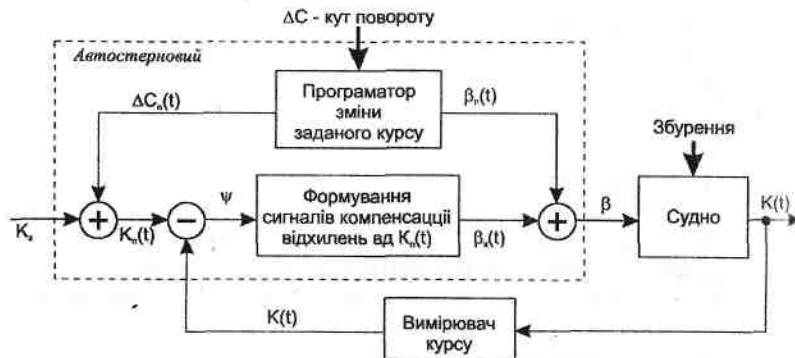


Рис. 7.8. Принципова схема роботи автостернового в режимі виконання повороту (методом комбінування програмного і коректурного управління)

$$X + m^{-1} \ln[(1-m) + m \exp(-x)] - G = 0; \quad (7.22)$$

$$\text{де } m = \beta_p / \beta_r, \quad G = \Delta C / (k_\omega T_\omega \beta_r). \quad (7.21)$$

Значення X із рівняння знаходиться за методом Ньютона і після цього зі ним визначається кут ΔC , після повороту на який стерно слід переключити з β на $-\beta$;

$$\Delta C_p = k_\omega T_\omega \beta_r [x - 1 + \exp(-x)]. \quad (7.22)$$

Для розрахунку програмного управління на повороті лінійні спрощені моделі є грубими, тому на практиці використовуються методи, при яких об'єкт описується спрощеними нелінійним диференціальним рівнянням виду

$$T_\omega \dot{\omega} + H(\omega) = k_\omega \beta, \quad (7.23)$$

де $H(\omega)$ — нелінійна функція, вид і значення якої визначаються статистичною характеристикою керованості судна (рис. 6.1).

Згідно з теоремою А.А.Фельдбаума про "п-інтервали" алгоритм управління лінійним стерном при повороті на заданий кут з максимальною швидкістю склалася із трьох інтервалів управління (рис. 7.9): t_p — "розгону" судна по куту курсу до певного значення кутової швидкості ω_n , t_n — руху з постійною кутовою швидкістю ω_n , t_r — "гальмування".

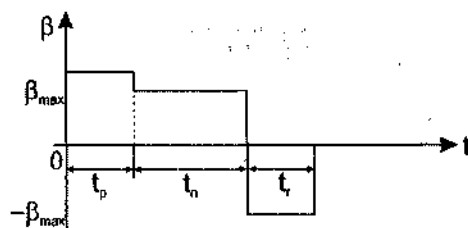


Рис. 7.9. Алгоритм управління стерном при повороті

При визначенні моментів переключення керуючого дію в нелінійній оптимальній по швидкості комбінованій САУ судна при повороті використовується чисельний спосіб рішення рівняння (7.23). Метод комбінованого управління дозволяє поєднувати високі вимоги до точності і умови оптимальності по швидкості з умовами стійкості замкнутого контура управління. Функціональна схема комбінованої САУ курсом судна представлена на рис. 7.10.

МЕТОД ПОШУКУ ПО ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГНОЗУЄМОГО УПРАВЛІННЯ ПО ВІДХИЛЕННЮ. Припустимо, що в умовах вітру на мілководді необхідно обрати програмне управління для здійснення повороту на кут AC з заданим радіусом циркуляції. Припускається, що достатньо доброю є імітаційна нелінійна модель судна, яка враховує швидкість перекладки стерна, вплив мілководдя і повітря на рух судна. Для рішення задачі обирається поворот методом слідування. По імітаційній моделі при використанні цього методу з різноманітними значеннями заданого параметра знаходяться реалізації процесу зміни курсу (траєкторія, значення курсу і перекладки стерна). Із цих реалізацій обирається та, для якої кривизна траєкторії відповідає заданій. Відповідно цій реалізації значення параметрів траєкторії вважаються програмними, а значення перекладки стерна становлять програмне управління.

КОРЕКТУРНА СКЛАДОВА УПРАВЛІННЯ. При автоматичному управлінні рухом за алгоритмами, заснованими на розділенні управління, розрізняють наступні види коректурного управління: по курсу, по шляховому куту, по боковому зміщенню. При виконанні повороту за цими алгоритмами програмний сигнал $\gamma_n(t)$ подається на гтерновий привід, викликає необхідну перекладку стерна і відповідну зміну параметрів руху судна. Одночасно $\beta_n(t)$ поступає на математичну модель судна і вона в реальному масштабі часу виробляє програмні значення регульованої величини як реакцію на $\gamma_n(t)$. Можливо використання і іншого методу одержання програмних значень регульованої величини, наприклад, вони можуть просто запам'ятовуватися при розрахунку програмного управління. Через вплив в процесі повороту збурень на рух судна його реакція на програмний сигнал буде відрізнятися від програмної. Для компенсації виникаючих відхилень виробляється сигнал корекції, який забезпечує зміну регульованої величини в відповідності з програмою.

При коректурному управлінні по курсу виробляється регулювання (7.18), в якому $y = K_n(t) - K(t)$; $u = a_n(t) - a(t)$. Тут $K_n(t)$, $a_n(t)$ — програмні значення курсу і кутової швидкості; $K(t)$ — поточний курс, що вимірюється ГК; $a(t)$ — поточне значення кутової швидкості, що вимірюється гіротахометром. Коректор програмного управління оперує тільки з малими відхиленнями від програмних значень курсу, викликаних випадковими відхиленнями, тому в ньому значення коефіцієнтів k_n , k можуть братися рівними значенням k_n , k , використаним при стабілізації курсу.

При коректурному управлінні по шляховому куту $\gamma_n(t)$ виробляється за ПД-законом регулювання (7.18), в якому $y = PY_n(t) - PY(t)$; $u = a_n(t) - a(t)$. Тут $PY_n(t)$ — програмне значення шляхового кута, $PY(t)$ — поточний шляховий кут, що одержується за інформацією ГК і абсолютного лага.

При коректурному управлінні по боковому зміщенню $\beta_n(t)$ виробляється пропорційним відхиленню центру маси судна від програмної траєкторії, бо швидкість зміни бокового зміщення поки що важко оцінити достатньо точно. Бокове відхилення від програмної траєкторії одержується за даними обсервацій, що виконуються АСН.

7.6. ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ НА ПОВОРОТІ.

Повороти в практиці судноводіння потрібно виконувати по різному, тому і критерії якості виконання цих операцій різні в різноманітних умовах. Найбільш розповсюдженими із цих критеріїв є критерії: максимуму кутової швидкості при мінімумі втрат швидкості ходу, мінімуму відхилень від запланованої траєкторії повороту при мінімальній роботі стерном, оптимального за швидкістю. Першочерговим для підвищення точності автоматичного виконання поворотів є поліпшення розрахунку траєкторії повороту і відстані до точки пересіченні і я курсів, в якій слід почати поворот, щоб точно вийти на

лінію нового курсу. Найбільш точно рішення цих задач одержується моделюванням в прискореному часі по імітаційній моделі процесів зміни курсу на заданий кут ΔC . При моделюванні прямокутні координати X_a , Y_a точки початку повороту (позначимо її A , рис. 7.11) приймаються рівними нулю. В процесі моделювання розраховуються координати точок траєкторії і інші її елементи з моменту початку повороту до початку встановленого руху на новому курсі: запам'ятовуються координати точки $C(X, Y)$, коли шляховий кут дорівнює $\Delta C/2$, і точки $B(X, Y_p)$, коли судно вперше вийшло на новий курс, оцінюється величина перерегулювання, за значеннями L_C, X, Y вираховується відстань від точки A до точки радіус повороту оцінюється по відстані між точками C і B поєднання ліній косинусів P і синусів. / між точками P і Y

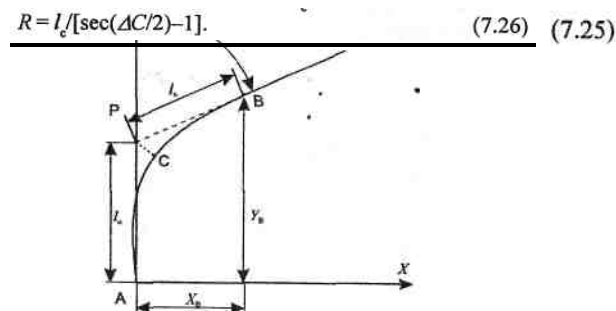


Рис. 7.11. До розрахунку траєкторії повороту

Величина L_c може використовуватися для задання кривизни траєкторії повороту. Якщо при заданих умовах вимагається при використанні будь якого методу повороту, наприклад з b_3 , змінити курс так, щоб L_c було не більше допустимої величини при мінімальному падінні швидкості ходу, то пошук необхідного значення L_c виробляється моделюванням в прискореному часі поворотів з різними значеннями b_3 . За пошукове береться те L_c , при якому L_c дорівнює допустимому значенню.

В разі руху судна на заданій траєкторії при розрахунку повороту необхідно враховувати також величину зміщення K судна з лінії шляху на початку повороту (рис.7.12).

$$\text{Тут } R = \frac{\Phi + Y}{1 - \cos \Delta C}; \quad (7.27)$$

Як видно з рисунку, щоб точно вийти на новий відрізок шляху, поворот слід починати на відстані L_a до точки пересічення нового курсу з старим курсом (курси проходять через центр маси судна).

$$L_a = V_c \tau_c + \frac{\Phi + Y(1 - \cos \Delta C)}{\sin \Delta C}; \quad (7.28)$$

де L_a — сумарний час запізнення реакції судна на кладку руля

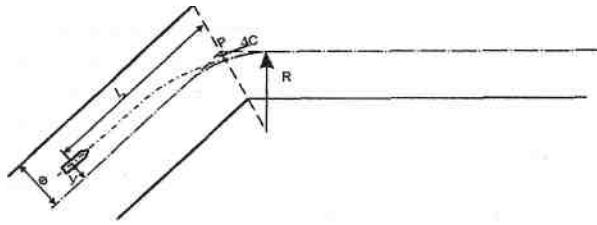


Рис. 7.12. Положення судна перед поворотом.

Якщо при автоматичному виконанні поворотів використовуються методи слідування за зміною заданого курсу, на погіршення якості виконання поворотів впливає наявність стрибків як в зміні заданого курсу, так і в заданій кутовій швидкості. Тому при формуванні програм зміни курсу при використанні методів повороту з "заданою кутовою швидкістю" або "з заданою кривизною траєкторії" потрібно враховувати кутове прискорення на початку повороту і при підході до нового курсу (рис.7.6,г).

При зменшенні швидкості ходу, збільшенні завантаження і на мілководді змінюється динаміка судна, внаслідок чого при поворотах методом слідування може стати великим перерегулювання курсу, а отже, і викликане ним бокове зміщення з лінії шляху. Крім того, для різної кутової швидкості при постійному коефіцієнті k якість слідування може виявитися різноманітною і навіть поганою (особливо, коли судно як об'єкт управління стає нестійким на курсі). Для забезпечення інваріантності до швидкості ходу при автоматичному виконанні поворотів достатньо організувати управління по безрозмірній кутовій швидкості. Щоб компенсувати зміну якості слідування за заданим курсом для нестійкого на курсі судна при зміні кутової швидкості повороту, необхідно змінювати коефіцієнт k в пропорційно диференціальному законі слідування залежно від величини кутової швидкості. Це завдання може бути виконане або по апріорно обраній залежності що дозволить по значеннях збурюючих чинників розраховувати значення K_0 , або пошуком по імітаційній моделі системи, або підстройкою по моді лі-еталону.

Потрібно визначити, що при зменшенні перерегулювання шляхом збілі, шення коефіцієнта диференціальної ланки росте час повороту. Якщо це небажано, то компроміс може бути знайдений використанням k , величин і якого при малих відхиленнях від нового курсу більша, ніж при великих.

Ряд суден, наприклад контейнеровози, інколи мають після завантаження і и малу метацентричну висоту, і для них повороти з великою кутовою швидкістю можуть супроводжуватися чималим креном, при якому виникає небезі іс ка зміщення вантажу. В сучасних авторульових, призначених для таких суден перед поворотом розраховується очікуваний кут крену, і, якщо він більший допустимого, накладається обмеження (на кладку стерна чи задану куту і ц швидкість), яке виключає можливість виникнення небезпечної ситуації.

Для суден з Великою парусністю, у яких при стабілізації курсу в умові к вітру виникає достатньо велике зміщення середнього положення стерна, вс личину цього зміщення бажано попередньо обчислювати автоматично для нового курсу перед поворотом (заданими про вітер) і вводити у вигляді помп ткового значення інтегральної складової при переході на новий курс. Це вже робиться в ряді авторульових для парусних суден.

7.7. АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ БОКОВИМ ЗМІЩЕННЯМ НА ВІДРІЗКАХ МАРШРУТУ.

Відповідно до ієрархічного принципу побудови АСУД задача управління рухом на траєкторії поділяється на задачу управління курсом, яка поклади ється на підсистему управління курсом і може вирішуватися автономно, і задачу корекції цієї підсистеми по боковому зміщенню. Остання задача вш« і яується приладом корекції, який виробляє курсові поправки для утриманий центра маси судна на заданій лінії шляху.

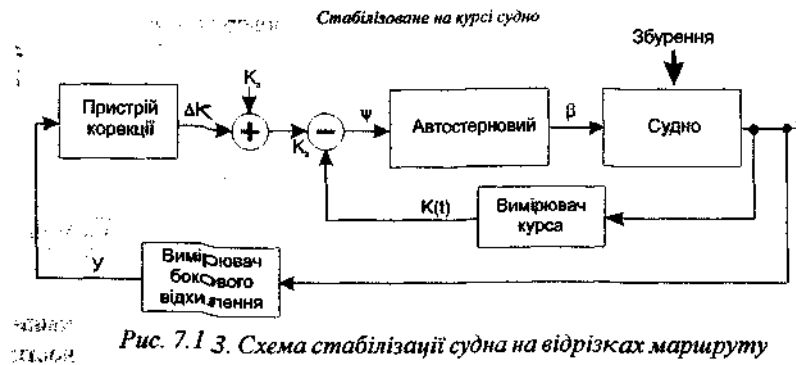


Рис. 7.13. Схема стабілізації судна на відрізках маршруту

ЗАДАЧА СТАБІЛІЗАЦІЇ СУДНА НА ПРЯМОЛІНІЙНИХ ВІДРІЗКАХ ТРАЄКТОРІЇ поділяється на стабілізацію курсу і корекцію підсистеми кутової стабілізації. Система управління рухом у такому випадку є двоконтурною (рис.7.13). Задача корекції полягає в виробітку курсових поправок β в залежності від відхилень Y судна від маршруту. Бокове відхилення судна від маршруту знаходиться за допомогою засобів обсервацій: автоматизованих прийомоіндикаторів СНС "ГЛОНАСС" та "Навстар", РНС "Декка" або "Лоран-С", РЛС або шляхом сумісної обробки інформації цих засобів.

Управління курсом і боковим зміщенням при стабілізації судна на лінії шляху залежить від необхідної точності судноводіння і може визначатися особливостями району плавання. Вимоги до стабілізації курсу слабко залежать від району плавання, тому для її підстройки за цим чинником в сучасних АСУР звичайно використовується тільки два режими: "відкрите море" і "стиснені води". Для підстройки управління боковим зміщенням до необхідної точності введення двох режимів недостатньо, бажано мати їх по крайній мірі 5, наприклад, як в табл.3.1. Ці режими в загальному випадку можуть визначати і один із двох режимів стабілізації курсу

Ряд навігаційних засобів, за допомогою яких на судні вимірюється відхилення від лінії шляху, дозволяють виконувати цю операцію практично безупинно. Це створює можливість практично безупинного корегування системи кутової стабілізації, що вважається інколи найбільш ефективним. Але це не зовсім вірно з наступних причин. По-перше, в районах, в яких допустиме автоматичне управління боковим зміщенням, для досягнення необхідної точності судноводіння не обов'язкові безупинні корегування курсу. По-друге, враховуючи інерційність системи стабілізації курсу і обмежену точність вимірювання бокового відхилення, легко довести, що дискретні корегування по точності не гірш безупинних, якщо правильно обраний їх інтервал. По третє, дискретні корегування краще безупинних меншим впливом на якість стабілізації курсу. Крім того, треба визначити, що не всі засоби обсервацій дозволяють безупинно визначати місце судна. Звідси випливає, що в загальному випадку система управління боковим зміщенням повинна розглядатися як дискретна, в якій інтервал корегування курсу може бути рівним інтервалу між обсерваціями або перевищувати його в декілька разів.

Інтервал часу між корегуванням курсу визначається, виходячи з вимог до точності судноводіння в районі плавання і даних про точність вимірювання в ньому бокового зміщення за допомогою існуючих судових засобів. Якщо виходити із припущення про виконання вимог до точності навігації в районах, де буде вироблятися автоматичне управління боковим зміщенням, то інтервал корегування може бути встановлений тільки по району плавання. В цьому випадку можуть бути обрані, наприклад, наступні інтервали корегування курсу для приведених в табл.3.1 районів: для СВ(1)— $DT=1$ хв., СВ(2)— $AT=2$ хв., ПВ(1)— $AT=5$ хв., ПВ(2)— $AT=10$ хв., ВМ— $AT=30$ хв.

Параметри m, a_2 визначаються ваговим множником A . Вони знаходяться за коренями p_1, p_2 (дійсними чи комплексними, в обох випадках за модулем меншими одиниці) рівняння

$$p^4 - 4p^3 + (6 + 1/\Lambda)p^2 - 4p + 1 = 0. \quad (7.33)$$

Значення $e > 0$ рівне сумі p_1, p_2 , а значення $a > 2$ — добутку.

Приклад 2. Модель об'єкта (6.17). Корегування проводяться через інтервал часу AT_k за результатами обсервацій, похибка яких є білим шумом і дисперсією сг. СКВ поперечного знесення судна за інтервал AT_k в даному районі оцінюється величиною a_c . Вимагається визначити алгоритм корекції і його коефіцієнти, при яких критерій якості (7.31) мінімальний.

$$\delta_i = (r_a Y_i + r_u \Sigma Y_i) / d + r_a \delta_{i-1} + r_u \delta_{i-2}. \quad (7.34)$$

Коефіцієнти його знаходяться за формулами

$$\begin{aligned} r_a &= g_0 - (g_0 - g_1)\omega_1 - (g_0 - 2g_1)\omega_2 \\ r_u &= g_1(1 - \omega_1 + \omega_2) \\ r_a &= (1 - g_0)\omega_1 - (g_0 - g_1)\omega_2 \\ r_u &= (1 - g_0)\omega_2 \end{aligned}$$

В цих формулах ca_x, co_z визначаються як у прикладі 1, а значення g_0, g_x розраховуються за формулами

Значення $j = a/ja$, а значення x лежить в інтервалі $[0, 1]$ і знаходиться із рівняння

$$g_0 = 1 - x; \quad g_1 = \mu\sqrt{x}. \quad (7.35)$$

$$x^4 - (4 + \mu^2)x^3 + (6 - 2\mu^2)x^2 - (4 + \mu^2)x + 1 = 0.$$

При рішенні одержується наступний алгоритм корегування курсу

Примітка, а) Якщо вимагається в прикладах 1, 2 знайти рішення, коли критерій якості—(7.30, 6), для деяких значень L_x знаходяться оптимальні значення коефіцієнтів і оцінюється сг. Із одержаних рішень вибирається те, при якому сг = f.

б) Якщо вимагається знайти рішення, коли критерій якості - (7.30, а), $t < i$ для ряду LT_k підбираються L_x , при яких $a = E$, $su = \min$. Відповідні цим вищерахованим коефіцієнти закону корекції і значення LT_k запам'ятовуються. Після цього із цих рішень обирається те, при якому $em = E^{\wedge}$

Приклад 3. В автоматизованій системі "Бірюза" оптимізується сумісне управління курсом і боковим зміщенням за критерієм (7.32), коли моделі, об'єкта обрана у вигляді (6.12, а). Закон управління стерном прийнятий на стганім Г331

$$\dot{\beta} = -(k_L \psi + k_D \dot{\psi} + r_L Y + r_u \int Y dt). \quad (7.36)$$

Вимагається визначити оптимальні коефіцієнти цього закону, коли перекладки стерна виробляються в залежності від оптимальних оцінок бокового зміщення.

Розробниками системи одержані наступні формули для розрахунку коефіцієнтів (всі величини

$$\left. \begin{aligned} r_L &= 1/\Lambda_1; \\ k_L &= 2\sqrt{T_\omega/k_\omega \Lambda_1^2}; \\ k_D &= 2\sqrt{T_\omega^2/k_\omega^2 \Lambda_1^2 + 1/k_\omega \Lambda_1}; \\ k_u &= [r_L(k_D(k_\omega + 1) - r_L T_\omega)] / (k_D k_\omega + 1) \end{aligned} \right\} \quad \text{безрозмірні} \quad (7.36)$$

$$(7.37)$$

При подвійному знаці в цих формулах, верхній відноситься до неасимп-ично стійких на курсі суден, а нижній—до нестійких. **Приклад 4.** В автоматизованій системі судноводіння "Панорама-СТ " оптимізується сумісне управління курсом і боковим зміщенням за критерієм (7.14), коли модель об'єкта обрана у вигляді (6.12а). Закон управління стерном має вигляд [22]:

$$\beta = -(k_L(\psi + \theta) + k_D \dot{\psi} + k_u \int (\psi + \theta) dt); \quad (7.38)$$

де ψ - кут між напрямом руху на точку повороту і заданою лінією курсу по осі фарватера.

Зв'язок між коефіцієнтами закону управління і параметрами судна визначається виразами

$$k_{\pi} = 1/\lambda_1; k_{\omega} = (\sqrt{1 + 2k_{\omega}T_{\omega}/\lambda_1} \mp 1)/k_{\omega}. \quad (7.39)$$

Зазначені в прикладах 3 і 4 алгоритми управління адаптовані до швидкості судна (безрозмірні значення величин $\kappa_{ш}$ і T_{ψ} судна не залежать від фактичної швидкості). Враховуючи, що екстремум функції (7.14) є слабо визначеним, судноводій при необхідності може уточнити коефіцієнти закону управління в реальних умовах плавання.

При більш складних постановках завдань корекції, коли слід враховувати спосіб відпрацювання корегування (з заданою кутовою швидкістю або інший), аналітичне рішення ускладнено. В цих випадках використовуються чисельні методи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Приведіть звичайно використовуваний при стабілізації курсу закон управління стерном.
 2. Охарактеризуйте призначення складових керуючого сигналу, що виробляється ПД-регулятором курсу.
 3. Які функції виконує диференціальна складова керуючого сигналу при стабілізації нестійкого на курсі судна?
 4. Які критерії оптимальності використовують при оцінці якості систем стабілізації курсу?
 5. Назвіть методи послаблення впливу на якість стабілізації курсу хвильові «рискання».
 6. Які методи оптимізації авторульових використовуються?
 7. Охарактеризуйте види автоматичного виконання поворотів методом слідкування за заданим курсом.
 8. Які переваги автоматичного здійснення поворотів методом комбінації пріамного і коректурного управління?
 9. Дайте пояснення схеми управління положенням судна на відрізку траєкторії методом корекції системи стабілізації курсу.
 10. Які застосовують критерії при оцінці якості стабілізації судна на відрізку маршруту?
 11. Назвіть особливості комбінованої САУ курсом судна, оптимальної по швидкості.
- Приведіть ШД-закон корекції курсу для стабілізації судна на відрізку маршруту і дайте пояснення його складових.

8. ВИДИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА.

8.1. АВТОРУЛЬОВІ (АВТОСТЕРНОВІ) З РУЧНОЮ НАСТРОЙКОЮ.

Більшість суден транспортного флоту обладнано авторульовими з ручною настройкою (АР, АТР, "Аіст", "Печора"...), елементну базу яких в основному складають електромеханічні прилади. Під авторульовим звичайно розуміють прилад, що визначає роботу стернового приводу при управлінні рухом судна по курсу. Стернові приводи діляться на головний і допоміжний. Головний привід включає механізми і устаткування, необхідні для перекладки стерна при управлінні рухом в нормальних умовах експлуатації. Допоміжний стерновий привід призначений для виконання перекладки стерна при управлінні рухом судна, коли вийшов із ладу головний привід.

Авторульові мають наступні типові режими управління: СЛІДКУЮЧИЙ — основний режим для ручного управління судном (має два підвиди: "Слідкуючий-роздільно", "Слідкуючий-синхронно" залежно від управління однією чи двома стерновими машинами); ПРОСТИЙ — резервний режим ручного управління на випадок виходу із ладу слідкуючого режиму. АВТОМАТ — режим автоматичного управління для стабілізації судна на постійному курсі (включає режим градусної поправки для автоматичної зміни курсу на кут обмеженої величини, що задається); ЦИРКУЛЯЦІЯ — режим для виконання поворотів з різноманітною кутовою швидкістю (реалізується в авторульових для суден річкового і змішаного плавання типу "ріка-море").

До складу авторульових входять наступні основні прилади:

ЦУЛЬТ управління (ПУ),— здійснює всі режими управління, що реалізуються в авторульовому. Знаходиться в стерновій рубці.

ПУЛЬТ слідкуючого управління — на відміну від ПУ не має режиму "Автомат". Розташований на верхньому мостіку.

ВИКОНАВЧИЙ механізм—управляє роботою насосів стернової машини. Знаходиться в румпельному відділенні.

СТЕРНОВИЙ датчик — виробляє сигнал істинного положення стерна для стернових показників і сигнал від'ємного зворотного зв'язку, пропорційний куту перекладки стерна: u^{kji} , де $\#_{oc}$ — коефіцієнт зворотного зв'язку.

Для підсилення сигналів, що виробляє авторульовий, передбачено два канали (правого і лівого бортів), що включають підсилювачі потужності і насоси стернової машини. Ці канали можуть використовуватися роздільно і спільно.

Основні правила експлуатації авторульових наступні. Всі особи командного складу, зайняті експлуатацією і обслуговуванням стернового приладу, повинні знати його роботу і порядок переходу із одного режиму управління на інший. Не пізніше, чим за 12 годин до виходу судна в рейс,

старший помічник, другий механік і електромеханік перевіряють і випроби вують стерновий прилад. Перевіряються: основний і допоміжний стернові приводи, система дистанційного управління, пости управління стерном на ходовому мостіку, система

аварійного електроживлення (крізь аварійний щит), показчики положення стерна, аварійна сигналізація, робота автом.і тичних обмежувачів кута пере кладки стерна, робота засобів зв'язку мости ка з румпельним відділенням.

Забороняється вихід судна в море, якщо: неможлива повна пере кладка стерна на кожний борт відповідно до вимог Регістру; вийшов із строю запас ний привід стерна чи прилад для передачі управління стерном із основного на запасний привід; порушено зв'язок між стерною рубкою і місцем уста новки штурвалу запасного приводу стерна; виявлено відхилення більше до пустимих меж механічного показника положення стерна на стерновій машині і з аксіометром, встановленим у стерновій рубці.

Не рідше одного разу в три місяці, а на судах, що виконують короткі рейси,*— не рідше одного разу на тиждень, необхідно проводити навчання по аварійному управлінню стерном, включаючи управління безпосередньо з румпельного відділення за командами із ходового мостика. Підсумки переві рок та випробувань, а також навчання з аварійного управління, заносяться в судновий і машинний журнали.

У складних умовах плавання для забезпечення надійності управління повинні працювати обидва канали управління стерном правого і лівого бортів Крім збільшення надійності, це дозволяє також збільшити і швидкість пере кладки стерна в режимі "Слідкуючий".

При переході в режим "Автомат" необхідно заздалегідь привести судно на заданий курс в режимі "Слідкуючий" або "Простий".

Алгоритм виробітки пере кладки стерна при стабілізації курсу в режим і "Автомат":

$$\beta = -\frac{1}{k_{oc}}(k_{п}\dot{\psi} + k_{д}\ddot{\psi} + k_{i}\int\dot{\psi}dt); \quad (8.1)$$

де k_w k_{ff} k_j — коефіцієнти пропорційної, диференціальної і інтегральної ланок обчислювача авторульового.

Алгоритм виробітку пере кладки стерна для зміни курсу при запровадженні градусної поправки в режимі "Автомат" має наступний вигляд.

Коефіцієнти пропорційної і інтегруючої ланок авторульових при експлуатації постійні. Перший коефіцієнт^ дорівнює одиниці, а ^вибирається при заводських випробуваннях в межах 0.01-0.04 і надалі не змінюється. Для настройки авторульових АР, АТР, "Аіст", "Печора" передбачені органи регулювання: коефіцієнта зворотного зв'язку (k_x), коефіцієнта диференціальної ланки (k_d), початкової чутливості. Основна настройка $k_{жс}$, k для судна при певному завантаженні проводиться заводськими фахівцями під час приймально-здавальних випробувань, що проводяться на тихій воді чи при хви-

люванні моря до 2 балів. Змінювати настройку авторульового потрібно при зміні завантаження судна, швидкості ходу понад 15%, зовнішніх умов, курсового кута хвилювання понад 20°, домагаючись, щоб судно утримувалося на курсі з необхідною точністю малими і рідкими пере кладками стерна. Вплив швидкості ходу і завантаження на якість регулювання (коли міра стійкості судна на курсі мало змінюється від цього чинника) рекомендується компенсувати зміною k . При зменшенні швидкості ходу падає ефективність стерна, тому при малій швидкості значення $k_{жс}$ має бути меншим, ніж при великій. При повному завантаженні, коли маса судна і його момент інерції ста-

ють більше, $k_{жс}$ потрібно зменшити. При цьому, як впливає із (8.1), на одне і те ж значення кута рискання при повному завантаженні пере кладка стерна буде більшою, ніж при неповному, що компенсує зростання інерційності судна. Коли судно прямує в баласті, $k_{жс}$ у порівнянні з завантаженим судном треба збільшити. Як показує досвід експлуатації, для морських суден $k_{жс}$ потрібно вибирати в діапазоні 0.2-0.8. Якщо стійкість судна на курсі при зменшенні завантаження істотно погіршується (росте амплітуда власних коливань системи), то крім зміни $k_{жс}$ збільшується коефіцієнт k_d , щоб зробити ці коливання швидко затухаючими. Правильність настройки контролюється на основі аналізу курсограми.

Сигнал диференціальної ланки на тихій воді збільшують до певного значення для підсилення демпферування власних коливань системи "судно-авторульовой". Короткий шлях перевірки задовільності настройки κ_0 складається в запровадженні невеликої градусної поправки (близько 3-7°).

Про нормальну настройку свідчить швидкий прихід судна на курс без пере-регулювання чи з одним невеликим перерегулюванням. При вітрі і хвилюванні κ треба зменшувати, щоб не перевантажувати стернову машину. Одночасно можна збільшити, якщо необхідно, значення $\kappa_{ж}$. Сигнал диферен-ціальної ланки також зменшується, якщо судно після запровадження градус-ної поправки поволі виходить на новий курс. Разом з цим це зменшення не повинне приводити до перерегулювання, яке не повинно перевищувати 10% величини градусної поправки.

В умовах штормової погоди (понад 5-6 балів для середньотоннажного судна) регулятор чутливості "Грубо-точно" становлюють в положення "Грубо", а також здійснюється підстройка $\kappa_{ж}$ і k_{ff} . Регулятор чутливості в положенні "Грубо" зменшує коефіцієнт підсилення всієї системи, тому при одних і тих же умовах для положень "Грубо" і "Точно" в останньому коефіцієнт $\kappa_{ж}$ може бути зменшений, а κ_0 — збільшений.

В авторульовому АРМ-2 настройка здійснюється підбором значень чотирьох параметрів: k_v , k_2 , k_y , T . Перший коефіцієнт визначає чутливість системи. Його значення вибирається при прийнятно-здавальних випробуваннях із діапазону 0.3-0.6 і при експлуатації величина цього коефіцієнту не змінюється. Другий коефіцієнт (регулятор "Одержування") аналогічний коефіцієнту κ в авторульових типа АР і його настройка виробляється так само. Коефіцієнт κ (регулятор "Закладка стерна") однаковий за призначе-нням з k і настраюється за таким же принципом. В АРМ-2 передбачена можливість східчастої зміни κ_3 від 0.22 до 0.8.

Коефіцієнт T (регулятор "Час затримки") є параметром фільтрації хвилювання у вихідному сигналі авторульового. Він визначає час затримки дії вихідних реле, що може бути встановлений в діапазоні від 1 до 5с. Мінімальне значення T встановлюється в тиху погоду, а максимальне — в шторм, що забезпечує зменшення кількості переключень стерна до 30%.

При правильній настройці втрати в експлуатаційній швидкості судна ми жуть бути знижені на 2-3%, а витрата палива — на 5-8%.

Основні недоліки авторульових з ручною настройкою:

- застаріла елементна база;
- мала захищеність від завад, що викликаються хвилюванням;
- недостатня чутливість по кутовій швидкості в тиху погоду;
- низька ефективність ручної настройки, що не забезпечує оптимального режиму стабілізації курсу і виконання поворотів;
- відсутність способів автоматичного виконання поворотів на будь-який кут необхідним чином;

8.2. АДАПТИВНІ АВТОРУЛЬОВІ.

АДАПТИВНИЙ АВТОРУЛЬОВИЙ ASAP-II (Швеція, фірма АТЕW). Завдання, що вирішуються: стабілізація судна на заданому курсі з мінімальними пропульсивними втратами; адаптація параметрів авторульового до зміни швидкості ходу, глибини під кілем, а також до зміни погодних умов; управління рухом на повороті; компенсація кута знесення при плаванні по заданому шляху.

Датчики інформації, що використовуються: гірокомпас, відносний і абсолютний лаги, двохкомпонентний гіроскопічний датчик кутової швидкості (ДУС) ристання і крена (чутливість 0.001 °/с), ехолот.

Алгоритм стабілізації курсу:

$$\beta = -(k_1 \psi_n + k_2 \dot{\psi}_n + k_3 \int \psi dt);$$

Фільтрація хвильової складової ристання: електронні фільтри на вході регулятора для одержання

Математична модель судна: не використовується.

Спосіб адаптації до зміни параметричних і координатних збурень: априорно визначена залежність між параметрами збурень $V, H, (a^2 + \psi^2)$ і коефіцієнтами k_1, k_2 . Значення $(a^2 + \psi^2)$ одержується за допомогою усереднюючого приладу за даними вимірювань кутових швидкості крена і ристання двохкомпонентних ДУС.

Способи автоматичного виконання поворотів: 1. З заданою кутовою швидкістю (має можливість встановлення п'яти значень $\dot{\psi}_3$: 20,40,50,70, 90°/хв). 2.3 заданим радіусом циркуляції

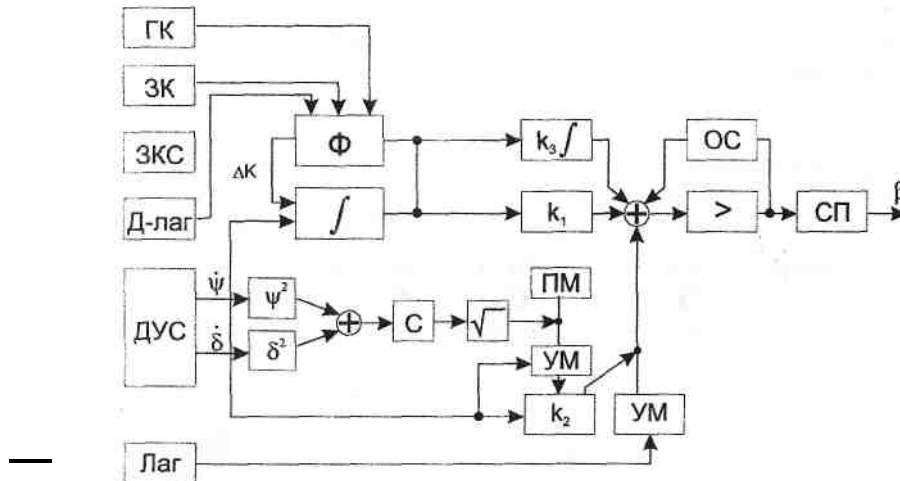


Рис. 8.1. Схема управління курсом з адаптивним авторульовим ASAP-II

Принципова схема системи управління рухом із авторульовим ASAP-II представлена на рис. 8.1. На схемі: ЗК — задавач курсу; ЗУС — задавач кутової швидкості, Д-лаг — абсолютний лаг, інформація якого використовується для компенсації кута дрейфу; Φ — фільтр; С — прилад, що усереднює; ОС — ланка зворотнього зв'язку; ПМ — прилад множення; СП — стерновий привід.

АДАПТИВНИЙ АВТОРУЛЬОВИЙ "Racal-decca" Dr-780 (Англія, фірма Decca). Завдання, що вирішуються: стабілізація судна на заданому курсі в відкритому морі з мінімальною величиною і частотою переладки стерна; адаптація параметрів регулятора до зміни погодних умов; автоматичне виконання поворотів.

Датчики інформації, що використовуються: гірокомпас, прилад для вимірювання кутової швидкості.

Алгоритм стабілізації курсу:

$$\beta = -(k_1 \psi_n + k_2 \dot{\psi}_n + k_3 \int \psi dt).$$

Фільтрація хвильової складової ристання: електронний фільтр Калмана для одержання V_C (знімається з моделі судна).

Математична модель судна: електронна, нелінійна, диференціальна модель другого порядку

Призначення моделі: одержання важкодоступної вимірюванню координати Y_n , прогноз керуючого руху при фільтрації.

Метод адаптації. По різниці між фактичною кутовою швидкістю, що проводиться спеціальним приладом, і кутовою швидкістю, що одержується за моделлю, проводиться автоматична підстройка моделі судна, а потім коректується коефіцієнт k_2 і сигнал управління на стерно.

Спосіб автоматичного виконання поворотів: з заданою кутовою швидкістю.

Принципова схема системи управління рухом з авторульовим "Racal Decca" Dp-780 представлена на рис. 8.2

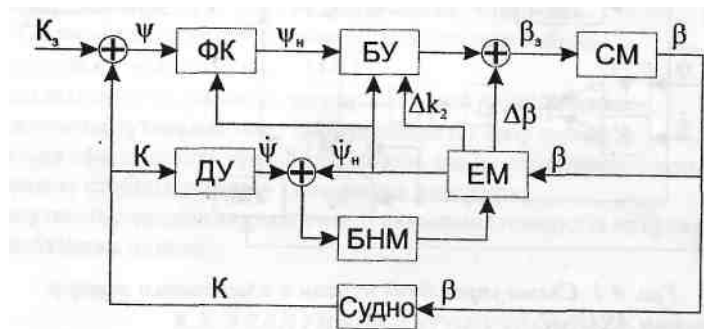


Рис. 8.2. Схема управління курсом з адаптивним авторульовим "Racal-decca"

На схемі: ФК—фільтр Калмана; ДУ — прилад, що диференціює; БУ — блок управління; СМ — стернова машина; ЕМ — електронна модель судна; БНМ — блок настройки моделі.

АДАПТИВНИЙ АВТОРУЛЬОВИЙ "Sperry" (США, фірма "Sperry"). Особливість цієї системи управління полягає в тому, що до звичайного авторульового, що реалізує ШД-закон управління, підключається автоматичний модуль управління (АМУ), що включає мікроЕОМ Завдання, що вирішуються: стабілізація судна на заданому курсі у відкритому морі з мінімальною витратою палива і в стиснених водах з максимальною точністю; оцінка якості управління і оптимізація регулятора, обмеження на вибір переключень стерна для запобігання небезпечного крену, автоматичне виконання поворотів з заданою кутовою швидкістю і мінімальним перерегулюванням, контроль справності роботи.

Датчики інформації, що використовуються: гірокомпас, лаг, індикатор стерна, індикатор кутової швидкості повороту.

Алгоритм стабілізації курсу:

$$\beta = -(k_1 \psi_n + k_2 \dot{\psi}_n + k_3 \int \psi dt).$$

Здійснюється фільтрація хвильової складової ривкання. Фільтр у вигляді інерційної ланки, значення постійної часу якої визначається мікроЕОМ блоку ОПВМ.

Модель судна. Нелінійна диференціальна модель. Використовується для розрахунку обмежень команд на стерно для фактичних завантажень судна в функції швидкості ходу і бажаної кутової швидкості повороту по умові допустимої величини кута крену.

Вручну вводяться: заданий курс, кут повороту, завантаження судна, режими роботи ("відкрите море", "стиснені води"), задана кутова швидкість повороту, швидкість ходу.

Критерій якості стабілізації курсу: $J = L \Delta \varphi + (7p = \text{ШП})$

Метод адаптації. В пам'яті мікроЕОМ блоку АМУ зберігаються значення регульованих параметрів (k_1 , k_2 , Γ_ϕ), що підбираються залежно від швидкості ходу, завантаження і полоси пропускання системи. Значення параметрів управління заздалегідь розраховуються для кожного типу суден на універсальній ЕОМ так, щоб забезпечувалася стійкість системи при самій малій швидкості судна. Вплив мілководдя на якість управління не враховується.

Спосіб автоматичного виконання поворотів: з заданою кутовою швидкістю з мінімізацією перерегулювання в заключній стадії повороту



Принципова схема системи управління рухом із авторульовим "Sperry" представлена на рис. 8.3. На схемі: ІС—індикатор стерна; ІКШ — індикатор кутової швидкості повороту; ЛСРР — логічна схема режимів роботи; ЛСА— логічна схема адаптації; АРПК — регулятор управління на прямому курсі; АРЗК — регулятор змін курсу; ОПВМ — оптимізатор параметрів регулятора в відкритому морі, ОПСВ — обчислювач параметрів регулятора в стиснених водах; ОБСК — обмежувач стернових команд; ОБХК — обмеження по характеристиках керування і безпеки; ТК—тестовий контроль; СП — стерновий привід; ДВ — дисплей відмов; АЦП — аналого-цифровий і ЦАП — цифровий і аналоговий перетворювачі.

АДАПТИВНИЙ АВТОРУЛЬОВИЙ "Digipilot" (США, фірма "Iotron") Завдання, що вирішуються: стабілізація судна на заданому курсі у відкрите > му морі з мінімальними пропульсивними втратами палива і в стиснених водах з максимальною точністю; адаптація параметрів регулятора до зміни швидкості ходу, завантаження, диферента, глибини під кілем, а також до зміни погодних умов; автоматичне виконання поворотів.

Датчики інформації, що використовуються: гірокомпас, лаг, гіроскопічний датчик кутової швидкості ристання (чутливість 0.015%), маятниковий кренометр для вимірювання періоду бортового хитання, ехолот, індикатори істинного і заданого положення стерна.

Алгоритм стабілізації курсу:

$$\beta = -(k_1 \psi_n + k_2 \dot{\psi}_n + k_3 \int \psi dt).$$

Фільтрація хвильової складової ристання: цифровий фільтр Калмана, що виділяє корисний сигнал управління на фоні хвильових завад, а також виробляє параметри моделі судна, необхідні для оптимальної настройки авто рульового і прогнозування реакції судна на керуючі дії. Для оцінки моделі судна використовується безперервний запис кладок стерна і вихідних даних системи, що опрацьовуються за методом найменших квадратів.

Математична модель судна: лінійна, диференціальна, третього поряд ку. Призначення: для прогнозу руху при фільтрації, розрахунку коефіцієнтів регулювання.

Вручну вводяться: заданий курс, кут повороту, режими роботи ("відкрите море", "стиснені води"), задана кутова швидкість повороту, швидкість ходу.

Критерій якості стабілізації курсу: $J = L_{сг} + (T_{сг} = \min.$

В критерії якості передбачені різні вагові коефіцієнти для двох режимів: "відкрите море", "стиснені води".

Спосіб адаптації. При виході із порту визначається період бортового хитання і характеристики хвильового ристання. При фільтрації одержуються оцінки низькочастотного і хвильового ристання. Розрахунок сигналів управління виробляється за

першими оцінками, хвильове riskання виключене із розрахунку управління. В алгоритмі стабілізації курсу приймаються значення коефіцієнтів κ_1 , κ_2 , розраховані аналітично за параметрами моделі судна. В процесі стабілізації оцінюється величина критерію якості J , виробляються невеликі зміни параметрів κ_1 , κ_2 і аналізується їх вплив на J . Вираховується оптимальне співвідношення κ_1 , κ_2 , що мінімізує J . Адаптація займає майже 20 хвилин і повторюється знову при зміні динамічних властивостей судна чи умов плавання.

Спосіб автоматичного виконання поворотів: з заданою кутовою швидкістю (є можливість встановлення трьох значень $\omega_3: 2, 6, 187 \text{ хв}$

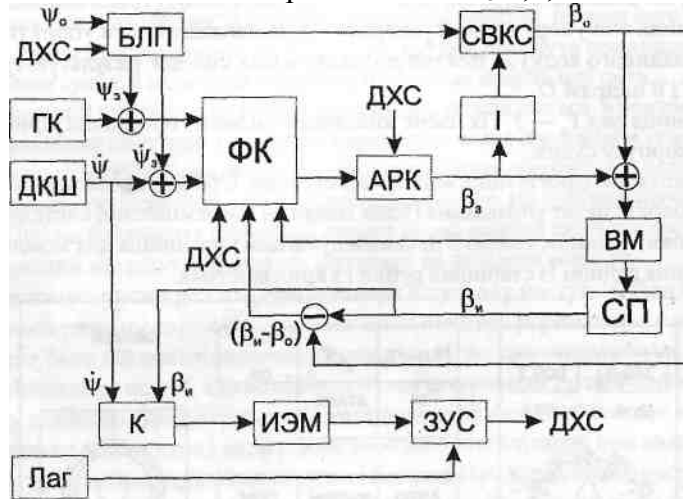


Рис. 8.4. Схема управління курсом з адаптивним авторульовим "Digipilot"

Принципова схема системи управління рухом з авторульовим "Digipilot" представлена на рис. 8.4. На схемі: ДКШ — датчик кутової швидкості; ФК — фільтр Калмана; АРК — оптимальний регулятор курсу; БЛП — блок логіки повороту; І — інтегратор; СВКС — селектор встановленої кладки стерна; СП — стерновий привід; ВМ — виконавчий механізм; К — корелятор; БКЗШ — блок компенсації зміни швидкості судна; ІМС — ідентифікатор моделі судна; ДХС — динамічні характеристики судна.

8.3. ІНТЕГРОВАНА МІКРОПРОЦЕСОРНА МАНЕВРОВА СИСТЕМА.

Маневрова система призначена для спрощення виконання будь-яких маневрів при малих швидкостях руху шляхом автоматичного управління з допомогою штатних систем дистанційного управління підрулюючими приладами, гребними гвинтами і стерном. Вона має декілька конфігурацій залежно від пропульсивної схеми судна (устаткування одним чи двома гребними гвинтами, тільки носовими або носовими і кормовими підрулюючими приладами, одним чи двома рулями) з урахуванням гідродинамічних характеристик корпусу, гребного гвинта, стерна.

Переміщення судна при будь-якому маневрі може бути представлене двома основними рухами: плоско — паралельним переміщенням і обертанням. Управління цими рухами і виробляє маневрова система. Сила упору і момент, що визначають ці рухи, створюються системою із трьох компонентів: поперечних сил упору в носі Y і кормі — Y поздовжньої сили упору (переднього і заднього ходу) X . Вектор додавання цих сил дає результуючу силу упору T_i її напрям D

Різниця сил Y — Y \ їх плече визначають момент обертання, прикладе ний до корпусу судна.

Розглянемо один із типів маневрової системи. Її базова конфігурація включає два блоки: пульт управління і блок команд. При замовленні системи мож на обумовити комплектацію її деякими пультами управління для можливості управління судном із стернової рубки і з крил мостика.

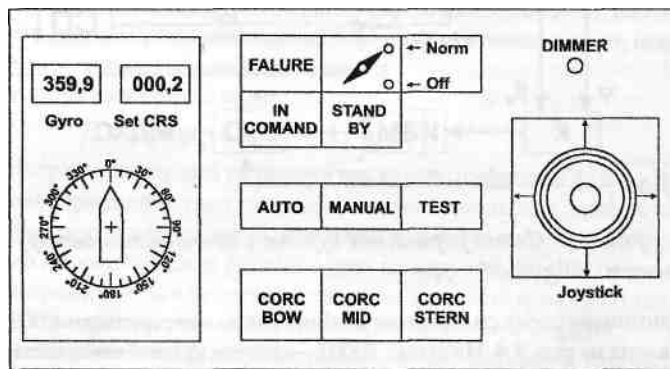


Рис. 8.5. Схема пульта управління маневрової системи

Пульт управління (рис. 8.5) містить: цифровий показник гірокомпасного курсу; цифровий показник заданого курсу (використовується тільки в режимі "Auto"); шкалу курсу, що синхронізована з ГК; світловий сигналізатор несправності системи; аварійний вимикач системи, що має положення Normal і ОгГ(при аварійному виключенні повністю відключається маневрова система і негайно підключаються засоби ручного управління гвинтом, стерном і підрулюючими приладами); вмикач системи в роботу, що має дві кнопки (In Command—для включення, і Stand By—для відключення) з підсвітленням, що підтверджує включений режим; перемикач трьох режимів роботи (Auto— автоматичного управління курсом; Manual — ручного управління курсом; Test—тестування), що включає кнопки кожного режиму з підсвітленням, що підтверджує перехід в цей режим; перемикач трьох видів обертання корпусу судна (з центром обертання: CORC Bow—в носі судна; CORC Mid—на мідельшпангоуті; CORC Stern — в кормі), що включаючає кнопки із підсвітленням для кожного із видів; регулятор освітлення пульта; держак управління плоско—паралельним рухом судна.

Задавачем параметрів плоско-паралельного переміщення судна є держак управління, задавачем моменту для обертання судна навкруг вертикальної осі і в ручному режимі управління служить штурвал штатного авторульового, він

же служить задавачем курсу для стабілізації в автоматичному режимі. Держак управління типу "джойстик" є лінійним керуючим засобом: напрям його нахилу задає напрям результуючої сили натиску, що повинна бути прикладена до центру маси судна, а величина зміщення її визначає модуль цієї сили.

Стерновий штурвал при роботі системи, що розглядається, в режимі ручного управління виступає як задавач параметрів моменту: напрям повороту його визначає напрям моменту щодо обраного центру обертання, а величина цього моменту пропорційна куту відхилення штурвалу від нейтрального положення. При необхідності стабілізації курсу в цьому режимі цю операцію виконує стерновий матрос з допомогою штурвалу як задавача моменту.

В автоматичному режимі призначення штурвалу наступне. При включенні цього режиму курс судна автоматично починає утримуватися на значенні, яке було в момент включення режиму. Курс, що утримується, може бути змінений на новий, що встановлюється штурвалом по цифровому показнику заданого курсу. Після такої установки система автоматично приводить судно на новий курс і надалі здійснює його стабілізацію при виконанні плоско-паралельних переміщень судна і без них. При відхиленні курсу судна від заданого значення за межі допустимих кордонів починає діяти звукова сигналізація і мигати кнопка "Auto".

Сигнали від держака управління і стернового штурвалу передаються в блок команд, що розкладає їх на три складові: бокові сили в носі і в кормі та поздовжню силу. Після того, як сили обчислені, вони перетворюються в параметри управління гвинта чи гвинтів (величину кроку гвинта ВКГ або величину частоти обертання ВЧО), подібні параметри підрулюючих приладів, кут повороту стерна і передаються для відпрацювання на системи дистанційного управління кожним із цих органів. Виконання перелічених

операцій проходить у відповідності з закладеним у блок команд алгоритмом. Алгоритм, що визначає виробіток керуючих сигналів у залежності від положення держака управління, положення штурвалу при ручному режимі роботи і при стабілізації курсу в автоматичному режимі, обирається залежно від пропульсивної схеми судна і особливостей його динаміки, а також особливостей пропульсивних і маневрених приладів з урахуванням результатів натурних випробувань при доводці алгоритму.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть види вітчизняних авторульових з ручною настройкою.
 2. Які настройки є у вітчизняних авторульових?
 3. Дайте пояснення, в яких випадках і як слід настраювати авторульові.
 4. Приведіть основні недоліки авторульових з ручною настройкою.
 5. Які авторульові називаються адаптивними (з частковою адаптацією)?
- Охарактеризуйте використовуваний в авторульовому "Digipilot" принцип адаптації до зміни умов експлуатації

9. АВТОМАТИЗАЦІЯ РЕЄСТРАЦІЇ ДАНИХ ПРОЦЕСУ СУДНОВОДІННЯ.

9.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ.

Одним із напрямків підвищення надійності судноводіння є автоматизм цієї реєстрації даних судового журналу. Він є основним офіційним документом на судні, що відображає діяльність судноводія і роботу судових технічних засобів (СТЗ). Обсяг і форма інформації судового журналу визначаються "Правилами ведення судового журналу" і "Рекомендаціями з організації штурманської служби на суднах".

Вся інформація, що реєструється в судовому журналі, поділяється на: періодичну і епізодичну. Періодично з інтервалом в 1 годину записуються час, відліку лага, показання і поправки гіроскопічного і головного магнітного компасів, зчислимі широта і довгота судна. В кінці вахти фіксуються дані, що характеризують гідрометеорологічні умови в

районі плавання, а також відстань, пройдену судном за вахту. Епізодична інформація заноситься в чорновий журнал безпосередньо при її одержанні.

Після вахти дані, що характеризують процес судноводіння, переносяться в судовий журнал в хронологічному порядку з вказівкою точного часу. До них відносяться наступні основні події і дані:

- обсервовані координати судна;
- пеленги і відстані до орієнтирів;
- лінії положення при визначеннях місця судна;
- вимірювані глибини;
- маневри судна з вказівкою зчислимих координат судна;
- основні параметри руху зустрічних суден;
- моменти включення (відключення) судових технічних засобів, що забезпечують процес судноводіння;
- умови і результати рішення завдань навігації і судноводіння;
- аварійні випадки, їх наслідки, обставини;
- заходи, прийняті капітаном і екіпажем з запобігання пошкоджень судна і вантажу;
- випадки погіршення (поліпшення) видимості і незвичайні явища природи;
- опис постановки на якір і зняття з нього;
- швартовні і вантажні операції;
- інші можливі події і обставини при плаванні і несенні судової служби.

За даними хронометражу роботи вахтового помічника капітана тільки переміщення від приладу до приладу і переходи із одного робочого місця на інше складають 3-5% часу вахти, а разом із часом знаходження в штурманській рубці досягають 15-20%. В цей період судноводій повністю чи частково повинен відриватися від виконання одного із основних завдань — спостере

ження і оцінка навігаційних обставин, що не припускається в складних умовах плавання. Деталізація процесу визначення місця судна за двома візуальними пеленгами показує, що безпосередньо на пеленгування судноводій витрачає лише 30% часу, необхідного для обсервації, інші 70% витрачаються на реєстрацію даної навігаційної інформації. При плаванні в особливих умовах (в прибережних районах, вузкостях, на підходах до портів, при обмеженій видимості), різко зростає обсяг інформації, що надходить судноводійському складу. Тоді один із вахтових помічників капітана повинен виконувати функції реєстратора інформації, який відбиває процес судноводіння.

Одним із шляхів підвищення надійності судноводіння є автоматизація процесу реєстрації. Його модель визначається видом вхідної інформації, типом приладу для реєстрації і особливостями обробки даних. Функціональна схема апаратури модуля реєстрації автоматизованного комплексу судноводіння приведена на рис. 9.1, [16].

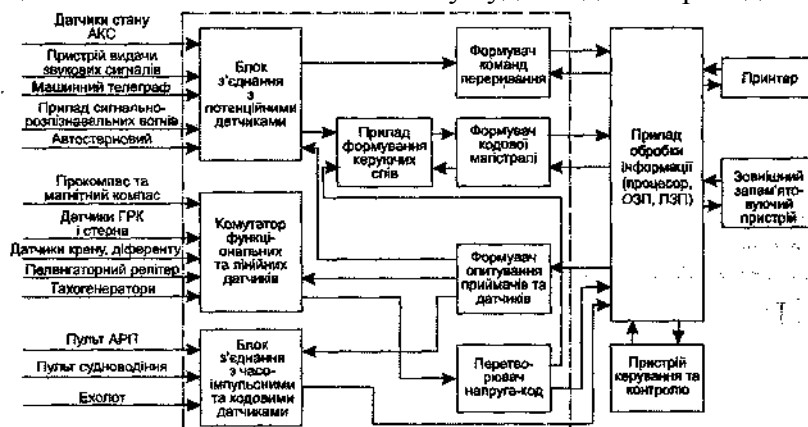


Рис. 9.1. Блок-схема апаратури реєстрації

На вхід апаратури реєстрації поступає інформація:

- 1) із комплексу судноводіння і засобу автоматизованої радіолокаційної прокладки

(ЗАРП) у вигляді послідовного коду (інформація) і ознак стану контактів, що характеризують включення (відключення) режимів ЗАРП, управління рухом судна, координат і параметрів руху судна і об'єктів, що супроводжуються;

від навігаційних датчиків, що включають пеленгаторний репітер, магнітний компас і гірокомпас, у формі перемінної напруги, що знімається із обертового трансформатора і сельсин-датчика, від ехолота, гідроакустичного лага у вигляді послідовного коду, індукційного лага у вигляді числа імпульсів намілю (останні моделі ГК забезпечують видавання даних у вигляді послідовного коду);

3) від приладів судових технічних засобів: датчиків крену, положення стерна, гвинта регулюємого кроку, гребного вала і підрулюючих приладів, швидкості обертання вала у вигляді змінних і постійних напруг; вільних контактів і т.д.

Всю вхідну інформацію можна поділити на наступні групи:

- змінні напруги, що знімаються із обертових трансформаторів і сельсин датчиків;
- паралельні коди;
- послідовні коди по радіальних шинах;
- признаки стану контактів реле або перемикачів, що характеризують стан певних приладів чи режимів;
- постійні напруги, що знімаються із тахогенераторів;
- імпульсні напруги сигналів заявок від інших комплексів (модулей).

Апаратура реєстрації в свою чергу видає заявки по паралельних шинах в інші комплекси. Кінцевий прилад відповідно до вимог до модуля реєстрації забезпечує: друк літеро-цифрової інформації на паперовій стандартній стрічці шириною 210-215 мм в прийнятій в практиці Морського флоту формі, а також можливість ручного додрукування різноманітної інформації. У вигляді кінцевого приладу використовується телетайп, що застосовується на судах, чи принтер персональної ЕОМ. Використання зовнішнього запам'ятовуючого пристрою (ЗЗП) в системі дозволяє вирішувати на першому етапі проблему утворення "чорного ящика" на морському флоті. ЗЗП може бути розміщений в аварійному буйі.

9.2. МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РЕЄСТРАЦІЇ.

Процес реєстрації в загальному вигляді можна представити як певну послідовність операцій опитування навігаційних датчиків і датчиків СТЗ, комплексу судноводіння, ЗАРП по відповідним заявкам та управління принтером і ЗЗП. Реалізувати цю послідовність можна схемним або програмним способом. Другому способу можна віддати перевагу, так як йому притаманна велика гнучкість при простій апаратурній реалізації і забезпечується можливість створення уніфікованої апаратури реєстрації для суден різноманітного класу і призначення (рис. 9.1).

Виходячи з аналізу часових характеристик сучасних процесорів і вимог з обслуговування заявок на обробку і реєстрацію даних достатньо мати в формувачі команд переривання схему відносного пріоритету.

Процес реєстрації даних можна представити в наступній послідовності [16]:

1) запам'ятовування від джерел інформації періодичні і епізодичні випадкові вимоги на реєстрацію;

2) обробка заявок відповідно до циклу роботи диспетчера — процесора із запам'ятовуванням необхідних даних від джерел інформації відповідно до закладеної програми роботи процесора на відповідну вимогу з прив'язкою до судового часу;

3) переривання циклу роботи диспетчера по відносному пріоритету, сформованому в формувачі команд переривання, коли в момент вибору заявки на обслуговування порівнюються пріоритети заявок, що знаходяться в стані чекання. До обслуговування представляється заявка з найбільш високим пріоритетом. При обробці

інформації за даною вимогою відповідно до закладеної програми роботи процесора з прив'язкою до суднового часу забезпечується запис даних за типовою формою;

4) реєстрація (запам'ятовування) даних, що зберігаються в пам'яті про-цесора на відповідні вимоги з прив'язкою до суднового часу, в хронологічному порядку.

Як видно, модуль реєстрації являє собою систему масового обслуговування (СМО) з буферним пристроєм (БП), спроможним зберігати не більш R заявок. Заявки надходять в систему з ймовірністю P в будь-який з моментів часу t_a і утворюють дискретну послідовність $t \in T_j$ де $r = \text{const}$ (час обслуговування Γ приймається постійним $T = Nr_o, N \gg l$). При цих припущеннях процес обслуговування описується ланцюгом Маркова з наступною множиною станів S : S_0 — в системі немає заявок; S_r — в системі знаходиться $r=1, 2, \dots, R$ заявок, із них обслуговується одна, інші очікують в БП. Математичні вирази, що описують процес обслуговування заявок в судновій системі реєстрації, є математичною моделлю цього процесу. Вона одержується з співвідношень ланцюга Маркова.

На рис. 9.2 представлений графік розподілу заявок на реєстрацію для прибережного плавання, коли має місце найбільша інтенсивність надходження заявок. Цей графік збудований на основі даних експлуатації системи автоматизації судноводіння "Бірюза" нат/х «Олексій Косигін»

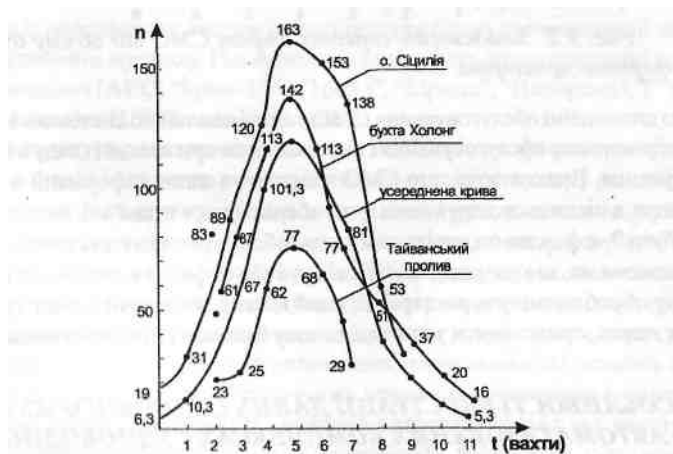


Рис. 9.2. Графік розподілу заявок на реєстрацію для прибережного плавання.

Аналіз статистичних даних процесу судноводіння показав, що вхідний потік заявок на реєстрацію відповідає нестандартному пуасоновському за $\lambda > 0$. Тому що СМО повинна обслуговувати в основному всі заявки, що надійшли, і система повинна бути з відмовами, число яких наближається до нескінченно малої величини, що визначається числом місць в БП, з обмеженим числом заявок і відносним пріоритетом. Внаслідок ергодичності процесу заявок середні втрати СМО складають: $L - F_R$,

де F_R — ймовірність заповнення заявками R всіх позицій БП.

На рис. 9.3 представлена залежність величини L від інтенсивності вхідного потоку $y = \rho N$ числа місць R в БП $A = -\lg L$.

Так, якщо обсяг пам'яті для збереження даних однієї заявки 100 байт, наявність оперативної пам'яті процесора на 500 байт забезпечує величину $I = 10^{-3}$ для $y=0,25$. На практиці, обсяг оперативної пам'яті значно більше.

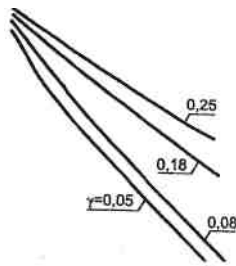


Рис. 9.3. Залежність середніх втрат СМО від об'єму буферного пристрою

По дисципліні обслуговування СМО є одноканальною системою з необмеженою тривалістю обслуговування і відновленням при виході із ладу каналу обслуговування. Враховуючи, що СМО забезпечує запис інформації в пам'яті процесора, а після цього друк даних, що зберігаються в пам'яті, то система повинна бути 2-х фазовою з довільним часом обслуговування для кожної із фаз.

Визначимо, що вхідний потік на друк (2-ої фази) є вихідним потоком приладу обробки модуля реєстрації, який можна, виходячи з аналізу статистичних даних, представити у вигляді потоку Ерланга першого порядку.

9.3. ОСОБЛИВОСТІ РЕЄСТРАЦІЇ ДАНИХ СУДНОВОГО ЖУРНАЛУ В АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСАХ СУДНОВОДІННЯ.

Останні два десятиріччя автоматизація реєстрації даних процесу судноводіння розвивалася по двох напрямках: автоматизація запису окремих даних

індивідуальними засобами автоматичної реєстрації і автоматизація даних суднового журналу автоматизованими системами судноводіння. У якості індивідуальних засобів автоматичної реєстрації інформації використовуються самописці, що входять до складу приладів курсопоказання і ехолотів; барографи; різного виду апаратура реєстрації, а саме: реверсографи, реєстратори даних про режим роботи головної силової установки і обертань гвинта, реєстратори обсервованих координат прийомоіндикаторів СНС, РНС, реєстратори даних цілей, що супроводжуються НРЛС, ЗАРП і т.д.

Одночасно, для суден, не обладнаних навігаційними комплексами і автоматизованими системами судноводіння, пропонується більш дешева автономна апаратура для реєстрації, в якій проводиться мінімум логічної обробки інформації, що поступає на друк. До простіших систем відноситься система реєстрації даних "Дако-2", розроблена шведською фірмою "Jungner Instrument". Система забезпечує реєстрацію обмеженого набору параметрів: часу, швидкості і пройденої судном відстані по лагу, моменту і швидкості обертання гребного вала, потужності на валу, температури і тиску навколишнього повітря. Система може бути зв'язана з ЕОМ для поширення логічної і математичної обробки даних і одержання додаткової інформації для реєстрації.

Реєстрацію більш повного набору даних процесу судноводіння забезпечують автоматизовані системи судноводіння "Data Bridge" (Норвегія), "Топас" (Японія), "Nokia" (Фінляндія), "Sperry" (США) та ін. В основному, вони забезпечують реєстрацію даних процесу судноводіння, що виробляються в самих системах без прийому і обробки даних суднових технічних засобів, що забезпечують процес судноводіння.

Незважаючи на різницю в обсязі і формі інформації, що реєструється, жодна із перелічених систем не вирішує проблему автоматизації запису даних суднового журналу.

Цю проблему вирішують автоматизовані комплекси судноводіння (АКС) "Бриз-1551 (1609)", "Бірюза", "Панорама СТ" (системи трьох поколінь НДІ "Квант-Навігація").

Апаратура реєстрації зазначених АКС забезпечує реєстрацію всіх основних подій і даних процесу судноводіння, розглянутих у розділі 1.1. При цьому в автоматичному режимі з прив'язкою до суднового часу забезпечується реєстрація даних рішення завдань судноводіння, реєстрація за викликом і щогодини основних навігаційних параметрів (зчислимих координат, відліку лага, курсу, швидкості судна, режиму ходу, положення стерна, числа обертів гвинта або положення лопаті гвинта регульованого кроку); реєстрація моментів включення (відключення, переключення) режимів судових технічних засобів, що забезпечують процес судноводіння (судових сигнальних вогнів, тифона, РЛС, режимів авторульового і т. д.); реєстрація даних при маневрах судна (зчислимі координати, відлік лага, курс, швидкість), реєстрація даних цілей, що супроводжуються (пеленг, дальність, швидкість і курс відносні) при їх захваті, маневрі, коли вони стають небезпечними, і

зняття з супроводу. Можливість ручного додрукування дозволяє реєструвати додатково різноманітні події і обставини плавання і несення судової служби (погіршення видимості і незвичайні явища природи, ставання на якір, швартовні і вантажні операції і т.д.).

Аналіз алгоритмів реєстрації даних процесу судноводіння в різноманітних режимах роботи систем автоматизації судноводіння "Бриз-1551", "Бірюза" показує, що ряд алгоритмів забезпечує реєстрацію надмірної інформації. До них в першу чергу можна віднести алгоритми реєстрації даних при маневрах судна як курсом, так і швидкістю, а також алгоритми реєстрації парі метрів цілей в режимі радіолокаційного контролю.

Особливістю алгоритму реєстрації даних при маневрі судна швидкістю в системі автоматизації судноводіння "Бриз-1551" є те, що ознакою початку маневру судна є зміна положення машинного телеграфу, а далі через кожні 2 хвилини протягом 6 хвилин, забезпечується реєстрація певного набору навігаційних даних. Критерієм початку маневру курсом в даній системі є зміна положення стерна на 5 або 10 градусів залежно від стану моря.

В системі "Бірюза" при маневрі судна швидкістю при зазначеній вище ознаці початку маневру швидкістю забезпечувалася реєстрація в моменти, коли швидкість судна змінювалася на значення, заздалегідь введене судноводієм із пульта управління, остання реєстрація здійснювалася через 1 хв після останньої зміни швидкості на задану настанову. Критерієм початку маневру курсом в системі "Бірюза" є зміна курсу судна на значення, встановлені судноводієм.

Якщо в режимі РЛ-контролю параметрів цілей обсяг надмірної інформації можна скоротити, виключивши реєстрацію даних цілей при їх захваті і маневрі, залишивши тільки реєстрацію даних в моменти взяття цілі на супровід, коли вона стає небезпечною і скиду її із супроводу (реалізовано в системі автоматизації судноводіння "Панорама СТ"), то при маневрі судна курсом і швидкістю скорочення обсягу інформації можливо тільки за рахунок зміни алгоритму реєстрації.

Ознаки початку і кінця маневру судна курсом можна визначити наступним способом. В процесі прямолінійного руху судно рискає з деякою амплітудою $\Delta = 0.3^\circ - 2.0^\circ$ (залежно від стану моря, типу судна і його швидкості) і з періодом 7-8-50 с. В разі маневру судна знак швидкості зміни курсу не змінюється за час $t = M/2T$ зберігається до кінця маневру. Ознакою кінця маневру судна є зміна знаку похідної курсу. Особливістю способу, що розглядається, є адаптація алгоритму до стану моря і змін маневрених характеристик судна, коли значення періоду рискання уточнюється в процесі руху судна.

Для зменшення обсягу інформації, що реєструється при маневрі судна швидкістю, в системі "Панорама-СТ" забезпечується первісна реєстрація зміни частоти обертання гвинта (або кута повороту ГРК) на значення, встановлені судноводієм. В разі, якщо після зміни частоти обертання гвинта (або

кута повороту ГРК зміна швидкості не досягнула значення, встановленого СудіюводірМз то забезпечується реєстрація встановленої частоти обертання гвинта і швидкості судна через 1 хв. після появи ознаки зміни частоти обертання (або кута повороту ГРК).

Результати експлуатації апаратури реєстрації АКС показують, що автоматизація запису даних процесу судноводіння підвищує надійність судноводіння і, отже, безпеку судна, полегшує роботу судноводіїв і дозволяє відтворити дійсну послідовність подій при розслідуванні аварії.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть основні прилади апаратури реєстрації.
2. Якому закону відповідає вхідний потік заявок на реєстрацію при плаванні в прибережній зоні?
3. Чим описується процес обслуговування заявок на реєстрацію?
4. Охарактеризуйте модель процесу реєстрації.
5. Назвіть основні вимоги до системи масового обслуговування процесу реєстрації.
6. Наведіть особливості алгоритму реєстрації даних при маневрі судна курсом.

7. Наведіть особливості алгоритму реєстрації даних при маневрі судна швидкістю.

10. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ СУДНОВОДІННЯ (АКС).

10.1. СИСТЕМНО-ТЕХНІЧНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ.

Сучасний рівень розвитку техніки поставив завдання розробки певних принципів проектування, ціль яких забезпечити створення високоефективних систем і підвищити ефективність самого процесу проектування. Методологік > аналізу і побудови АКС, що враховує їх специфіку, є системний підхід, а об'ласть науки і техніки, що вивчає технічні проблеми з позицій системного підходу, називається системотехнікою.

Системний підхід враховує наступні особливості сучасних АКС:

- багатофункціональний характер управління;
- чимале число складових частин, дії яких взаємообумовлені;
- наявність загальної цілі функціонування, складним чином пов'язаної з частковими цілями окремих підсистем;
- вплив великої кількості випадкових чинників на процеси проектування, виготовлення і експлуатації;
- складний характер експлуатації, в ході якої змінюються умови функціонування;
- необхідність обліку економічних чинників при побудові системи.

Об'єкти, що володіють переліченими властивостями, називаються великими чи складними системами. Перелічені вище особливості складних систем визначають наступні принципи системного підходу [32].

а) *Проектування має бути комплексним.* Суть цього принципу полягає в максимально повному аналізі зв'язків, як в об'єкті управління, так і в керуючій системі. Аналіз АКС, всебічна оцінка передумов і дослідження взаємодії окремих елементів АКС при рішенні завдань судноводіння (рис. 1.1) — перша умова комплексного підходу. Друга умова — максимально повний облік всіх чинників, що впливають на якість АКС, при аналізі ефективності. Проте прагнення підвищити ефективність по кожному чиннику зокрема приводить до суперечливих вимог, яким повинна задовольняти система. Очевидно, що один і той же процес управління не може бути реалізований за допомогою системи, що одночасно була б самою точною, самою надійною і самою дешевою із всіх можливих систем. Ця обставина змушує оцінювати кожний варіант системи або по комплексному критерію ефективності, куди входять в тій чи іншій функціональній залежності всі найважливіші критерії, або вирішувати завдання оптимізації для окремого критерію, враховуючи інші у вигляді обмежуючих чинників. Природно, одним із найважливіших чинників є економічний.

б) *Процес проектування повинен мати ієрархічну структуру.* Цей

принцип визначає послідовність аналізу судна як об'єкта управління і АКС при проектуванні. Відповідно до нього аналіз повинен починатися з виходів АКС, який розглядається, як єдине ціле. Після цього комплекс розбивається на невелике число достатньо великих систем (рис. 10.1), досліджується вклад кожної із них в результативний вихід комплексу. Такий підхід дозволяє точніше і швидше узгодити вимоги до характеристик елементів АКС з вимогами до якості функціонування комплексу в цілому.



Рис. 10.1. Ієрархічна модель АКС.

в) *Основний спосіб проектування складної системи—спосіб декомпозиції*. Декомпозицією називається розподіл цілого на складові частини з метою дослідження цих частин незалежно одна від одної. Ієрархична структура процесу проектування і використання способу декомпозиції пояснюється особливостями процесу прийняття рішень в ході створення АКС і в ході його експлуатації. Якість прийнятого рішення залежить від інформованості про об'єкт управління і часовий ресурс. Основною суперечністю в вимогах до організації процесу прийняття рішення є суперечність між обсягом роботи з одержання і переробки інформації та часом на цю роботу. Один із шляхів рішення цієї суперечності — використання ієрархічної структури прийняття рішення. Проблема чи завдання, що підлягає рішенню, розбивається на ряд завдань (проводиться декомпозиція завдання), кожне із яких за обсягом і складністю таке, що може бути вирішене за прийнятний час і містить координуючі умови, що забезпечують об'єднання рішень часткових завдань. Керований процес при цьому, як правило, може бути розбитий на ряд взаємозв'язаних підпроцесів. Координуючі умови виробляються внаслідок декомпозиції вхідного завдання.

Так, при формуванні керуючого діяння на стерно при русі судна по заданій траєкторії завдання адаптивного управління розбивається на розрахунок гідродинамічних характеристик судна, обчислення коефіцієнтів фільтра Калмана для оцінки вектору стану $X(t)$ і коефіцієнтів закону управління, що визначаються за обраним критерієм оптимального управління.

Постановка часткових завдань і об'єднання їх рішень в рішення повного завдання здійснюється на більш високому рівні супідрядних вирішуваних систем, ніж рішення часткових завдань, і становить процес прийняття рішень.

г) *Проектування АКС—ітераційний процес*. Контури проектованої системи первісно представляються в великій мірі невизначеними. Рішення, що приймаються на початковому етапі проектування, також є приблизними. В міру накопичування матеріалів і знань рішення уточнюються. Отже, процес проектування АКС є ітераційним процесом, на кожному етапі якого шукається більш досконале рішення, ніж попереднє. Ітераційний характер рішення завдань проектування є принциповою відміною системного підходу від традиційних підходів при синтезі систем. Треба підкреслити тісний зв'язок цього принципу з принципом комплексності, їх взаємну зумовленість і необхідність комплексного підходу на кожній новій ітерації.

д) *При проектуванні АКС потрібно передбачати властивість відкритості системи*. Це означає, що не потрібно прагнути робити АКС абсолютно і назавжди завершеним. Його потрібно зробити лише достатньо хорошим для рішення поставлених завдань, але забезпечити можливість його розвитку, удосконалення і модернізації. Це положення зумовлено високим сучасним темпом науково-технічного прогресу і скеровано на продовження терміну ефективної експлуатації системи. Разом з цим, АКС, які розробляються, повинні бути пристосовані і до роботи на різноманітних типах суден.

є) *Моделювання АКС для оцінки прийнятих рішень*. В процесі проектування АКС широко використовуються: математичні моделі, що встановлюють функції системи на основі математичних відносин, і імітаційні моделі, що відтворюють функції системи за допомогою інших систем, головним чином за допомогою ЕОМ. Пошук рішення шляхом ітераційної оптимізації з використанням для цієї цілі експериментів на моделях є найбільш характерною рисою системного підходу до проектування АКС. В процесі оптимізації система, що досліджується, представляється адекватною їй моделлю, і шляхом проведення експериментів на моделі одержується інформація про її функціонування в різноманітних умовах.

Зазначимо, що на етапі системного проектування необхідно застосування різноманітних математичних засобів: теорії ймовірності, математичної статистики, математичного програмування (лінійного, нелінійного, динамічного), теорії ігор і т.д.

10.2. ЕТАПИ ПРОЕКТУВАННЯ АКС.

Період утворення АКС складається із наступних етапів: розробок технічних пропозицій, ескізного проекту, технічного проекту, робочого проекту, створення дослідного зразка, проведення випробувань дослідного зразка, ко регування робочої документації, виготовлення головного зразка, корегування документації, випуску і запровадження в експлуатацію серійних зразків. Залежно від того, в якій мірі при проектуванні використовуються готові чи відомі технічні рішення і методологія, деякі з цих етапів можуть об'єднуватися. В інших випадках, навпроти, окремі етапи (наприклад, ескізне або технічне проектування) можуть доповнюватися експериментальними роботами для дослідження нових рішень, схем і методів. Зупинимось на змісті окремих етапів проектування АКС.

На етапі розробки технічних пропозицій (початкові пропозиції—ПП) вивчаються і аналізуються існуючі АКС і тенденції їх розвитку для вияву напряму удосконалення методів обробки і управління та їх автоматизації і формується загальна постановка завдання створення АКС. На підставі проведених досліджень визначаються "загальні контури" проектованого АКС і тактико-

технічні вимоги до нього, обумовлені його призначенням, умовами створення і використання. На підставі цих робіт визначаються орієнтовна оцінка вартості АКС, терміни створення, приводяться міркування про необхідність та ефективність створення і опрацьовується проект технічного завдання (ТЗ) на АКС. Етап ескізного проекту (ЕП) АКС заснований на результатах досліджень, проведених на першому етапі, і вимогах до АКС, висловлених у ТЗ. При його виконанні виконавець визначає доцільну міру автоматизації процесів судноводіння, формує цілі АКС, обирає засоби рішення поставлених завдань, обґрунтовує критерій ефективності, опрацьовує комплексний алгоритм обчислювального процесу і вибирає основний варіант побудови АКС із можливих альтернативних варіантів. Таким чином, головним завданням ЕП є структурний синтез АКС.

Основна частина вихідних даних для проектування АКС одержується із аналізу алгоритмів функціональних завдань. Дослідження цих алгоритмів складає першу і найважливішу частину структурного синтезу. Ціль дослідження— сформулювати вимоги до технічних засобів АКС, забезпечивши раціональний розподіл функцій управління між апаратурою і оператором (судноводієм). Найкращий варіант обирається за результатами розрахунку, моделювання і аналізу показників ефективності ряду варіантів, причому в процесі побудови кожного варіанту використовують метод ітерацій в поєднанні з методом декомпозиції. При дослідженні можливих варіантів застосовуються моделі, що забезпечують можливість приблизних оцінок. Вибір варіантів АКС, що підлягають оптимізації, в основному здійснюється евристичними методами, що засновані на досвіді, інтуїції і творчій винахідливості розробників.

В ході структурного синтезу визначається номенклатура технічних засобів, опрацювання яких повинно бути проведене на наступних етапах проектування. Приймаються заходи, що забезпечують "відкритість" АКС. Найбільш ефективним технічним прийомом, що забезпечує цю властивість, є застосування уніфікації, нормалізації і стандартизації. Уніфікація призначена для зме-LHineNM різноманітності конструкцій, що виконують одні і ті ж або близькі за 241

своїм характером функції. Вимоги нормалізації зводяться до застосування! уже розроблених і, як правило, опанованих в виробництві приладів, блоків вузлів і деталей, а також до обмеження номенклатури матеріалів, елементів і готових виробів.

При опрацюванні алгоритмів і програм проводиться оціночне програмування і уточнюються вимоги до технічних засобів. Ескізний проект розглядається замовником, його висновок з урахуванням узгоджених зауважень, є основою для опрацювання технічного проекту.

Етап технічного проектування (ТП) характеризується більш глибокою проробкою всіх основних частин АКС, причому на етапі ТП (на відміну від ЕП) визначаються єдині рішення основних питань, що будуть реалізовані в процесі наступного проектування. На цьому етапі визначаються склад АКС, підсистем і їх технічні характеристики, типи інтерфейсів, структура зв'язків між приладами. При необхідності проводиться макетування окремих іриладів АКС і їх експериментальні дослідження.

Математичне забезпечення на етапі ТП має бути повністю визначено. Це означає, що повинні бути розроблені алгоритми і програми рішення всіх функціональних завдань і проведена їх перевірка на моделюючих приладах чи ЕОМ, а також алгоритм організації обчислювального процесу АКС, опрацьовані питання забезпечення надійності АКС, розміщення його приладів і зв'язків з іншими системами. В підсумку повинен бути одержаний проект і технічних умов (ТУ) на виготовлення і постачання АКС.

Розроблений ТП приймається комісією, призначеною замовником. Рішення комісії з пропозиціями і зауваженнями затверджується замовником і є основою для робочого проектування. Матеріали ТП направляються на схвалення Класифікаційного органу (наприклад, Регістру).

На етапі робочого проектування (РП) випускається робоча документація, за якою виготовляється АКС і проводиться його наладка. Всі технічні рішення з конструювання приладів АКС повинні бути узгоджені технологами з урахуванням технологічної бази заводів-виготівників складових частин АКС. Опрацьовуються робочі програми і інструкції з експлуатації і технічного обслуговування технічних засобів АКС. Принципові документи, пов'язані з виготовленням і прийманням АКС, погоджуються і затверджуються замовником. Проводиться уточнений розрахунок економічної ефективності АКС, показників надійності і інших узагальнених показників. Виконуються рішення, прийняті на стадії ТП. В склад робочої документації обов'язково входить документація на розміщення, установку і монтаж технічних засобів АКС.

Наступний етап робіт - виготовлення системи. Прилади, що комплектують дослідний зразок системи, проходять після виготовлення автономну наладку і здаються відділу технічного контролю (ВТК) і замовнику. Після цього приступають до наладки системи. Якщо систему можна зібрати на стенді, то спочатку проводиться комплексна стиковка усіх приладів в режимі сумісної

роботи. Після цього виконується комплексна наладка системи з математичним забезпеченням (з програмами). На закінчення перевіряється відповідність характеристик системи вимогам, заданим в ТЗ. Ці роботи проводяться відомчою комісією за спеціальною програмою попередніх (стендових) випробувань, що узгоджуються з замовником і схвалюються Класифікаційним органом. Якщо систему не можна зібрати на стенді, то для забезпечення наладки заздалегідь опрацьовуються і виготовляються імітатори тих її приладів чи підсистем, що відсутні при проведенні налагоджувальних робіт і випробувань.

Комплексна стиковка і наладка системи проводиться за програмами, в яких передбачається штатна робота системи, незважаючи на наявність імітаторів. Результати випробувань системи фіксуються в акті і приймається рішення про її поставку на судно. Представник Класифікаційного органу оформляє свої висновки. Акт затверджується керівництвом виконавця.

Після усунення виявлених в процесі стендових випробувань недоліків зразок системи встановлюється на об'єкті і проводяться його приймальні випробування, програма яких узгоджується з замовником. В етапи приймальних випробувань входять пусконаладжувальні роботи і комплексна наладка системи. Необхідність проведення

цих робіт після наладки приладів на стенді по-в'язана із зміною умов роботи. Справді, при установці системи на об'єкті може змінитися довжина і взаємовплив ліній передачі інформації, з'явитися інші системи, що впливають на дану систему, змінюється рівень завад.

Приймальні (державні) випробування включають швартові і ходові випробування дослідного зразка системи. Ці роботи проводить міжвідомча (державна) комісія з участю представника Класифікаційного органу. Результати випробувань фіксуються в Акті, що затверджується Головою комісії. Представник Класифікаційного органу складає свій Акт. За результатами випробувань проводиться корегування робочої документації, за якою починається виробництво серійних зразків. Дослідний зразок системи за результатами випробувань доопрацьовується і підлягає дослідній експлуатації при штатній роботі АКС.

10.3. ВИБІР КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ АКС.

Чимале місце в проектуванні АКС займає прийняття рішень. Процес підготовки рішення полягає в порівнянні декількох альтернатив і виборі найкращої із них. Щоб проводити таке порівняння, необхідно домовитися про зміст, що вкладається в поняття "найкращий" варіант, і як кількісно оцінити якість кожного варіанту. Іншими словами необхідно обрати показник ефективності АКС. Показник ефективності АКС повинен характеризувати якість виконання всіх функціональних завдань, враховуючи витрати ресурсів, необхідних для виконання функціонального призначення АКС, мати ясний і однозначний зміст і носити кількісний характер, бути представленим кінцевими співвідношеннями, бажано функціональними, з технічними параметрами елементів АКС і його структури, допускати приблизну оцінку за експериментальними даними і мати малу дисперсію.

Ціль опрацювання і впровадження АКС-економія матеріальних і трудових ресурсів суспільства. Зрозуміло, АКС має певне функціональне призначення — автоматизоване управління судном, проте при цьому підвищення рівня автоматизації процесів судноводіння дозволяє знизити витрати на експлуатацію судна і підвищити безпеку мореплавання. Зважаючи на глобальну ціль утворення АКС, потрібно розглянути такі варіанти його побудови, впровадження яких знизить витрати на експлуатацію судна на величину S . Величина S залежить від якості рішення функціональних завдань АКС, від технічних рішень, прийнятих при його створенні, від показників режиму його експлуатації.

Досвід проектування складних АКС дозволяє зробити ряд висновків.

Перший висновок полягає в тому, що приймаючи рішення про утворення нового АКС, потрібно аналізувати співвідношення між витратами на утворення нового комплексу і експлуатацію старого. Ці економічні оцінки — самі загальні і всеосяжні характеристики ефективності систем і співвідношення між ними служить об'єктивним показником ефективності нового АКС. Для того, щоб виконати розрахунок показників ефективності системи, необхідно провести орієнтовні оцінки найважливіших технічних параметрів нової системи, встановити сукупність функціональних завдань, що вирішуються системою, умови і вимоги до режиму експлуатації і т.д. Нарешті, потрібні функціональні залежності, що зв'язують всі ці характеристики з витратами на створення і експлуатацію.

На початкових етапах проектування АКС, як правило, порівнюються декілька варіантів побудови системи. В усіх варіантах, що розглядаються, значення параметрів, перелічених в ТЗ, повинні бути не гірше заданих, а витрати на утворення і експлуатацію повинні бути в межах розрахункових значень, оцінки яких зроблені на етапі опрацювання ТП. Отже, варіанти можуть розрізнятися: а) по мірі поліпшення параметрів, заданих в ТЗ; б) по значеннях параметрів, не встановлених в ТЗ; в) по сукупності перелічених чинників.

Перший випадок допускає використання для порівняльного аналізу узагальненого економічного показника ефективності. Під ефективністю тут мають на увазі оцінку

додаткового прибутку (віддачі) від АКС, одержаного за рахунок застосування автоматизації процесів навігації і судноводіння в порівнянні з додатковими витратами на систему.

Зміна параметрів, не включених у ТЗ, що не впливають на функціональне призначення системи, часто приводить до зміни витрат на створення і експлуатацію АКС. Тому в другому випадку для порівняльного аналізу користуються тільки оцінками витрат, використовуючи одномірні залежності витрат від вимірювального параметра, вважаючи, що загальна зміна—адитивна функція окремих складових. Чим більше параметрів перераховано в ТЗ, тим менше "простору" для порівняння варіантів. Третій випадок об'єднує перші два підходи. При виробітку вимог до складових частин АКС використовуються критерії ефективності, на основі яких визначаються раціональні значення параметрів кожної підсистеми (модуля). Встановлення відповідності між значеннями параметрів, заданими в ТЗ на систему, і значеннями параметрів, що приведені в ТЗ на підсистеми і окремі прилади, — одна із самих складних і найважливіших проблем сучасного проектування, її зміст можна пояснити на прикладі [23].

Другий висновок, що випливає із досвіду проектування складних систем, полягає в тому, що розподіл вимог ТЗ на систему між окремими елементами системи є не тільки технічним, але і економічним завданням. Допустимо, що загальне ТЗ на систему відбито в часткових ТЗ на окремі підсистеми (модулі), і тоді перенесемо розгляд на рівень проектування деякої підсистеми на основі часткового ТЗ (ЧТЗ). На цьому рівні, так же як і на рівні системи в цілому, потрібно порівнювати різноманітні варіанти. Проте тепер параметри, перелічені в ЧТЗ, як правило, не пов'язані безпосередньо з системними показниками. Тому на початкових етапах проектування при виборі варіантів підсистем також застосовують узагальнений економічний показник і його окремі складові для пошуку найкращого рішення. Зміна будь-якого технічного параметра приладу завжди пов'язана з певними змінами витрат на апаратні програмні засоби. Іншими словами, існує зв'язок між параметрами приладу і витратами на нього апаратних і програмних ресурсів.

Третій висновок із аналізу проектування складних систем можна сформулювати так: щоб проектувати систему і її елементи, необхідно знати залежність між технічними параметрами і витратами на апаратні і програмні ресурси, а також витрати грошових ресурсів на одиницю цих ресурсів.

При проектуванні АКС важливою є ситуація, коли варіанти АКС розрізняються не тільки за величиною апаратно-програмних ресурсів (R), а й коли разом з погіршенням показника R покращується якась інша характеристика чи сукупність характеристик. Не виключена можливість, що характеристики, які змінюються, у різних варіантів АКС різні. В цих умовах виникає завдання побудови показника ефективності, що зв'язував би витрати з одного боку і міру погіршення деяких характеристик з іншого боку. При цьому зазначене завдання пов'язується з іншим завданням: економічною доцільністю обсягу автоматизації судноводіння. Визначальним чинником вигоди автоматизації, як правило, служить економічний ефект використання АКС.

Формування показників економічної ефективності різноманітних варіантів системи базується на принципі зіставлення витрат з вигодою, що одержують. Перша, широко розповсюджена група показників заснована на зіставленні економічних результатів з капітальними витратами. Друга група показників будується на зіставленні економічних результатів з повними витратами, капітальними і поточними. Показники другої групи повніше відповідають специфіці роботи АКЧ. Найбільш підходящим із них для оцінки економічної ефективності варіантів АКС є показник повної рентабельності Г251

$$W = Q / \Sigma S_p, \quad (10.1)$$

де W. — повні витрати на етапах проектування, виготовлення і експлуатації, що породжують цільову віддачу Q системи.

При використанні цього показника вплив морального старіння, пов'язаного з падінням цінності віддалених в часі ефектів і зростання цінності засобів, що вкладаються в утворення систем і виведених із економічного обігу до моменту початку їх експлуатації, можна враховувати за допомогою приведення економії і витрат до деякого моменту часу за допомогою коефіцієнта приведення $\exp(-E_n \tau)$. З урахуванням змін цільової віддачі і витрат, коефіцієнт повної рентабельності приймає вигляд [15]:

$$W_{np}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \int_0^t q_{\Sigma i}(\tau) K_{\Gamma_i}(\tau) \exp(-E_n \tau) d\tau}{\sum_{i=1}^m \int_{-t_0}^0 K_i(\tau) \exp(-E_n \tau) d\tau + \sum_{i=1}^m \int_0^t 3_{екi}(\tau) \exp(-E_n \tau) d\tau}; \quad (10.2)$$

де $i = 1, 2, \dots, m$ — кількість модулів системи; $(-t_0, 0)$ — інтервал часу капітальних витрат до моменту вводу системи в експлуатацію; q_{Γ_i} — інтенсивність цільової віддачі Γ -го модуля системи, капітальних і експлуатаційних витрат; K_{Γ_i} — коефіцієнт готовності Γ -го модуля системи; E_n — нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних затрат.

При рівномірному розподілі витрат, коли можна припустити на етапі ПТ (ЕП), що $K(\tau) = K = \text{const}$, $3(\tau) = 3 = \text{const}$, маємо

$$K_i = \frac{\exp(E_n t_0) - 1}{E_n}; \quad 3_{екi} = \frac{1 - \exp(-E_n t)}{E_n}. \quad (10.3)$$

Із аналізу виразу (10.3) випливає, що чим довше опрацьовується система, тим значніші проведені капітальні витрати і тим більший період експлуатації системи потрібний для досягнення її рентабельності. Крім того, коефіцієнт готовності у вигляді (10.2) характеризує не тільки надійність системи в заданих умовах експлуатації, а і організацію технічного обслуговування.

За коефіцієнтом рентабельності системи (10.2) можна судити і про економічно доцільний обсяг автоматизації процесів судноводіння. Рішення завдання про рентабельність витрат на збільшення обсягу автоматизації можна одержати шляхом прямої оцінки значення $W(TJ)$, тобто $W(\Gamma) > 1$, де $\Gamma_n = 1/E_n$ — нормативний час.

Багатофункціональний характер складної системи, наявність в її структурі чітко окреслених підсистем (модулів) приводить до доцільності введення на наступних етапах проектування крім загального критерію ефективності W , часткових критеріїв ефективності W_i ($i = T, 2, \dots, U$). Найбільше розповсюдження в практиці проектування інформаційно-керуючих комплексів наряду з загальним показником ефективності (10.1) знаходить наступний узагальнений показник [32] з заданими обмеженнями на окремі власні показники:

$$W = (a_1 W_1 + a_2 W_2 + \dots + a_m W_m) / W_{m+1}; \quad (10.4)$$

В (10.4) чисельник становить зважену суму часткових технічних показників $W_1, W_2, \dots, W_m$, а знаменник приведені витрати W^{K+3} , відповідні знаменнику формули (10.2). Вагові коефіцієнти $a_1, a_2, \dots, a_m$ в (10.4) додатні, коли відповідні часткові показники максимізуються, і від'ємні, якщо вони мінімізуються. При проектуванні окремих підсистем завдання з деякими частковими показниками вдається звести до завдання тільки з показниками W_x і W_y . $M^{> \text{але}}$ навіть у цьому випадку не існує значення, що обертало б у максимум показник W_x і одночасно в мінімум W_y . Тому вислів "пошук оптимального варіанту, що забезпечує максимальний ефект при мінімальних витратах" не може служити формулюванням завдання проектування. Можна казати про вибір оптимального варіанту за узагальненим критерієм, чи раціонального варіанту, розуміючи при цьому, що це

пошук компромісу між вигодою і витратами. Пошук такого компромісу іде в декілька етапів.

На першому етапі за допомогою критерію $W=WJW$ можна відкинути явно нераціональні варіанти рішень, що поступаються іншим варіантам за обома показниками. Після цього можна перейти до пошуку компромісного рішення.

При наявності деяких власних показників використовується спосіб послідовних поступок. Припустимо, що власні показники ефективності розташовані в порядку зменшення важливості: спочатку основний W_v , після цього допоміжні W , W_y . Для простоти будемо вважати, що кожний із них потрібно обернути в максимум (якщо це не так, достатньо змінити знак показника). Процедура побудови компромісного рішення зводиться до наступного. Спочатку шукається рішення, що приведе до максимуму головного показника ефективності W . Після цього назначається, виходячи з практичних міркувань і точності, з якою відомі вихідні дані, деяка "поступка AW ", яку ми згодні допустити, щоб обернути в максимум другий показник W_r . Накладаємо на показник W_x обмеження, щоб він був не менш, ніж $W^* - AW_x$, де W^* — максимально можливе значення W_v і при цьому обмеженні шукаємо рішення, що приводить до максимуму W . Далі знову назначається поступка в показнику W_2 , ціною якої можна максимізувати W_3 , і т.д. Такий спосіб побудови компромісного рішення добрий тим, що тут відразу видно, якою ціною "поступок" в одному показнику набувається виграв в іншому.

При будь-якому способі формалізації завдання кількісного обґрунтування рішення за загальним показником ефективності залишається до кінця

невизначеним, тому остаточний вибір рішення робить головний конструктор тор. Справа розробників — надати в його розпорядження достатню кількість даних, що дозволять всебічно оцінити переваги і недоліки кожного варіанту рішення і, спираючись на них, зробити остаточний вибір.

10.4. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЛКС.

Для всіх типів суден можна виділити наступні завдання судноводіння, рішення яких вимагає автоматизації: експлуатаційне і навігаційне планування рейсу; контроль руху судна (оперативна навігація); попередження сутичок суден; управління рухом судна; відображення і реєстрація даних процесу судноводіння. Найбільш раціональний розподіл функцій складових частин АКС має вигляд, представлений на рис. 10.1. Як видно, якщо на нижньому рівні ієрархії АКС знаходяться датчики інформації ПЕОМ, комплекс цифрової карти, то на верхньому — робоче місце судноводія, з системою відображення інтегрованої інформації, що характеризує всі сторони процесу судноводіння.

Із аналізу складу і схем рішення завдань АКС випливає, що він повинен поєднувати принцип як централізованого, так і децентралізованого управління, забезпечувати передачу в системі потоків інформації і зв'язок їх з зовнішнім середовищем. Тобто АКС становить інформаційно-керуючу систему, що характеризується вектором параметрів прикладних завдань $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, вектором параметрів, що визначають структуру і характеристики технічних засобів системи $S = \{s_1, \dots, s_n\}$, і вектором параметрів алгоритму організації обчислювального процесу $R = \{r_1, \dots, r_j\}$. До основних елементів вектора $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$, що визначає якість системи, відносяться продуктивність ($y = P$), час відповіді / час рішення завдання ($y = U$), надійність ($y = P$) і вартість ($y = C$) [15]: $y = f(X, S, R)$.

Для таких складних систем, як АКС, не запропоновані критерії і способи оптимізації роботи в цілому. Тому завдання синтезу АКС спрощують декомпозицією АКС на окремі підсистеми (модулі), і використовують власні критерії оптимізації для синтезу підсистем. Вибір складу і розмірів підсистем виробляють відповідно до загальноприйнятих способів збереження системо-створюючих зв'язків. Декомпозиція системи припускає, що для кожної із підсистем існують власні цільові функції ефективності (W), включаючи евристичні, що витікають із загальної цільової функції

ефективності. Декомпозиція системи на ряд підсистем дозволяє проектувати кожну із них окремо, виходячи з власних цільових функцій. Процес пошуку найкращого варіанта АКС з використанням декомпозиції проводять взаємним корегуванням часткових оптимумів підсистем ітераційним способом, коли на кожному наступному ході знаходиться рішення, більш досконале, ніж попереднє,

На першому етапі синтезу АКС, що включає етапи ПП і ЕП, вибирається найбільш ефективний його варіант за значенням $W(T)$ для заданого часу експлуатації $(0,7^{\wedge})$ згідно з (10.2). При цьому цільова віддача АКС визначається сумарним прибутком, одержаним від завдань, що вирішуються. Звичайно при визначенні ефективності систем судноводіння враховують вплив системи на підвищення провозної спроможності судна і на зниження навігаційної аварійності, а також зменшення пропульсивних втрат при допомозі автоматичного управління рухом судна. Підвищення провозної спроможності судна зумовлено скороченням тривалості рейсу, більш високою точністю судноводіння. Зменшення пропульсивних втрат сприяє зниженню витрат палива.

Вплив підвищення точності визначення елементів руху судна і об'єктів, що супроводжуються, якості управління рухом судна, точності обчислень на економічну ефективність систем судноводіння достатньо повно досліджені в [16]. Так, залежність величини інтенсивності цільової віддачі зміщення із лінії заданого шляху $<t$ визначається з виразу:

$$q_{\Sigma j} = \varepsilon \left[0.1 + \left(\frac{V_c}{10} \right)^{2/3} \right]^2 \frac{\sigma_y}{2V_c^2} T_{ek} \Delta b_x; \quad (10.6)$$

де ε — коефіцієнт ходового часу, Lb_x — вартість добової витрати палива, T — експлуатаційний період судна, V — швидкість судна, a — середня квадратична похибка визначення бокового зміщення.

В процесі проектування декомпозиція АКС уточнюється. Наряду з цим опрацьовуються функціональні схеми рішення завдань, проводиться оцінка основних характеристик керуючих алгоритмів підсистем і складається комплексний алгоритм обчислювального процесу АКС. Для підвищення оперативності і зменшення трудоемності система алгоритмів управління будується за ієрархічним принципом, коли алгоритми вищих рівнів визначають і координують роботу підпорядкованих їм приладів. Таким чином, ітеративним способом на першому етапі синтезу вибирається і обґрунтовується структура АКС, цільова функція оптимального проектування, здійснюється декомпозиція загальної задачі проектування АКС на ряд більш простих задач проектування підсистем і відповідне представлення загальної цільової функції у вигляді суперпозиції цільових функцій оптимального проектування підсистем, складається комплексний алгоритм обчислювального процесу. До найбільш прогресивних архітектур інформаційно—керуючих систем відноситься розподілена мультипроцесорна система. Утворення розподіленої АКС дозволяє використати різноманітні комплектації АКС в залежності від типу судна.

На другому етапі синтезу АКС (технічний — ТП і робочий — РП проекти) опрацьовується функціональна схема, визначається склад приладів підсистем і їх технічні характеристики, типи інтерфейсів і структура зв'язків між приладами, а також алгоритм організації обчислювального процесу. На практиці вибір варіантів структури АКС, що підлягають оптимізації, здійснює

ся евристичними методами, що засновані на досвіді, інтуїції і творчій винахідливості розробників і судноводіїв. Результати аналізу АКС показують, що набір апаратних засобів АКС включає в себе: датчики інформації; обчислювальні прилади, що забезпечують реалізацію алгоритмів в системі; засоби зв'язку системи з датчиками і споживачами інформації; засоби з'єднання і комутації, призначені для об'єднання обчислювальних засобів в багатопроцесорну систему; прилади відображення, реєстрації і управління АКС.

Основним елементом, що визначає структуру АКС, є комплекс засобів мікропроцесорної техніки (ЗМПТ). Широке впровадження ЗМПТ на етапі ТІ 1 утворення АКС дозволяє вирішити завдання уніфікації і стандартизації приладів, модулів АКС на різноманітних рівнях, а також дає можливість гнучкої підходу до реконфігурації АКС в залежності від типу судна. В рамках АСУ ТІ судна уніфікації і стандартизації ЗМПТ підлягають як окремі комплектуючі прилади і конструкції пультів, так і апаратно-програмне забезпечення міждисциплінарного обміну інформацією. В АКС одночасно опрацьовуються декілька задач різноманітними приладами, що працюють паралельно, і використовується режим мультипрограмної обробки, для якого продуктивність системи виражається із виразу

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} t_{обij}}{\sum_{i=1}^N u_i}, u_i \leq u_{i\text{дон}}, \quad (10.7)$$

де $u_{i\text{дон}}$ — граничний час відповіді для i -ї задачі; λ — інтенсивність потоку заявок типу i -го процесора; $t_{обi}$ — середній час обслуговування заявки i -го типу; m — кількість типів заявок.

Мінімально необхідна ефективна швидкість, при якій здійснюється стаціонарний режим роботи процесора для реалізації заданого набору алгоритмів, визначається з середнього часу обслуговування заявки

$$V_{эфj} = \sum_{j=1}^m \lambda_j \bar{N}_{онj}; \quad (10.8)$$

де N_m — трудомісткість алгоритму за заявкою i -го типу.

Враховуючи, що час обслуговування не змінюється з зміною дисциплін обслуговування, основною часовою характеристикою функціонування модуля процесора вважається середній час чекання обслуговування. Для АКС, що працюють в реальному масштабі часу, характерними дисциплінами обслуговування є безпріоритетне обслуговування і обслуговування з відносним і абсолютним пріоритетами, для розрахунку середнього значення тривалості ($t_{мк}$) яких використані відповідні вирази

$$\bar{t}_{чекj} = \sum_{j=1}^m \rho_j \bar{t}_{обj} (1 + v_j^2) / 2(1 - R),$$

$$\bar{t}_{чекj} = \sum_{j=1}^m \rho_j \bar{t}_{обj} (1 + v_j^2) / 2(1 - R_{j-1})(1 - R_j),$$

$$\bar{t}_{чекj} = \frac{R_{j-1} \bar{t}_{обj}}{1 - R_{j-1}} + \sum_{j=1}^m \rho_j \bar{t}_{обj} (1 + v_j^2) / 2(1 - R_{j-1})(1 - R_j),$$

де $V = \sigma_{обj} / t_{обj}$ — коефіцієнт варіації, $R = \sum_{j=1}^m \rho_j$ — сумарний коефіцієнт завантаження

процесора, $\rho_j = \lambda_j / \mu_j$ — коефіцієнт завантаження процесора, утворений потоками з пріоритетами вище j (чим вище пріоритет, тим нижче j), $R^j = \sum_{i=j}^m \rho_i$

Очевидно, що введення відносних пріоритетів приводить до зменшення часу чекання для заявки з високими пріоритетами за рахунок збільшення часу чекання для заявок з низькими пріоритетами, а встановлення абсолютних пріоритетів ще більше скорочує час чекання. У зв'язку з цим для більшості задач судноводіння існує обмеження на середній час чекання обслуговування заявок ($t_{чекi}^{доп}$, $i = 1, 2, \dots, m$), і необхідна ефективна швидкість процесора визначається із виразу:

$$V_{эфn} \geq \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \lambda_j \bar{N}_{онj} + \sqrt{\sum_{j=1}^m \lambda_j \bar{N}_{онj} / 4 + \sum_{j=1}^m \lambda_j \bar{N}_{онj} (1 + v_j^2) / t_{дон}}; \quad (10.9)$$

Уточнення ефективної швидкості процесора для обраних дисциплін обслуговування, що забезпечують задану кількість об'єктів обслуговування, виробляється при синтезі алгоритму організації обчислювального процесу. Вихідними даними для побудови

алгоритму організації обчислювального процесу є часові характеристики заявок: інтенсивність надходження заявок X , розподіл інтервалів часу між надходженнями заявок; період обслуговування заявок $t^{\wedge}$ і допустимий час чекання $t_{\text{мдм}}$. Проведений аналіз заявок показав, що з точки зору моментів надходження заявок в АКС існує їх три типи: періодичні заявки з фазами, що устанавлюються довільно (обслуговування з відносним пріоритетом), періодичні заявки з невідомими початковими фазами (абсолютним пріоритетом) і заявки з невідомими моментами надходження (безпріоритетні і з відносним пріоритетом). За тривалістю виконання програм вони відносяться до детермінованих заявок, для яких у деякому інтервалі змінюється тривалість виконання їх.

Завдання синтезу алгоритму організації обчислювального процесу кожного з процесорів АКС можна сформулювати наступним: для заявок з заданими часовими характеристиками потрібно побудувати алгоритм організації обчислювального процесу, що забезпечує мінімізацію середнього сумарного штрафу C за затримку обслуговування заявок і простою процесора

$$C_i = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \lambda_{ij} t_{\text{чек}ij} + \beta_i (1 - \rho_i) = \min; \quad \text{в. 10.10}$$

а., — величини штрафу за одиницю часу чекання заявок/-го типу і простою і-го процесора відповідно; $I^{\wedge}L$ — середній час чекання черги заявку-го типу і-го процесора.

Варійованими параметрами при рішенні задачі є моменти надходження заявок, для яких вони можуть устанавлюватися довільно, дисципліни обслуговування заявок і їх пріоритети.

В загальному вигляді алгоритм організації обчислювального процесу одержується приведенням всіх типів заявок до періодичних заявок. Цей алгоритм має вигляд, приведений на рис. 10.2. Для кожного з процесорів розподіленої АКС залежно від виду задач, що вирішуються, можливе видалення відповідних частин алгоритму. Виходячи з прийнятого алгоритму організації обчислювального процесу і відповідного аналізу програм прикладних задач, що реалізуються в АКС, на етапі РП уточнюються навантаження і необхідна продуктивність кожного з процесорів, пропускна спроможність апаратури вводу/виводу даних. Враховуючи, що АКС працює в реальному масштабі часу з використанням діалогового режиму при чималих змінах навантаження залежно від району плавання і навігаційних обставин, для зменшення величини Π створюється запас швидкості процесорів, приймаючи в умові (10.9) величину V максимальною, а також запас ємності оперативної пам'яті до 30-40%

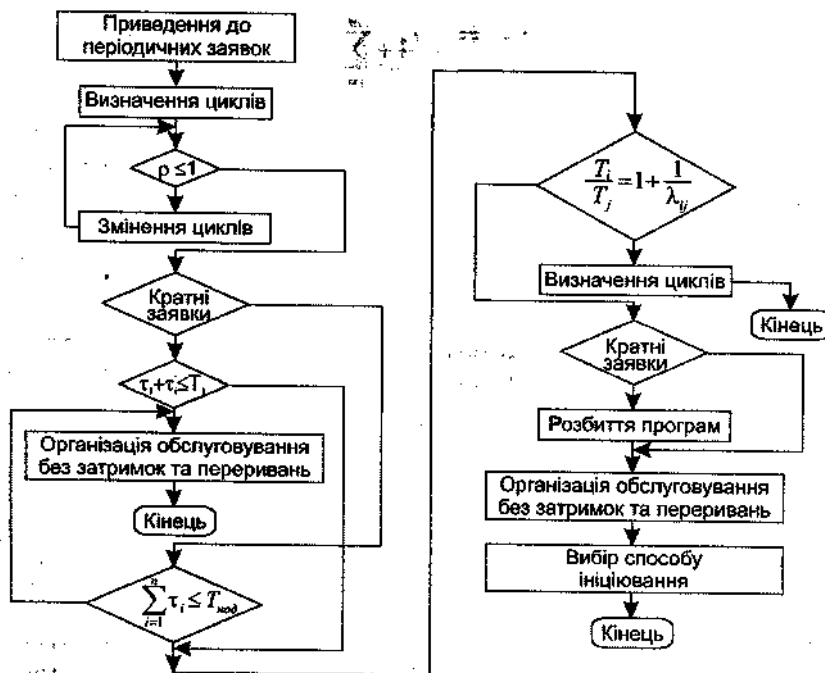


Рис. 10.2. Алгоритм організації обчислювального процесу

T — мінімальний період надходження заявок,

T_u — найбільший загальний знаменник періодів надходження заявок.

На основі уточнення складу апаратурних засобів АКС визначається вартість АКС, що входить у капітальні витрати показнику її ефективності (10.2).

Приведений підхід до синтезу АКС використовувався при опрацюванні інтегрованої системи судноводіння "Панорама СТ". На основі аналізу задач судноводіння можна виділити і наступні самостійні функції АКС, що в більшій чи меншій мірі пов'язані з потоками даних: первинна і вторинна обробка РЛ-інформації; рішення задач навігації і підготовка цифрової картографічної інформації; перетворення РЛ-, картографічної і навігаційної інформації в телевізійну (ТВ) інформацію з відображенням на ТВ-індикаторі; управління рухом судна; обробка і запис даних процесу судноводіння; перетворення інтегрованої інформації процесу судноводіння в ТВ-інформацію з відображенням на ТВ-індикаторі.

Для реалізації кожної із перелічених функцій виділяється відповідний набір засобів мікропроцесорної техніки (ЗМПТ). Вся різноманітність ЗМПТ АКС об'єднана в агреговану систему ЗМПТ, в якій передбачені наступні рівні:

- елементна база;
- модулі, прикладне програмне забезпечення, елементи конструкцій систем;
- пристрій (підсистема), системне програмне забезпечення, конструкція приладу;
- АКС як розподілена обчислювальна система.

При побудові універсальних обчислювальних засобів застосовується принцип стандартних модулів, який використовується як в архітектурі АКС (процесор — мікроЕОМ, ПЗП, ДОЗП, ОЗП, адаптери), так і в її програмному забезпеченні. Основою при опрацюванні модулів, незважаючи на певні успіхи в області автоматизації проектування, є досвід і інтуїція розробника, що базується на детальному аналізі вихідних вимог і можливостях елементної бази. З метою уніфікації апаратури комплексу застосовується однорідна обчислювальна техніка з використанням не тільки мікроЕОМ одного типу, але і однотипного каналу зв'язку між мікроЕОМ. У вигляді каналу зв'язку мікро-ЕОМ кожного з пультів використовується ДОЗУ, що забезпечує високу швидкість обміну і простий протокол обміну. Незважаючи на складність в проведенні змін в конфігурації жорстко з'єднаних мікропроцесорних систем, для АКС, що забезпечують рішення завжди одного і того ж переліку задач по "жорстко зашитій" програмі, такий підхід припустимий.

З метою забезпечення необхідної продуктивності і надійності АКС в ньому використовуються мікроЕОМ двох рівнів. Функції мікроЕОМ верхнього рівня: диспетчеризація, запровадження даних, управління потоками даних, крім специфічних задач (навігації в одному випадку і реєстрації в другому). Зв'язок з іншими підсистемами і датчиками виконують мікроЕОМ нижнього і верхнього рівнів

за допомогою адаптерів. Структурна побудова програмного забезпечення здійснюється за модульно-ієрархічним принципом. За функціями, що виконуються програми АКС розбиті на групи: управління обчислювальним процесом; обмін інформацією з абонентами; рішення функціональних задач; контролю і діагностики. Перші дві групи програм складають операційну систему АКС.

Задача організації обчислювального Процесу полягає в знаходженні алгоритму виконання заявок, якими є вимоги на виконання програм відповідно ними процесорами. Вихідними даними для рішення цього завдання є моменти і надходження заявок $t^1, t^2, \dots$. При опрацюванні алгоритму передусім перевіряють умови відсутності перевантаження процесора [15].

Оскільки людину в наш час ніяк не можливо виключити з процесу управління судном, АКС є і будуть ергатичними системами, що дозволяють працювати судноводію з обчислювальними комплексами в діалоговому режимі. Показником правильності розподілу функцій між людиною і комплексом < резервний час судноводія $T = T_{\text{упр}} - T_{\text{оп}};$

де T — загальний час управління; $T_{\text{упр}}$ — час на управління, витрачений судноводієм. Дослідження показують, що найкраща величина резервного часу $^{0,1-0,15}T$.

Висловлений підхід до проектування АКС дозволяє більш ефективно реалізувати основні технічні вимоги, що пред'являються до АКС.

10.5. ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ РОБОТИ І ДІАГНОСТИКИ АКС.

Успішність застосування АКС за призначенням істотно залежить від технічного стану системи. Складність, багатфункціональність АКС, умови експлуатації пред'являють особливі вимоги до експлуатаційної надійності таких систем. Це в свою чергу накладає певні вимоги як до побудови систем, так і організації контролю їх роботи, діагностики, технічного обслуговування. З іншого боку, враховуючи, що з системою працюють судноводії, кваліфікації яких у галузі радіоелектроніки низька, система повинна забезпечувати простоту і надійність в експлуатації. На практиці реальна ефективність роботи апаратури повинна наближатися до ймовірності достовірної події [17].

Зазначені передумови визначають наступні основні вимоги до АКС:

- забезпечення ремонтпридатності;
- необхідність функціонального резервування каналів основних режимів роботи систем;
- використання високонадійної елементної бази;
- забезпечення засобами діагностики (ЗД) перевірки загальної працездатності системи з метою визначення готовності її до виконання поставлених завдань з одного боку, пошуку несправності, проведення профілактичних робіт для підтримки апаратури в справному стані і подовження технічного ресурсу з іншого боку;
- наявність відповідних комплектів ЗП;
- відповідність "робочого місця" оператора вимогам ергономіки і простоти в експлуатації.

Виходячи з вимог ремонтпридатності, апаратура АКС повинна складатися з функціонально закінчених елементів: приладів, блоків, касет, вузлів. При цьому апаратуру АКС доцільно поділити на декілька рівнів: приладів — незмінних елементів, що

відновлюються; вхідних в прилади блоків — змінних елементів, що відновлюються; вхідних в блоки деталей — змінних елементів, що не відновлюються. Зазначене розділення апаратури на відповідні рівні і склад ЗІПа з урахуванням особливостей експлуатації визначають підхід до побудови системи діагностики (СД). Організація контролю і діагностики в системі повинна мати ієрархічну структуру побудови. До верхніх рівнів слід відносити контроль в роботі, що забезпечує перевірку функціонування основних вузлів системи, і контроль загальної працездатності (КЗП) АКС, характерною особливістю якого є можливість проведення його за режимами чи модулями при сумісній роботі з іншими режимами і модулями АКС, що дозволяє зробити організацію роботи з АКС більш гнучкою. Причому, якщо організація КЗП повинна бути централізована і управління режимом КЗП має здійснюватися з пультів АКС, звідки здійснюється управління відповідними режимами АКС, то організація діагностики повинна бути децентралізована на рівні локалізації несправності в приладах, а управління режимом має здійснюватися з панелі управління приладів. Це пояснюється і тим, що КЗП виконує судноводій, а діагностикою і ремонтом займається фахівець з радіоелектроніки. Крім того, при децентралізації зменшується число зв'язків і підвищується стійкість до перешкод апаратури діагностики, що в цілому підвищує надійність.

З метою забезпечення максимальної простоти (відповідно спрощення апаратурної реалізації, підвищення надійності і зниження вартості) і вірогідності контролю і діагностики доцільно при побудові СД вжити наступних заходів:

- найбільш повне охоплення апаратури, що перевіряється проходженням стимулюючих сигналів;
- скорочування кількості контрольних програм за рахунок використання одних програм перевірки дискретних приладів, що виконують логічні операції, при контролі і діагностиці;
- використання послідовного способу пошуку несправності, що дозволить використати справні прилади, як генератори стимулюючих сигналів і джерел живлення;
- використання оператора для проведення простих операцій з перевірки, коли виконання цих операцій апаратурою надто складне і дороге.

Необхідна вірогідність способу контролю може бути досягнута перевіркою параметрів, обраних за способом рангової кореляції. Під вірогідністю способу контролю мають на увазі ймовірність того, що хоч би один із контрольованих при даному способі контролю признаков дорівнює нулю при умові виникнення відмови в об'єкті контролю. Найбільш прийнятним на практиці критерієм оцінки вірогідності способу контролю може служити повнота контролю D :

$$D = \lambda_{\text{ак}} / \lambda_{\text{ж}}; \quad (10.11)$$

де $\lambda_{\text{ж}}$ — інтенсивність відмов еквівалентних контрольованих елементів при обраному способі контролю, λ_m — сумарна інтенсивність відмов всього об'єкта контролю. За встановленою практикою при опрацюванні систем контролю і діагностики потрібно задаватися наступними показниками повноти контролю: $Z) = 0.980 \sim 0.995$ для каналу КЗП; $,0 = 0.95 \sim 0.98$ для каналу пошуку блоку, що відмовив.

Ефективність способів діагностики можна оцінити за критерієм потенційної ефективності. Для моделі об'єкта контролю з малою тривалістю циклу контролю, коли можна припустити, що стан як апаратури контролю та діагностики, так і об'єкта контролю визначаються в основному процесами, що відбувалися за час між перевірками і в момент включення, а в процесі контролю і діагностики вони не змінюються, зв'язок між потенційною ефективністю F і технічними характеристиками об'єкта контролю і

$$F_n = 1 - (\bar{P}_{\text{мк}} + \bar{P}_{\text{ак}}) / P(A) \quad (10.12)$$

апаратури урахування її інструментальної похибки визначається рівнянням:

$P_{\text{ак}}$ — ймовірність відмови апаратури контролю.

де $P(A)$ — ймовірність події, що полягає в відсутності відмови об'єкта контролю; P —дефект вірогідності способу контролю

$$\bar{P}_{mk} \cong 1 - \frac{\lambda_{ek}}{\lambda_{\Sigma}};$$

Для даного критерія ефективності контролю апаратура контролю вважається допустимою, якщо виконується умова:

$$F_{\text{п}} > F_{\text{птш}} = 0.95. \quad (10.13)$$

В разі, якщо ця умова (10.13) не витримується, необхідно переглянути контрольовані параметри на предмет збільшення їх числа і вибору нових параметрів з великим ваговим коефіцієнтом чи доопрацювати апаратуру контролю з метою підвищення надійності. Враховуючи, що ранні етапи розробки виробів (технічні пропозиції, ескізний проект) характеризуються великою мірою невизначеності, вибір способів контролю працездатності апаратури, пошуку місця відмови, величин технічних і економічних показників якості способів діагностики, а також порівняльної оцінки варіантів побудови систем виконують евристичними методами оптимізації, заснованими на математичній обробці інформації експертів — висококваліфікованих, фахівців, що займаються опрацюванням і застосуванням даних систем. На наступних етапах опрацювання АКС (технічний і робочий проекти) ставиться завдання розробки вбудованих СД, що забезпечують задану безвідмовність і ремонтпридатність. Виходячи з цілі утворення СД у вигляді критерію оптимальності доцільно обрати коефіцієнт готовності об'єкту діагностування. При цьому завдання оптимізації засобів діагностування представляється як завдання визначення оптимальних показників об'єкта.

Важливе значення для підтримки заданої надійності АКС має організація технічного обслуговування. Враховуючи багатофункціональність і складність АКС, для його експлуатації і технічного обслуговування необхідна спеціальна підготовка. Але у той же час потрібно визначити, що надійність АКС повинна бути такою, щоб не треба було вводити на судах, за винятком може пасажирських і спеціальних, нової штатної одиниці — радіонавігатора. Витрати на такого висококласного судового фахівця значно знижують економічний ефект від впровадження засобів автоматизації на судах.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть основні системо-технічні принципи проектування АКС.
2. Назвіть етапи розробки АКС.
3. Дайте перелік основних робіт, що проводять на кожному із етапів проектування.
4. Приведіть критерії ефективності на основних етапах проектування.
5. Приведіть критерії ефективності способів діагностики.
6. Що характеризує коефіцієнт готовності?

11. ВІТЧИЗНЯНІ БОРТОВІ АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ СУДНОВОДІННЯ.

Перші зразки автоматизованих комплексів судноводіння з'явилися на суходолі в кінці шестидесятих років. Серед них можна назвати такі відомі системи як АКС «Automate» фірми «Iotron» (США) і «Data Bridge» фірми «Norcontrol» (Норвегія). З того часу АКС зазнали суттєвих якісних змін як в елементи і в базі, так і переліку задач, що вирішуються. Достатньо сказати, що названі фірми розробили вже кілька поколінь систем автоматизації судноводіння. Тому при аналізі того чи іншого комплексу судноводіння важливе значення має дата його випуску. Автоматизовані комплекси судноводіння використовуються частіше за все на великотоннажних транспортних та промислових судах і поступово витісняють з них розрізнені засоби навігації та управління судном, що застосовувалися раніше.

Найбільш відомим розробником і виробником вітчизняних комплексів судноводіння є НДІ «Квант-Навігація» (м.Київ), створений на базі СКБ НДІ "Квант". Ним створені три покоління АКС. Представником першого покоління є розроблений в 1975 році навігаційний автоматизований комплекс (НА К) «Бриз-1551 (1609)», другого— розроблений в 1984 році комплекс судноводіння «Бірюза», третього — розроблений в 1992 році комплекс судноводіння «Панорама».

Навігаційний автоматизований комплекс «Бриз». Комплекс «Бриз» розроблено для використання на танкерах типу «Крим» та ролкерах типу «Капітан Смірнов». Він дозволяє

вирішувати задачі визначення місця судна, виробітку маршрутних координат, запобігання зіткнень, проведення експлуатаційних та навігаційних розрахунків, реєстрації навігаційних параметрів... має систему контролю та пошуку несправності [9].

НАК «Бриз» складається з радіолокаційної станції «Бриз» з електронній міндикатором ситуацій «Бриз-Р», навігаційного комплексу «Бриз-Н», інформаційно-обчислювального комплексу (ЮК) «Бриз-І», системи гідроакустичних лагів «Онега» і виконаний у вигляді пультів, що встановлюються в центрі поєднаних ходової та штурманської рубок (рис. 11.1).

Задачі, що вирішуються НАК «Бриз», розподіляються на безперервні з автоматичним вводом даних та епізодичні з ручним вводом даних. До безперервних задач відносяться: визначення місця судна по зчисленню, корекція зчислених координат за даними РЛС «Бриз», корекція зчислених координат за даними РНС «Декка», вироблення маршрутних координат, знаходження відстані до точки повороту, обчислення величини поперечного зміщення судна відносно заданого шляху, задачі запобігання зіткненню суден. До епізодичних задач відносяться плавання по дузі великого кола, визначення азимутів, відстаней та часу плавання до заданої точки, поправки компасу, елементів лінії положення за небесними об'єктами, часу сходу та заходу сонця, зчислених координат за заданими величинами курсу, швидкості та часу плавання, кута вітряного дрейфу та сумарного зносу.

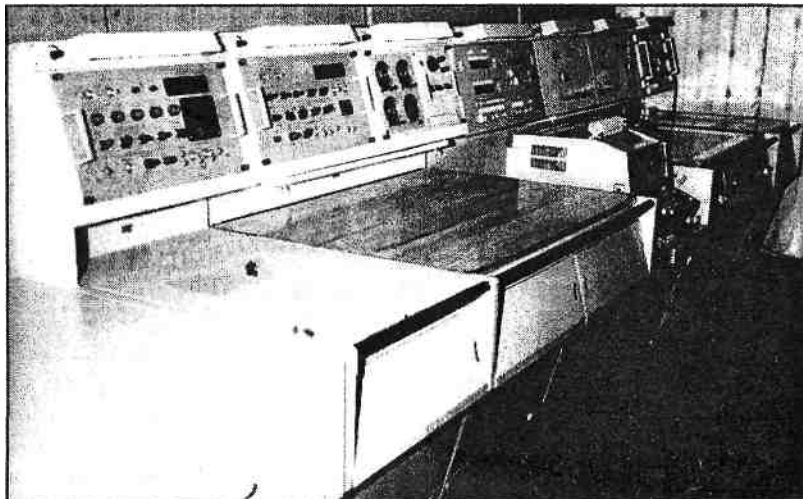


Рис. 11.1 Автоматизований комплекс судноводіння «Бриз-І»

Комплекс дозволяє проводити експлуатаційні розрахунки вантажного плану з оптимальним варіантом розподілу вантажу, перевірку посадки, міцності та остійкості при розподілі вантажу по вантажних та баласних приміщеннях, баластировки по заданому дедвейту та посадці судна.

В НАК «Бриз» проводиться автоматична реєстрація даних судового журналу (навігаційних даних та параметрів технічних засобів, реєстрація даних за викликом, реєстрація даних вирішення задач). Автоматична реєстрація здійснюється кожного часу, а також при зміні величин навігаційних даних чи параметрів технічних засобів. При цьому на стрічці телетайпу проводиться роздруковування моменту судового часу, відліку лага, курсу по компасу, величини шагу гвинта, режиму роботи силової установки, положення пера стерна, моменту включення та виключення технічних засобів судноводіння.

Автоматизована система судноводіння «Бірюза». Суднова система судноводіння «Бірюза» створена на основі модульного принципу побудови АКС з можливістю гнучкого нарощування функціональних модулів для різних типів суден. У повній комплектації вона призначена для суден місткістю більше 10000 регт. Обробка інформації в системі забезпечується на базі мікропроцесорної техніки. Система дозволяє вести безперервне автоматичне зчислення та прокладку шляху судна на карті, проводити обсервації, корегувати зчислювані координати, автоматично управляти рухом судна по курсу і

маршруту, автоматизувати рішення задач запобігання зіткнень, контролювати морехідно-міщюстні характеристики судна за заданим розміщенням вантажів, запасів та баласту, а також автоматизувати реєстрацію даних суднового журналу.

До складу АКС «Бірюза» входять модулі: інформаційно-управляючий - «Бірюза-ІУ», автоматичної радіолокаційної прокладки - «Бриз-Е», судноводіння - «Бірюза-С», реєстрації «Бірюза-Р», контролю морехідно-міщюстних характеристик судна «Бірюза-КМ». Комплекс забезпечує сумісну роботу з НРЛС «Наяда-5» («Енісей Р-10»), магнітним компасом КМ-145С, індукційним лагом ЛІ2-1 (ІЕЛ-2М), гідроакустичним лагом ГАЛ (ЛА-53), ехолотом ІЕЛ-МЗБ, прийомоіндикаторами СНС «Транзит», «Цикада СН» («Бірюза СН»), РНС «Лоран-С», датчиком кутової швидкості ГАЛС-1 (рис.11.2).

Модуль «Бірюза-ІУ» має двопроцесорну обчислювальну систему. На перший процесор покладені задачі вводу та перетворення даних з клавіатури, обмін з телетайпом. Другий процесор веде переробку інформації та передає її відображення на дисплей, що має для індикації 10 рядків по 25 знакомісць. Дисплей дозволяє реалізувати діалоговий режим роботи користувача з системою. Рішення деяких навігаційних задач в модулі «Бірюза-ІУ» має значні особливості. Високий рівень автоматизації здійснюється в задачі корекції координат місця судна за даними ЗАРП «Бриз-Е», що особливо важливо, тому що ця задача використовується в прибережному плаванні та в вузкостях. При підході до таких районів судноводій завчасно вводить до пам'яті мікроЕОМ координати орієнтирів (до 10). Задача корекції координат може вирішуватися по засічках одного, двох, або трьох орієнтирів, якщо вони знаходяться в зоні огляду РЛС. Якщо в зоні огляду знаходяться три орієнтири, то задача корекції вирішується з більшою надійністю за рахунок надмірності вимірів, що оброблюються за методом найменших квадратів, та покращанням контролю за автосупроводом орієнтирів. В ході руху судна орієнтири, що виходять з зони огляду, зкидаються з супроводження.

Система виконує також сумісну обробку інформації, що надходить від різних засобів визначення місця судна. Це забезпечує одержання найімовірніших поправок до зчислених координат. Алгоритм комплексної обробки заснований на застосуванні субоптимального фільтра Калмана, а організація рішення задачі побудована таким чином, щоб на дисплей та автопрокладник можна було вивести як поправки від кожного засобу корекції, так і поправки, що отримані в результаті комплексної обробки. Зважаючи представлені дані] штурман приймає рішення про затвердження тих чи інших поправок.

Модуль судноводіння «Бірюза-С» конструктивно виконано в вигляді стандартного приладу і дублює навігаційний пульт з відображенням навігаційної інформації на дисплеї. З цього пульта вводяться координати шляхових точок маршруту плавання, курс, кутова швидкість повороту судна та ряд інших параметрів. На екрані дисплея висвітлюються час, заданий і фактичний курс, бокове зміщення судна з заданої лінії шляху і відстань до точки початку пово-

СКЛАД СИСТЕМИ «БІРЮЗА» У МАКСИМАЛЬНІЙ КОМПЛЕКТАЦІЇ

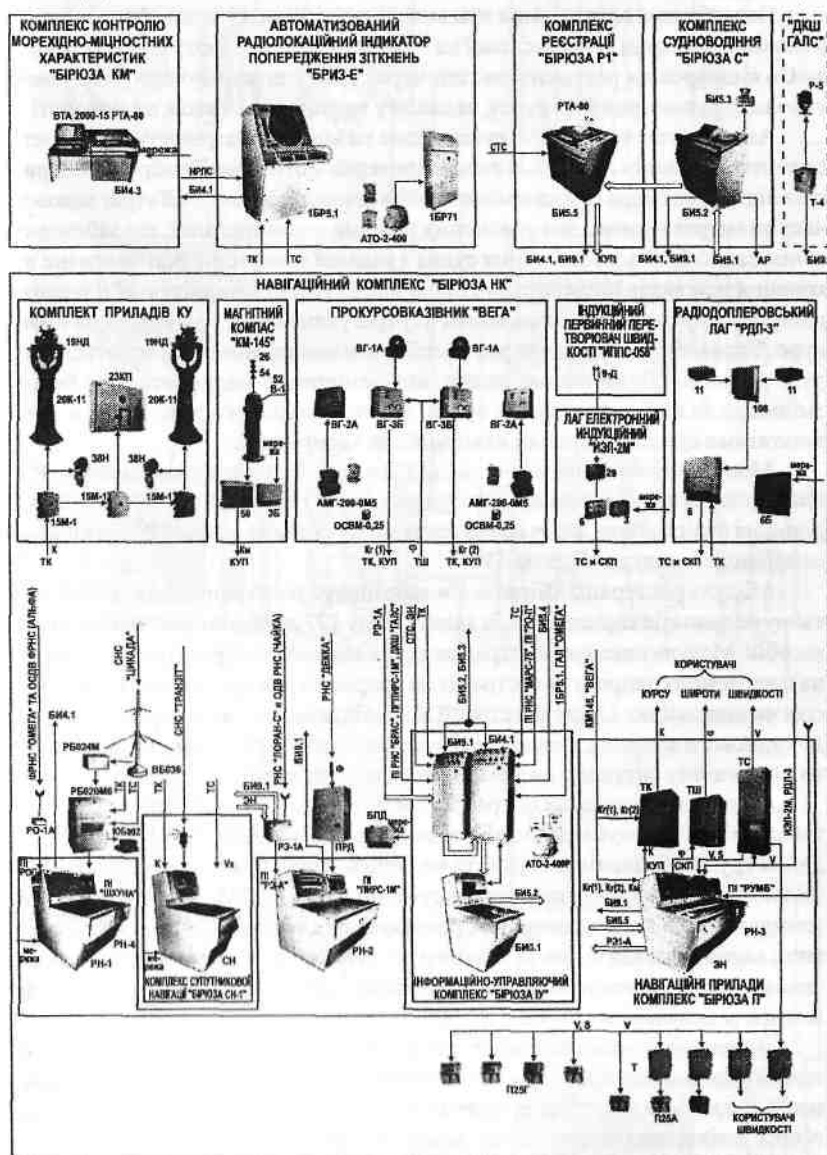


Рис. 11.2 Автоматизований комплекс судноводіння «Бірюза»

роту, яка визначена з урахуванням реакції судна на дію стерна та геометрії повороту.

Передбачена сигналізація при виході судна за межу заданої полоси руху, а також при підході до обчисленої на початку точки повороту. Модуль «Бірюза-С» є цифровим регулятором, що через схему штатного автостернового управління рухом судна по курсу, заданому маршруту, а також на повороті.

Автоматичне управління рухом судна на відрізках маршруту здійснюється в оптимальному режимі. В якості критеріїв оптимізації вибрані: для районів відкритого моря—економічний, що відповідає мінімізації втрат ходового часу та витрат палива; для стиснених районів — точностний, що забезпечує мінімізацію бокового зміщення судна з

заданої траєкторії. Автоматичне виконання поворотів проводиться із заданою кутовою швидкістю або заданим радіусом циркуляції з мінімальним перерегулюванням при виході на новий курс. Управляючі діяння для реалізації вказаних режимів формуються в модулі «Бірюза-ІУ» на основі даних, що безперервно надходять, про бокове зміщення та кутову швидкість судна. Бокове зміщення обчислюється за ре зультатами сумісної обробки навігаційних вимірювань.

Модуль запобігання зіткнень (ЗАРП «Бриз-Е») сумісно з судновою РЛС виконує функції радіолокаційного прокладника траєкторій цілей і забезпечує рішення навігаційних задач визначення місця судна за даними РЛС з видачею інформації в модуль «Бірюза-ІУ».

Модуль реєстрації «Бірюза-Р» забезпечує реєстрацію на стрічці телетайпу результатів вирішення всіх задач і стану 127 датчиків судових технічних засобів. Модуль виконує реєстрацію через заданий час (реєстрація періодич на), на момент запросу (реєстрація за запросом) та при маневрі судна курсом чи швидкістю. Обсяг реєстрації відповідає вимогам, що пред'являються до судового журналу. Результати реєстрації дозволяють повністю відтворити навігаційну ситуацію на момент часу, що зацікавив судноводія.

Планування грузових операцій та контроль морехідно-міцностних якостей судна забезпечує модуль «Бірюза-КМ», що дає змогу уніфікувати складання грузових планів на судні та на березі, побудовано на базі мікроЕОМ «Електроніка-81», яка є програмно сумісною з СМ ЕОМ. Модуль забезпечує планування вантажних операцій, розрахунок та контроль морехідно-міцностних характеристик судна за заданим розподілом вантажів, запасів, баласту, визначенню остійкості методом кренування, документування інформації про вантаж та результати вирішення задач.

Автоматизована система судноводіння «Панорама». Засоби автоматизації судноводіння «Панорама» дозволяють створювати системи різних конфігурацій, що дає можливість враховувати особливості судноводіння та експлуатації різних типів суден і можливості судновластників. Розроблені наступні виконання системи «Панорама»: «Панорама І», «Панорама СТ», «Панорама СТ-1», «Панорама СТ-2»,... «Панорама СТ-7». Ці конфігурації відрізняються як набором

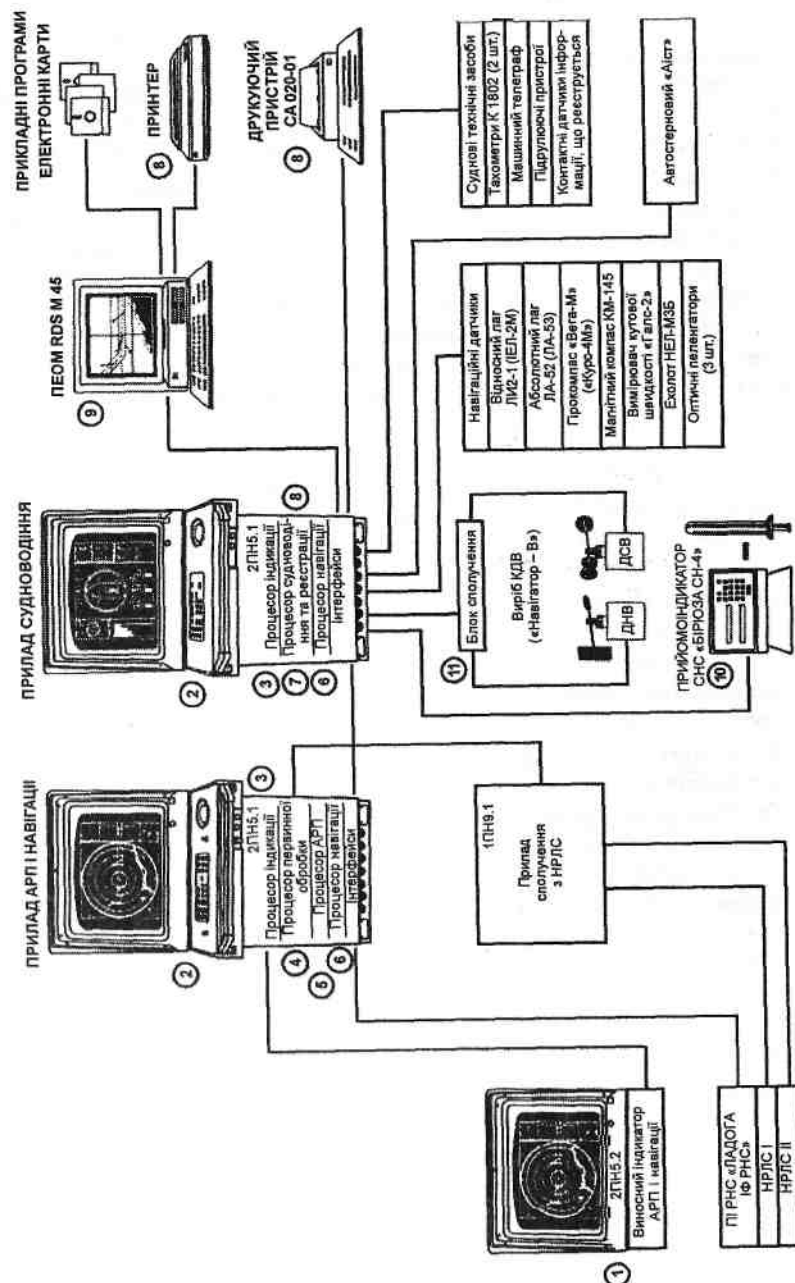


Рис. 11.3 Система автоматизації судноводіння «Панорама СТ»

приладів та пристроїв, що входять до них, так і переліком задач, що вирішуються. В найбільш повній конфігурації («Панорама СТ») в цей комплекс входять: два прилади З АРП та навігації, прилад судноводіння, персональна ЕОМ з принтером, друкуючий пристрій «СА 020-01», виносний індикатор АРП і навігації, датчики навігаційної інформації (відносний лаг «ЛП2-1»(ІЕЛ-2М), абсолютний лаг ЛА-57 (ЛА-53), гірокомпас «Вега-М» (Курс-4М), магнітний компас КМ-145, вимірювач кутової швидкості «Галс-2», ехолот НЕЛ-МЗБ, оптичні пеленгатори (3 шт), датчики напрямку та сили вітру (вироб КДВ), дві навігаційні РЛС, прийомоіндикатор СНС GPS «Бірюза СН-4», автостерновий «Аіст». Система комплектується також датчиками машинного телеграфу, підрулюючих пристроїв, положення пера стерна, контактними датчиками інформації, що реєструється.

Система «Панорама» відповідає міжнародним стандартам, вимогам ІМО та Регістру. її використання забезпечує підвищення безпеки плавання, підвищення

технічного ресурсу стернового приводу, економію палива за рахунок пошуків покращання управління рухом.

Розглянемо більш докладно конфігурацію АКС «Панорама-СТ».

Призначення. Система судноводіння «Панорама-СТ» призначений для забезпечення безпеки плавання судна і ефективного управління судном шляхом автоматичного вирішення наступних задач: відображення первинної радіолокаційної інформації, автоматизації радіолокаційної прокладки (АРП), навігації, управління рухом, реєстрації даних. Встановлюється на судах середнього та великого тоннажу.

Склад комплексу (рис. 11.3.):

- Інформаційно-обчислювальний прилад (ЮП). ЮП - прилад цифрової обробки інформації, що виконує прийом та обробку РЛ-інформації, вирішення навігаційних задач, задач контролю, видачу результатів обробки на зовнішній прилад реєстрації, відображення даних процесу судноводіння;

- Касетний накопичувач на магнітній стрічці (КНМС);

- Пульт автоматичної радіолокаційної прокладки (АРП) і навігації (Н);

- Пульт судноводіння, що призначений для рішення задач, для запису та збереження інформації, для управління роботою при рішенні задач АРП і Н, для управління роботою комплексу при рішенні задач судноводіння.

Комплекс забезпечує сумісну роботу з НРЛС «Наяда-5» («Енісей Р-10»), сполучення з гірокомпасом «Вега-М» («Курс»), магнітним компасом КМ-145С, індукційним лагом ЛІ2-1 (ІЕЛ-2М), гідроакустичним лагом ГАЛ (ЛА-53), ехолотом НЕЛ-МЗБ, прийомоіндикаторами РНС «Лоран-С», СНС «Бірюза СН-4», автостерновим "Аіст", датчиком кутової швидкості «Галс-1»; комплектується пеленгаторами, друкуючим пристроєм СА020, ПЕОМ, датчиками: положення пера стерна, лопатей ВРШ, машинного телеграфу, контактними датчиками судових технічних приладів. В робочому режимі забезпечується контроль загальної роботоспроможності, пошук несправності з можливою заміною несправних змінних модулів на модулі ЗІПу. Середній час відновлення робото

спроможності комплексу складає не більше 30 хв. Час готовності до роботи - не більше 3 хв. Живлення: частота 50 гц, напруга 220 в, потужність - до 1кВт.

Система працює в режимах рішення задач і контролю. В режимі рішення задач з пультів АРП і навігації виконуються задачі запобігання зіткнень суден, навігації, управління рухом судна і реєстрації інформації.

До переліку задач АРП входять:

- відображення первинної радіолокаційної інформації на всіх шкалах дальності (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64) і індикації відносного руху з орієнтацією радіолокаційного зображення відносно меридіану;

- індикація істинного руху в усіх режимах;

- вимірювання на усіх шкалах дальності відстаней і пеленгу між двома будь-якими точками на екрані телевізійного індикатора (ТВІ) з допомогою масштабної лінійки;

- автоматичний ввід на супровід до 60 об'єктів, ручний ввід до 20 об'єктів; -автоматичне і полуавтоматичне супроводження до 60 об'єктів по дальності від

0,1 до 20 міль при відносній швидкості об'єктів, що супроводжуються, до 80 вузлів;

- автоматичне обчислення координат об'єктів, що супроводжуються, параметрів руху та елементів зближення;

- імітація власного маневру курсом або швидкістю;

- вимірювання часу прогнозу руху об'єктів, що супроводжуються, в інтервалі від 0 до 60хв.;

- виявлення маневру курсом об'єкта, що супроводжується, не пізніше ніж за 30 сек. з моменту його початку;

- ручний ввід швидкості, курсу та динамічних характеристик власного судна;

- відображення на шкалах дальності (0,25-32 міль) наступної інформації: символів

супроводження об'єктів; ліній ВР чи ІР об'єктів, що супроводжуються; дуг секторів небезпечних курсів (СНК) і ліній зон можливих зіткнень; чотирьох рівнорознесених за часом попередніх місцеположень будь-яких об'єктів, що супроводжуються, з часовим інтервалом між відмітками від 0,5 до 8 хв.; поточного часу, дати, кількості об'єктів, що взято на автосупро-водження; виду орієнтації зображення; виду руху; критеріїв безпеки розходження судна (Дкрз і Ткрз), формуляру параметрів руху свого судна; Дкр і Ткр; формуляру діалогу при рішенні задач.

Задачами навігації, що вирішуються системою, є:

- зчислення шляху судна;
- задачі визначення місця за вимірюваннями навігаційних параметрів орієнтирів;
- навігаційні розрахунки з прогнозу координат місця судна, швидкості руху, часу переходу;
- формування даних картографічної інформації в оперативній пам'яті в задачі «Карта», їх коректування, відображення на дисплеї, запам'ятовування на магнітній стрічці, виконання операцій з допомогою маркера

Задачі судноводіння:

- планування маршруту;
- ідентифікація параметрів моделі керованості судна;
- сполучення з стерновим механізмом, передача команд на нього та видача на індикацію значень фактичної кладки стерна в процесі управління від ЕОМ;
- автоматичне управління рухом судна (стабілізація на маршруті, курсі, управління на повороті);
- видача формуляра маршруту;
- видача формуляра управління.

Задачі реєстрації інформації судового журналу:

- реєстрація періодична і за запитом значень навігаційних параметрів;
- реєстрація параметрів руху об'єктів, що супроводжуються ЗАРП;
- автоматична реєстрація повідомлень про зміну параметра (курсу, швидкості, шляхового кута, змін режиму ходу, обертів гвинта, глибини, пеленгів, включення/виключення підсистем, відхилення судна від траєкторії і ін.).

Побудова і робота комплексу. При включенні комплексу проводиться початкова установка апаратури та запуск контролю загальної роботоспроможності.

Управління комплексом здійснюється з будь-якого з двох пультів АРПіН при рішенні задач запобігання зіткнень і задач навігації та з пульта судноводіння при рішенні задач судноводіння і реєстрації. При управлінні з одного пульта АРПіН на індикаторі іншого з цих пультів дублюється інформація, що відображена на індикаторі першого.

Введення інформації в інформаційно-обчислювальний прилад здійснюється з допомогою нефіксованих клавіш мембранної панелі управління пультів оператора, а можливість візуального контролю за інформацією, що вводиться, і результатами її обробки забезпечується відображенням її на телевізійних індикаторах пультів оператора.

Екрани телевізійних індикаторів умовно поділені на окремі участки (поля): -поле 1 призначене для індикації радіолокаційної інформації;

- поле 2—для відображення найменувань режимів;
- поле 3 — для представлення індивідуального признаку режиму, що включений, режиму розширення імпульсу РЛС, режиму регулярних сигналів;
- поле 4 — для індикації показань таймера, поточного часу, дати, номеру дорожки запису інформації на КНМЛ і кількості вільних блоків для запису інформації АРП;
- поле 5 — для індикації відстані до точки найкоротшого зближення; часу прогнозу векторів руху; установки часу післясвічення РЛ інформації; часу між відмітками минулих місцезнаходжень об'єктів, що супроводжуються при рішенні задачі «Сліди»;
- поле 6—для індикації формуляра власного судна, значень курсу, шляхового кута,

швидкості, часу зчислення, зчислених координат місця, радіальної погрішності місця судна при зчисленні та обсерваціях;

- поле 7 — для індикації формуляра об'єкта супроводження чи маркера або лінійки;
- поле 8—для індикації повідомлення оператору при рішенні задач АРПІН;
- поле 9—для інформаційного формуляра діалога оператора з комплексом;
- поле 10 — для індикації інформації, що вводиться з пульта.

Для забезпечення автоматичного управління рухом судна необхідно спочатку виконати задачу «Управління рухом судна», а потім натиснути на клавішу «Управління ЕОМ» на ПУ пульта С. У випадку відмови ЮП в процесі рішення задачі «Управління рухом судна» проводиться автоматичне переключення ланцюгів управління з ЮП на автостерновий, при цьому включається звукова сигналізація.

Подальшим розвитком АКС є базовий комплекс навігації та управління рухом корабля (судна) "Платан", розробку якого провадить НДІ "Квант-Навігація". Комплекс вирішує наступні групи задач:

- визначення та видавання споживачам динамічних, навігаційних і метеорологічних параметрів та картографічної інформації;
- висвітлення надводної обстановки, виявлення надводних об'єктів та визначення державної належності;
- попередження зіткнень та вироблення рекомендацій з тактичного маневрування;
- управління курсом корабля;
- обробка, коригування та відображення морських навігаційних електронних карт;
- навігаційне планування маршруту та автоматична прокладка на електронній та паперовій картах;
- відображення даних навігації та кораблеводіння;
- реєстрація та документування в обсязі навігаційного журналу;
- контроль комплексу та тренаж операторів.

До складу комплексу входять (рис. 11.4):

- гіроскопічна система стабілізації та курсовказання;
- інерційна навігаційна система на базі лазерних гіроскопів;
- гірокомпас; -магнітний компас; -лаг відносний; -лаг абсолютний;
- ехолот;
- навігаційна апаратура споживачів супутникових навігаційних систем ГЛО-НАССіNAVSTAR;
- РЛС ближньої навігаційної обстановки;
- система електронної картографічної навігаційної інформації та документування (СЕКІІД) з банком даних морських навігаційних електронних карт;
- автопрокладач;
- автостернови

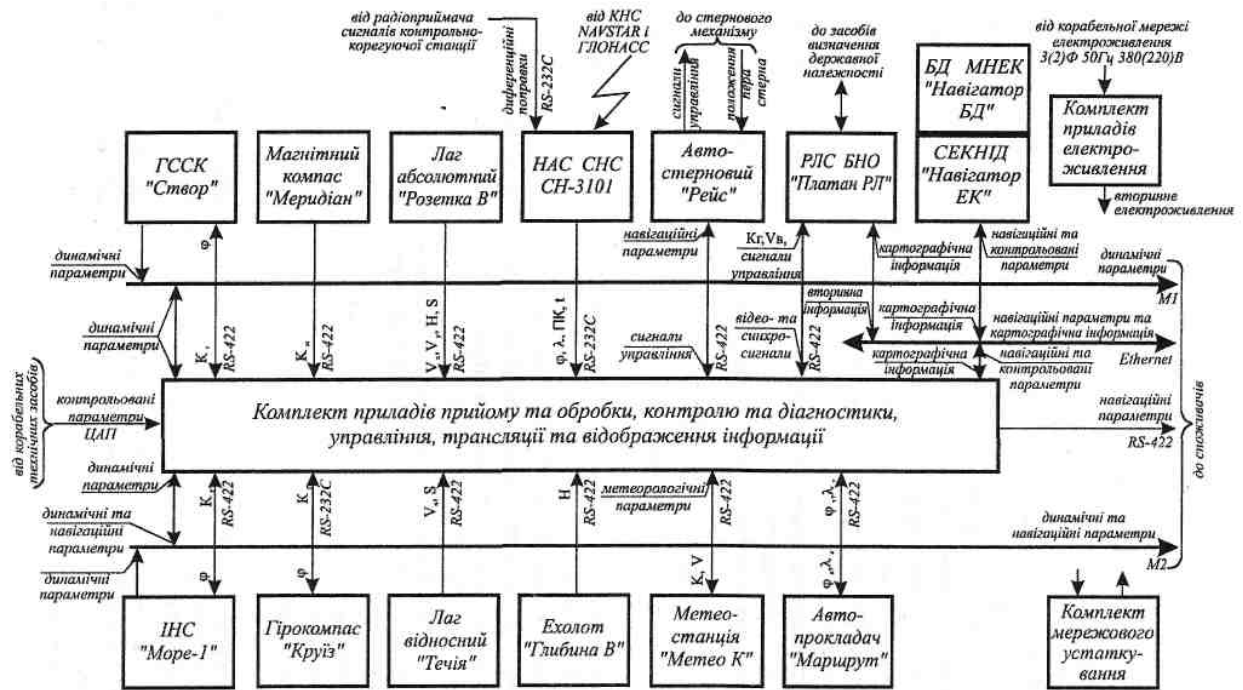


Рис. 11.4. Комплекс навігації та управління рухом корабля (судна) "Платан".

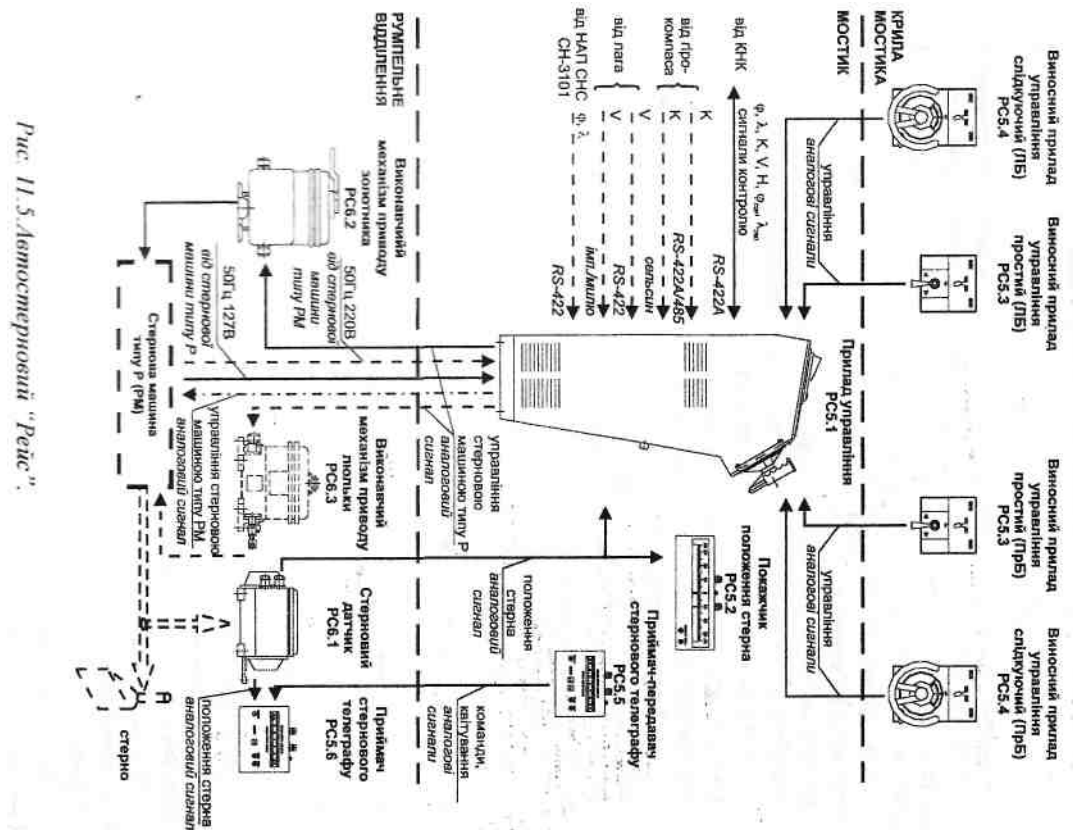


Рис. 11.5. Автостерновий "Рейс".

метеостанція;

- комплект приладів прийому та обробки, контролю та діагностики управління;
- комплект приладів електроживлення;
- комплект мережевого устаткування;
- комплект запасних частин, інструментів та приладдя одиночний.
- комплект монтажних частин;
- комплект експлуатаційної документації.

Примітка. Склад комплексу може змінюватися за бажанням замовника. СЕКНІД АКС відповідає вимогам міжнародних гідрографічної та морської організацій (ШО та ІМО) до систем відображення електронних карт та інформації типу ECDIS і забезпечує функції "чорного ящика".

Автостерновий "Рейс" АКС відноситься до покоління адаптивних авто-стернових і забезпечує:

- дистанційне управління однією чи двома стерновими машинами електрогідравлічного типу при видах управління: простий, слідкуючий та автоматичний;
- автоматичне управління рухом корабля (судна) на заданому маршруті з точністю утримання на маршруті не гірше 15м;
- автоматичну стабілізацію корабля (судна) на заданому курсі з точністю не гірше 0,2 кутових градуси;
- середнє значення амплітуди рискання при хвилюванні моря до трьох балів не більше 1°, а при хвилюванні до 5 балів — не більше 3°;
- зміну курсу із заданою кутовою швидкістю або радіусом повороту;
- адаптацію параметрів для мінімізації пропульсивних втрат, рискання та кладок стерна;
- відображення інформації про рух корабля (судна), робочі параметри і стан апаратури автостернового та стернової машини, а також показників якості управління;
- можливість дистанційного управління з декількох постів або автоматичне управління за сигналами, що виробляє автоматизований комплекс навігації та кораблеводіння.

Склад та функціональні зв'язки автостернового "Рейс" показані на рисі 1.5.

При виді управління «Простий» забезпечується перекладка стерна у дві сторони від нульового положення на кут, величина якого визначається часом подачі сигналу на перекладку, в діапазоні $\pm 35^\circ$.

При виді управління «Слідкуючий» забезпечується перекладка стерна на кут, рівний заданому штурвалом, в діапазоні $\pm 35^\circ$ зі статичною похибкою не більше $\pm 1^\circ$.

При виді управління «Автомат» забезпечується:

- автоматичне управління та стабілізація руху судна по заданому курсу або траєкторії;
- зміна курсу з заданою кутовою швидкістю або радіусом повороту;
- адаптація параметрів до зміни завантаження та швидкості судна, погодних умов та глибини з мінімізацією кладок стерна, пропульсивних втрат або рискання;
- сполучення автостернового з навігаційним комплексом або навігаційними датчиками за допомогою цифрового інтерфейсу відповідно до міжнародного стандарту MEK1162 або спеціальними каналами;
- відображення інформації про рух судна, положення стерна, параметри управління та стабілізації, стан апаратури в аналого-цифровій формі;
- можливість управління з декількох постів.

Середньоквадратична похибка стабілізації судна на заданому курсі та траєкторії становить відповідно не більше 0,2° і 15м відносно джерел інформації (при швидкості руху не менше 5 вузлів). При цьому гарантується середня величина рискання $+1^\circ$ і $+3^\circ$ при хвилюванні моря до 3 і 5 балів відповідно; надійна робота при хвилюванні моря більше 5 балів.

При розробці автостернового "Рейс" використаний модульний принцип побудови.

Реалізацію основних функцій виконує мікропроцесорний обчислювач з високою надійністю.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Назвіть основні модулі автоматизованого комплексу судноводіння "Бірюза".
2. Які задачі вирішує АКС "Бірюза"?
3. Назвіть типи задач, що вирішуються АКС "Панорама".
4. Які задачі управління рухом судна вирішує АКС "Панорама"?
5. Назвіть складові частини АКС «ПЛАТАН».
6. Які задачі вирішує АРП «Рейс»?

12. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АКС.

Високі вимоги, що пред'являються до транспортних і спеціалізованих суден щодо забезпечення безпеки мореплавання за умов зростання щільності руху суден та підвищення ефективності роботи суден, зумовлюють необхідність підвищення рівня

автоматизації технологічних процесів на судні, у першу чергу процесів навігації і управління рухом.

Сучасний рівень розвитку основних напрямків судноводіння характеризується удосконаленням існуючих та створенням нових методів і технічних засобів навігації та управління рухом із застосуванням різноманітних фізичних принципів (гіроскопічних, радіонавігаційних, гідроакустичних, радіоастрономічних і т.д.). Подальший розвиток одержали супутникові радіонавігаційні системи (вдалося на порядок підвищити точність системи). Створено міжнародні супутникові системи зв'язку (ІНМАРСАРТ) і пошуку та порятунку (КАС-ПАС-САРСАТ). Удосконалюються навігаційні РЛС з автоматичною радіолокаційною прокладкою (АРП). Планується впровадження автоматизованої ідентифікаційної системи (AIS). На зміну паперовим картам прийшли електронні. Удосконалюється алгоритмічне і програмне забезпечення задач судноводіння. Спостерігається підвищення рівня автоматизації судових технічних засобів (СТЗ) судноводіння та їх інтеграція, широко впроваджуються мостикові системи управління судном.

Особливо варто виділити роль ходового мостика як єдиного поста управління, на якому безупинну вахту в морі несе судноводій.

Аналіз сутності задач навігації і управління рухом, що характерна для всіх суден, дозволяє згрупувати їх таким чином [21]:

- експлуатаційне і навігаційне планування рейсу;
- контроль руху судна (оперативні задачі навігації);
- попередження зіткнень суден і тактичне маневрування;
- управління рухом судна;
- відображення і реєстрація даних процесу судноводіння, включаючи задачі "чорного ящика".

Блок-схема рішення зазначених задач для транспортного судна наведена на рис. 1.1. Для спеціалізованих суден потрібно передбачити рішення додаткових задач. Так, для криголамів це провідка суден у каравані, контроль польоту вертольота, для науково - дослідницьких, геодезичних і добувних суден -високоточне автоматичне управління на малих швидкостях і т.і.

Для корабля додатково забезпечується рішення задач тактичного маневрування, підготовки і видачі електронної карти району, даних просторової орієнтації (для систем радіоелектронного озброєння).

Поява високопродуктивних мікропроцесорних систем і ПЕОМ дозволила підняти рівень автоматизаціїрішення задач, перейти до повної інформатизації процесу судноводіння. Стало можливим планувати і корегувати маршрут плавання з використанням результатів розрахунку оптимального трансоке

анського шляху (коли за даними карт атмосферного тиску і постійної течії визначається карта вітрів і відповідно поле хвилювання моря і далі проводиться розрахунок вітрової течії і швидкості ходу з урахуванням вітрових втрат), а також вирішувати задачі "Оптимальне штормування" (коли визначаються оптимальні значення курсу і швидкості судна у штормових умовах при припустимих значеннях слемінга і заливаємості), побудови маршруту графіків точності зчислення (з урахуванням вимог резолюції ІМО А 529 (13) до точності визначення місця і зчислення шляху судна), здійснювати ідентифікацію параметрів моделі судна, створювати розподілені бази даних (РБД) та системи управління ними (СУРБД)на базі експертних систем.

Крім того, застосування високопродуктивних ПЕОМ дозволяє підвищити рівень автоматизованого упорядкування попереднього каргоплану з контролем мореплавно - стійкісних характеристик судна, спростити технологію передачі з порту попереднього каргоплану, використавши для цих цілей зовнішні носії інформації ПЕОМ або супутниковий зв'язок, а також автоматизувати рішення "аварійних задач". На базі ПЕОМ,

що входять до складу систем автоматизації різноманітних технологічних процесів у рамках АСУ судна, можливо створення локальної мережі.

Використання супутникового зв'язку дозволяє розвантажити судноводіїв від виконання ряду функцій, які передбачається перенести на берегові служби (попереднє планування вантажу, оптимізація маршрутів вантажоперевезень і т.і.).

Основою навігаційного забезпечення у відкритому морі в поточному десятиріччі і на початку нового століття будуть глобальні СНС безупинної дії ("Навстар" (США) і "ГЛОНАСС" (Росія)), що забезпечують точність визначення місця в штатному режимі 50 - 100 м (Р - 0,95) для цивільних користувачів, а при сумісному використанні - до 25 м. Більш високі точнісні характеристики СНС "ГЛОНАСС" пояснюються відсутністю режиму селективного доступу (S/A-selective availability), що застосовується в СНС "Навстар" у штатному режимі для загроблення точності при використанні системи цивільними користувачами. В 2000 р. США планує зняти обмеження на використання режиму селективного доступу.

Точність визначення місця суден поблизу берегів і у вузкостях, де вона повинна бути не гірше 10 м (вимоги резолюції ІМО-А815(19)), не забезпечується СНС "Навстар" і "ГЛОНАСС" у штатному режимі. У найближчі 15 років забезпечити таку точність передбачається за допомогою СНС "Навстар" і "Глонас" у диференціальному варіанті і РЛС за точковими орієнтирами з використанням (і без використання) радіолокаційних маяків -відповідачів (РЛМВ). У цьому зв'язку продовжується установка радіолокаційних орієнтирів і РЛМВ в зонах інтенсивного руху. Найбільш перспективним напрямком буде застосування СНС "Навстар" і "Глонас" у диференціальному режимі, ідо ДОЗВОЛИТЬ підвищити точність місця визначення судна до 10 м

(Р-0,95). Відповідно до рекомендацій ІМО дифіпідсистеми створюються на базі морських радіомаяків і з використанням УКХ-діапазону AIS, при цьому контрольно - коригуюча станція (ККС) СНС радіомаяків повинна задовольняти вимогам стандарту МЗК1108 і стандарту RTSM 100-95/SR 104.

В Азово-Чорноморському басейні України планується створення мережі контрольно - коригувальних станцій на базі радіомаяків Одеського, Єнікальського, Херсонського та на о.Зміїному. Крім того, із введенням систем доповнення EGNOS (Європа), WAAS (США), MSAS (Японія), яке планується до 2002 року, стає можливим створення широкозонної служби диференціальних поправок, що дозволить підвищити точність супутникової навігації до 5;- 10м.

Що стосується розвитку станцій РНС "Лоран-С", практично всі основні траси Світового океану (прибережні) будуть покриті зонами дії РНС у найближчі роки. Підписано міжурядову угоду про співробітництво в галузі спільного використання РНС "Лоран-С" і "Чайка" у Балтійському і Чорноморсько -Середземноморському регіонах. Європейське співтовариство планує аж до 2015 р. використовувати станції РНС "Лоран-С", розташовані на її території. При спільному використанні РНС "Лоран-С/Чайка" та СНС "Навстар" і "ГЛО-НАСС" з'являється можливість застосування радіонавігаційного каналу РНС для передачі диференціальних поправок СНС (проект "Єврофікс"). У районах Чорного моря і Північного морського шляху продовжують використовуватися РНС "Марс-75" і "Брас-3" (замінюються на систему "Спрут"), що забезпечують точність визначення місцезнаходження судна 60-350 м і 12-60 м відповідно, а в континентальних шельфових зонах і при проведенні сейсмічних робіт—РНС типу "Селедіс" ("Копье"), що забезпечують точність порядку 1-2 м. Застосування режиму спільної обробки інформації від декількох навігаційних датчиків РНС, СНС, РЛС дозволить підвищити точність місцезнаходження судна. Реальним є підвищення точності у півтора рази [15].

Перспективним для шельфової зони є використання диференціального режиму СНС із виробленням поправок до фази несучої частоти (кінематичний режим), що дозволить визначити місце об'єкта з мінімальною похибкою, яка складатиме дециметри (0,05-0,30 м) на відстані до 15-20 км.

У цей час одержало широкий розвиток інтегрування СНС "Навстар" і "ГЛОНАСС", головна відмінність яких одна від одної полягає у складі і формі представлення інформації і у принципах розділення сигналів різних супутників (кодівий і частотний поділ відповідно). Крім того, СНС "ГЛОНАСС" функціонує в шкалі часу UTC SU і системі координат ПЗ - 90, а СНС "Навстар" у UTC SU і WGS - 84.

Досвід експлуатації сумісного прийомоіндикатора СН "Навстар" та "ГЛОНАСС" показує, що при спільному використанні істотно підвищуються показники доступності і цілісності, а також показник точності - геометричний фактор як узагальнений коефіцієнт перерахунку похибок

рівноточних некорельованих вимірів навігаційних параметрів у похибку навігаційних визначень.

Слід зазначити, що теоретично за супутниковими сигналами можна визначити не тільки координати місця і складові швидкості руху, але також курс і качку, тобто вирішити задачу навігації в повному обсязі. Технічні рішення ще не відпрацьовані, але вже в найближчі роки можна буде визначити ефективність цього напрямку.

Концепція розвитку РНС передбачає створення системи єдиного радіонавігаційного поля (ЄРНП), які представляє собою сукупність радіонавігаційних полів РНС космічного і наземного базування, що мають єдину координатно-часову основу і узгоджену структуру широкополосних навігаційних сигналів, несучі радіочастоти яких рознесені за діапазоном. Створення ЄРНП вимагає рішення як організаційних, так і технічних проблем, з-поміж яких:

- підвищення точності визначення координат місця до кількох метрів, в основному шляхом використання дифпоправок;
- забезпечення синхронізації наземних станцій за допомогою СНС із похибкою до 10 -15 нс, що дозволить вести обробку інформації на рівні вимірів радіонавігаційних параметрів будь-яких систем;
- перехід до використання псевдошумового сигналу в СЧ і НЧ РНС;
- створення модульного єдиного прийомоіндикатора.

Поряд із використанням РНС і СНС для проведення геофізичних і спеціальних робіт (добування залізо-магнітних конкрецій, прокладку труб і т.п.) у районах світового океану, віддалених від берега, де потрібна висока точність (одиниці метрів) визначення місця, будуть застосовуватися навігаційні комплекси з використанням гідроакустичних маяків або геофізичного поля Землі.

Разом із розвитком супутникової навігації будуть удосконалюватися на базі досягнень в галузі мікроелектроніки і приладобудування автономні засоби навігації: абсолютні і відносні лаги, інерційні системи, гірокомпаси, ехолоти, радіолокатори, гідролокатори і т.п. Основні напрямки розвитку цих засобів: мініатюризація, перехід на волоконнооптичну гіроскопію і використання мікромеханічних гіроскопів, широке використання обчислювальної техніки, напівказаних великих інтегральних схем (ВІС), удосконалювання програмно

- алгоритмічного забезпечення, використання нових принципів побудови, розширення функціональних можливостей.

Серед гідроакустичних лагів більш досконалими є кореляційні лаги, що у порівнянні з доплеровськими лагами мають ряд переваг: більш високі показники надійності і точності (похибка ± 0.03 вузла), точність виміру швидкості не залежній, від зміни швидкості поширення звуку у воді, не потрібна стабілізація акустичних антен при качці із-за широкої діаграми спрямованості, є можливість використання їх в якості ехолотів для виміру глибин до 200м.

Серед магнітних компасів перспективним є цифровий магнітний компас

Тенденції розвитку інерційних систем (ІНС) і гірогоризонткомпасів в Україні направлені на зниження масогабаритних характеристик і розробку безплатформених ІНС (БІНС) на кільцевих лазерних, динамічно налагоджувальних і твердотільних гіроскопах,

що дозволить зменшити час приведення системи у готовність до 15хв, одержати похибку виробітку курсу ($2 \pm 6) \times \sec(tp)$, качки $\pm 2'$, складових лінійної швидкості 0,05 м/с, зменшити споживану потужність, розширити діапазон допустимих зовнішніх збурень.

Особливо відзначимо напрямок робіт, що пов'язаний з мікромініатюризацією гіроскопічної техніки. Сьогодні розроблені мікромеханічні гіроскопи і акселерометри вібраційного класу з використанням планарної технології, яка широко застосовується в сучасній мікроелектроніці. БІНС на мікромеханічних гіроскопічних елементах має об'єм порядку одиниць кубічних сантиметрів. Незважаючи на низьку точність мікромеханічних гіроскопів (50-200 град/годину), при комплексуванні їх з високоточною супутниковою навігаційною системою можна одержати допустиму точність виробітку навігаційних параметрів.

Обов'язковою складовою перспективних систем судноводіння стане відображення електронної карти (ЕК) на дисплеї судноводіння у форматі S-57 відповідно до вимог ІМО, МГО (правило V5/20 конвенції ІМО SOLAS -74, Резолюція ІМО 817 (19) "Perfomanel standarts forECDIS", публікація МГО S-57).

З упровадженням ЕК з'являється можливість відобразити на одному робочому місці судноводія об'єднану з цифровою картою радіолокаційну інформацію, вектори і параметри руху свого та супроводжуваного судна, сектори небезпечних курсів і т.п. База даних електронної карти буде містити, принаймні, таку ж інформацію, що у цей час є на паперовій карті, а також дасть можливість оперативного одержання даних відповідного інформаційного рівня. Для автоматизованого коригування електронних карт може бути використана супутникова система "ІНМАРСАТ" або подібні системи. При створенні електронно- картографічної інформаційної системи виникають складні організаційно - технічні проблеми: розробка засобів відображення з високою розподільною здатністю, створення банку електронних карт, вибір єдиних засобів зберігання картографічної інформації і її графічного уявлення, контроль і коригування картографічних даних, юридичні аспекти, що пов'язані з відповідальністю постачальника електронних карт. Водночас, на нашу думку, до 2005 року поряд з електронною картою будуть використовуватися і автопрокладчики з паперовою картою. Автоматична прокладка шляху виключає промахи і помилки, що характерні для ручної прокладки, і полегшує роботу судноводія.

До одних із основних задач судноводіння в умовах інтенсивного судноплавства, що вимагають підвищення рівня автоматизації, відносяться радіолокаційне висвітлення надводної обстановки і попередження зіткнень суден. Подальшим кроком у розвитку НРЛС постають як удосконалювання прий

мально-передавальних пристроїв і антени, так і використання засобу автоматичної радіолокаційної прокладки (З АРП) як індикатора, що забезпечує відображення радіолокаційної інформації з прив'язкою до електронної карти. Відзначимо, що спільне відображення картографічної і радіолокаційної інформації вимагає рішення точної прив'язки цифрової карти.

Удосконалення приймально-передавального пристрою відбувається шляхом використання безнакальних магнетронів, тиристорних модуляторів, що забезпечують високий к. п. д., а також, як самостійний напрямок робіт, створення малогабаритних приймально-передавальних пристроїв з використанням низь-корівневих широкополосних псевдобезперервних сигналів із наступною обробкою для одержання необхідної роздільної здатності і однозначності визначення дальності. Для підвищення надійності і довговічності роботи антени перспективним є використання безредукторного приводу.

Для виявлення цілей на фоні завад від моря, в зв'язку з недоліком апріорної інформації про закони розподілу амплітуд сигналу і завади, перспективною є багатоканальна система виявлення і виміру параметрів цілей, що навчається, з додатковими циклами навчання і з використанням матричних структур [10].

Проблемним питанням залишається ідентифікація протяжних об'єктів на фоні берегової смуги. При рішенні зазначеної проблеми підмогою буде електронна карта. Підвищення точності визначення параметрів руху зустрічних суден вимагає удосконалення методів статистичної обробки радіолокаційних вимірів, незалежно від характеру маневрування свого або зустрічного судна, використання для визначення маневру зустрічного судна даних аналізу зміни курсу судна за радіолокаційним "портретом". Скорочення часу визначення маневру курсом або швидкістю свого або будь-якого із зустрічних суден можливо завдяки удосконаленню методів і засобів адаптивної фільтрації. У перспективі використання автоматизованої ідентифікаційної системи AIS (системи автоматизованого спостереження) дозволить одержувати по автоматично супроводжуваним цілям фактичні значення курсу і швидкості (згадаємо роботу ЗАРП фірми MS (Японія), встановленого на/х "Петро Васьов", під час сутички з пароплавом "Адмірал Нахимов", коли ЗАРП не показав маневру пароплава при незначних кладках стерна). Подальшого удосконалення вимагає супроводження об'єктів на одному пеленгу, у першу чергу об'єктів в одному стробі супроводження (наприклад, при проходженні об'єкта поблизу навігаційного буя).

При виборі маневру на безпечне розходження із зустрічною ціллю у випадку небезпеки зіткнення в перспективних системах судноводіння будуть враховуватися як повна інформація від навколишнього оточення, включаючи конфігурацію ближньої берегової смуги, райони забороненого судноплавства, так і правила попередження зіткнення суден (МППЗС- 72), їх інерційні і маневрені характеристики, у тому числі час затримки від моменту видачі

команди до моменту початку маневру. При цьому програвання ситуації повинно допускати як автоматичний розрахунок рекомендованого маневру курсом (подвійного) або швидкістю, так і можливість вибору маневру судноводієм. Основним напрямком удосконалення в цій галузі вважається впровадження експертних систем, що використовують логіко-лінгвістичні моделі і та експертні знання. При цьому в ЗАРП НРЛС майбутнього повинна використовуватися повна модель судна, а не спрощена, що накладає обмеження на використання діючих систем.

Крім того, повинна забезпечуватися видача не тільки попереджувальної сигналізації і рекомендацій на дисплеї, але й синтезованих мовних повідомлень як на мостик, так і при необхідності в каюту капітана.

Підвищення безпеки плавання суден в умовах інтенсивного судноплавства на основних трасах, у вузкостях і прибережних водах вимагає рішення задач високоточної проводки суден заданим фарватером; поліпшення провозоспроможності (зростання експлуатаційної швидкості і зниження пропульсивних втрат) при русі у відкритому морі - мінімального ризику і кількості перекладок стерна при стабілізації судна на курсі на точку повороту. Крім того, рішення задач маневрування, попередження зіткнень диктує необхідність оптимального за швидкістю режиму управління рухом судна.

Якщо сучасні вітчизняні і зарубіжні системи судноводіння враховують у законах управління вимірювані параметри або їхні оцінки, використовуючи фільтр Калмана із спрощеною моделлю судна, то в перспективних системах судноводіння для підвищення точності управління рухом судна в різноманітних умовах його експлуатації доцільно використовувати адаптивну навчаючу систему управління рухом судна з моделлю, що прогнозує, або еталонною, із перебудовою структури і підстроюванням параметрів САУ в залежності від режиму роботи.

При проектуванні оптимального за швидкістю режиму управління рухом судна (маневруванні) доцільно вибрати для синтезу комбіновану систему, у котрій управляючий пристрій, що формує управляючу дію з урахуванням обмежень на кутову швидкість судна, винесено з замкнутого контуру в розімкнутий канал за заданою дією. При цьому стає можливим синтезувати пристрій управління відповідно до умов оптимальності за швидкістю без урахування стійкості.

Критерії оптимізації управління судном визначаються режимом плавання судна. Для умов відкритого моря використовують економічний критерій, що полягає в мінімізації пропульсивних втрат або витрати палива за допомогою управління. При плаванні в стиснутих водах, де головне завдання полягає в точному утриманні судна на заданій траєкторії, застосовуються точнісні критерії.

Подальшим кроком в автоматизації задач управління рухом судна є їхнє рішення з урахуванням необхідності розходження судна з іншими суднами та

небезпеками з використанням електронних карт. У цьому випадку варто передбачити і можливість програвання маневру в прискореному масштабі часу.

При плаванні судна в штормових умовах задача управління рухом судна ускладнюється. Варто враховувати імовірність заливаєності і слемінгу судна, перенапругу корпусу, особливо для великотоннажних суден. Для забезпечення безпеки плавання судна в умовах хвилювання необхідно враховувати оптимальну швидкість руху і рекомендований курс (задача "Оптимальне штормування"). Зменшення бортової качки, а отже, зниження імовірності зміщення вантажів, можна буде досягти шляхом розрахунків оптимальних значень величини і числа перекладок стерна. У випадку зміщення вантажу необхідно буде вирішувати задачу з вибору величини перекладки стерна. Таким чином, у системах судноводіння на найближче десятиліття необхідно буде забезпечувати автоматизацію управління як курсом із вибором оптимальної кількості перекладок стерна, так і швидкістю судна, із перебудовою структури САУ і зміною її параметрів. Кінцевою ціллю стане автоматичне управління судном - роботом.

На судах майбутнього повинна бути нарешті вирішена і проблема "чорного ящика", як в авіації. Сьогодні на автоматизованих судах забезпечується автоматизація ведення суднового журналу на принтері (системи судноводіння "Бірюза", "Панорама" розробки НДІ "Квант-Навігація"), що різко знижує навантаження на судноводія (у середньою судноводій витрачає до 15 - 20 % робочого часу на зняття показань навігаційних приладів і ведення журналу, відриваючись від виконання основних обов'язків забезпечення безпеки мореплавання). Надалі можливо розмістити в аварійному буї системи "КАС-ПАС-САРСАТ" прилад із зовнішньою пам'яттю, який буде автоматично записувати поточні дані процесу судноводіння, що дозволить одержати об'єктивну інформацію у випадку аварії.

Поява високопродуктивних мікропроцесорних систем і ПЕОМ дозволяє перейти до повної інформатизації процесу судноводіння. У світовій практиці суднобудування появився новий клас автоматизованих транспортних суден, так званих OMBO - ships (One Man Bridge Operated), що управляються із мостика однією людиною.

Класифікаційне товариство Бюро Верітас (Франція), Регістр Ллойда (Англія), Німецький Ллойд, Американське бюро судноплавства, Норвезький Верітас, Японський Регістр, а також Міжнародна асоціація класифікаційних товариств (МАКО) постійно підвищують вимоги до устаткування ходових мостиків суден класу OMBO - ships при управлінні судном однією людиною як у відкритому морі, так і у прибережних районах.

Звичайно, спільна інтегрована система управління з ходового мостика повинна включати не тільки навігаційно-управляючий комплекс з одним пультом управління судном, але також усі засоби контролю технічних засобів, внутрішньосудновий і зовнішній зв'язок. При цьому головний інтегрований

пульт управління, навігації і зв'язку повинен передбачати два робочі місця: для вахтового помічника і підвахтового або капітана чи лоцмана (коли навантаження перевищує можливості однієї людини або при лоцманській проводці).

Виходячи з принципів побудови і перспектив розвитку засобів та комплексів навігації і управління рухом (КНУР) судна, схеми рішення основних задач кораблеводіння, КНУР можна віднести до класу інформаційно - управляючих систем (ІУС), що поєднують принципи централізованого і децентралізованого управління і забезпечують обробку, інтеграцію, зберігання і передачу великих об'ємів інформації, а

також класифікацію ситуацій. При цьому ІУС представляє собою людину - машинну (ергатичну) систему, в якій за людиною залишається лише постановка мети, визначення критеріїв управління, оцінка рішень, що виробляються системою, і включення їх до управління.

Особливістю сучасного етапу розвитку АКС є розробка їх у вигляді ряду багатофункціональних модульних систем, функціонально і структурно закінчених та призначених для оснащення суден різного типу і призначення.

До найбільш прогресивних архітектур АКС, як ІУС, відноситься розподілена мультипроцесорна система. Виходячи із складу задач, що вирішуються, і можливої декомпозиції, архітектуру АКС можна класифікувати як дворівневу, що входить до АСУ судна, на верхньому рівні якої розташовані робочі місця вахтового офіцера (судноводія), штурмана і стернового, що беруть участь у процесі управління.

При цьому в людину - машинних системах основну роль відіграють системи підтримки рішень. Модулі обробки можуть відноситися до різноманітних підкласів ІУС: інформаційно-пошукових (ІПС), розрахунково-логічних (РЛ) і експертних систем (ЕС). Так, якщо модулі реєстрації та електронної картографії можуть бути віднесені до ІПС, то модулі планування рейсу, навігації, управління рухом судна, складання каргоплану з контролем мореплавно-стійких характеристик судна - до РЛ. Якщо вхідній ситуації і вихідним даним властиві висока розмірність і невизначеність (задачі виявлення, попередження зіткнень з урахуванням правил МППЗС-72), доцільно використовувати ЕС. Якщо ІПС і РЛ широко поширені, то ЕС перебувають у стадії накопичення досвіду та розширення сфер застосування базових технічних рішень.

Звичайно, основним елементом АКС, що визначає його структуру, є комплекс використаних засобів мікропроцесорної техніки (ЗМПТ). Оскільки в АКС одночасно вирішується декілька задач різними системами, що працюють паралельно, то використовується режим мультипрограмної обробки за допомогою розподіленої обчислювальної системи, яка містить ряд мікро-ЕОМ з універсальною структурою і спецпроцесорів, що забезпечують збір, первинну, вторинну і третинну обробку інформації від судових технічних засобів, сполучених у локальну обчислювальну мережу з рядом інтелектуальних терміналів з розподіленими банками даних і засобами телеобробки.

Широке впровадження ЗМПТ дозволяє успішно вирішувати задачу уніфікації і стандартизації пристроїв, модулів на різних рівнях. Це дає можливість гнучкого підходу до реконфігурації АКС в залежності від вимог до об'єкта. При цьому складові елементи виробів повинні мати сумісність щодо ряду ознак: конструктивних, електричних, інтерфейсу і т.д.

Подальше удосконалювання алгоритмічного забезпечення містить у собі елементи адаптації, самонастроювання та самоорганізації з використанням елементів експертних систем.

Таким чином, до основних тенденцій розвитку АКС можна віднести:

- 1) перехід від комп'ютеризації рішення окремих задач до повної інформатизації об'єкта і процесу управління судном із можливістю включення його через лінії супутникового зв'язку в АСУ більш високого рангу;

- 2) створення мостикових інтегрованих систем управління з можливістю управління судном одним вахтовим;

- 3) використання транспондерів AIS;

- 4) побудова АКС на базі уніфікованих програмних модулів із використанням мікропроцесорної техніки, що забезпечують створення розподіленої багатопроцесорної системи, що допускає ієрархічне об'єднання локальних обчислювальних систем, які включають відповідні розподілені бази даних і системи підтримки рішень;

- 5) застосування магістрально-модульного і функціонально - ієрархічного принципів при формуванні структури, що дозволяє створити систему відкритого типу для побудови різних комплектацій і забезпечення модернізаційної здатності;

- 6) реалізація великої частини функцій програмним засобом;
- 7) повна автоматизація рутинних процесів управління, використання безпа-перової технології, у тому числі електронної картографії, ведення суднового (навігаційного) журналу;
- 8) використання каналів зв'язку для доступу до централізованих банків даних у будь-якій частині світу, наприклад, за електронними картами, даними суден і т.д.;
- 9) удосконалювання апаратних і програмних засобів;
- 10) оптимізація інформаційних потоків;
- 11) удосконалювання людино-машинного інтерфейсу (впровадження кольорових дисплеїв високої розподільної здатності, ергономічних пультів управління, представлення інформації в графічній, літерно-цифровій, візуальній та звуковій формі і т.і.);
- 12) уніфікація і стандартизація апаратних і програмних засобів, у першу чергу інтерфейсів, дисплеїв, засобів мікропроцесорної техніки;
- автоматична діагностика і рсконфігурація систем, принципи управляємо!'
- експлуатації ЛК(' (профілактичне обслуговування за поточним станом
- 14) зниження масогабаритних показників, енергоспоживання, вартості комплексів і експлуатаційних витрат;
- 15) збільшення ресурсу і надійності.

Типова структура АКС транспортного судна наведена нарис. 12.1.

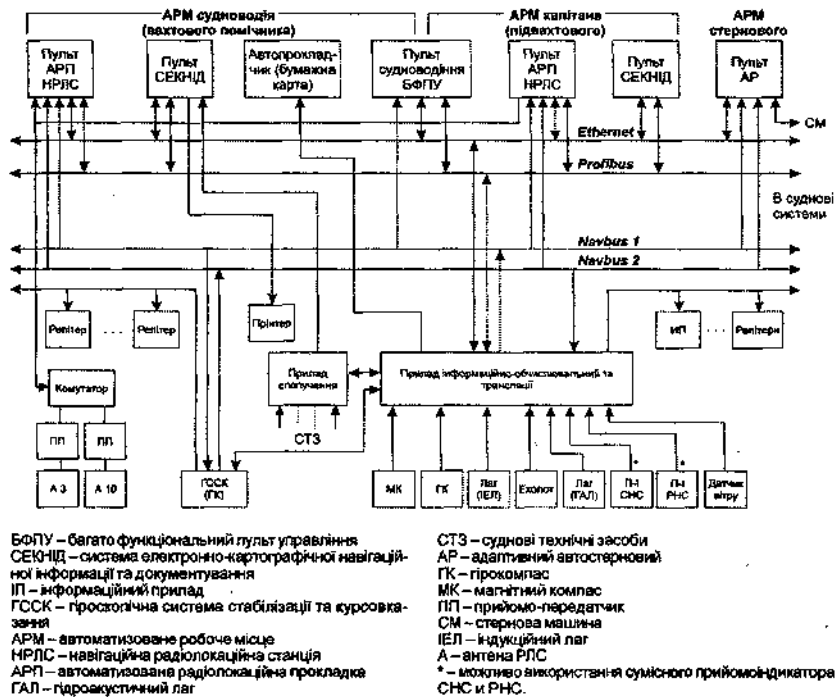


Рис. 12.1. Типова структура АКС транспортного судна.

Технічну основу АКС складають інтегровані автоматизовані робочі місця (АРМ) вахтового помічника (вахтового офіцера), підвахтового або капітана (командира), штурмана, стернового. АРМ представляє собою людино - машинну обчислювальну систему, що реалізує в необхідному обсязі функції управління в автоматичному та автоматизованому режимах.

Технічну основу ієрархічної мережі обміну інформацією складають на верхньому рівні локально - обчислювальна мережа (ЛОМ) Ethernet і промислова мережа Profibus. ЛОМ Ethernet із випадковим доступом до інформації призначена для об'єднання робочих місць операторів і передачі інформації (навігаційної, картографічної і даних суднового (навігаційного) журналу). Локальна мережа Profibus із детермінованим доступом до

інформації забезпечує передачу управляючої інформації і резервування ЛОМ Ethernet за передачею основної інформації

На нижньому рівні мережі обміну використовуються радіальні багато-точкові канали "точка - точка", реалізовані на базі інтерфейсів типу RS - 422 (RS-485) і RS-232.

Подана концепція побудови інтегрованих АКС з урахуванням тенденцій їх розвитку дозволяє створювати конкурентноздатні комплекси при значному скороченні вартості їх створення та експлуатації.

Під час обговорення тенденцій розвитку АКС необхідно враховувати важливе значення людського фактора - нова техніка вимагає нових навиків і спеціальної системи підготовки. У зв'язку з цим ще більша роль повинна приділятися тренажерам та іншій апаратурі, що дозволяє навчати операторів та судноводіїв.

Особливе місце в майбутньому займуть берегові системи управління рухом суден (СУРС) спільно із автоматизованою ідентифікаційною системою (AIS). Ними будуть обладнані практично всі підходи до портів і прибережні райони інтенсивного судноплавства. У цей час ставиться питання про необхідність розробки в міжнародному плані загальних принципів функціонування таких національних служб. При цьому виникає задача ув'язки СУРС і АКС щодо передачі на пульт судноводіння АКС судна інформації берегової СУРС, використовуючи транспондери AIS. Надалі з появою суден-роботів берегові СУРС будуть забезпечувати дистанційне управління ними по радіо.

Вимагає подальшої уваги питання створення моделюючих систем навігаційної обстановки для перевірки і відпрацювання АКС, які дозволять різко скоротити строки проведення судових випробувань АКС, підвищити їхню якість і надійність.

Створення автоматизованих систем судноводіння дозволить підвищити безпеку плавання суден і ефективність їх експлуатації.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Назвіть основні тенденції розвитку АКС.
2. Охарактеризуйте поняття повної інформатизації процесу судноводіння.
3. Назвіть основи навігаційного забезпечення на початку нового століття.
4. Назвіть і вкажіть тенденції розвитку основних засобів навігації.
5. Що дає використання транспондерів для автоматизації процесу судноводіння?
Назвіть особливості мостикових АКС транспортних суден класу OMBO-ships

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов Ю.К. Определение места судна с помощью навигационных спутников.- М.;Транспорт,1984. -112 с.
2. Березин С.Я.,Тетюев Б.А. Системы автоматического управления движением судна по курсу.- Л.; Судостроение,1990. - 226 с.
3. Богданов В.А.,Сорочинский В.А., Якшевич Е.В. Спутниковые системы морской навигации.- М.; Транспорт, 1987. - 200 с.
4. Бородай И.К., Нецветаев Ю.А. Мореходность судов.- Л.,Судостроение, 1982.-288 с.
5. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна.- Одесса, ОГМА, 1988. - 67 с.
6. Вагущенко Л.Л., Данцевич В.А., Кошевой А.А. Электронные системы отображения навигационных карт. - Одесса, ОГМА, 1998. - 50с.
7. Вагущенко Л.Л., Кошевой А.А. Особенности обработки данных в судовых радиолокационных системах. - Одесса, ОГМА, 1998. - 66 с.
8. Вагущенко Л.Л., Стафеев А.М. Судовые автоматизированные системы навигации.- М.;Транспорт,1989. -157 с.
9. Вагущенко Л.Л., Стафеев А.М., Цымбал Н.Н. Автоматизация судовождения. - Одесса, ОГМА, 1994. -355 с.
- 10.Воробей В.И., Кошевой А.А. Обучающаяся система обнаружения в условиях

нестационаргой помехи от морского волнения//Вопросы судостроения. Сер.Вычислительная техника, 1982,выш.43.

11.Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС/Под редакцией Харисова В.Н., Перова А.И., Боддина В.А.- М.;ИПЖР, 1998.400с.

12.Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. - Л.,Судостроение, 1988. - 360 с.

13.Золотов В.В.,Фрейдзон И.Р. Управляющие комплексы сложных корабельных систем.- Л.,Судостроение, 1986, - 232 с.

14. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. - М., Транспорт, 1989, - 230 с.

15. Кошевой А.А. Особенности разработки систем судовождения транспортных судов // «Судостроение», 1991, N 3.

16.Кошевой А.А. Особенности разработки автоматизированной системы регистрации данных судового журнала // «Судостроение», 1994, N 5-6.

17.Кошевой А.А., Канайкин М.М. К вопросу надежности систем авто-матизации судовождения // «Судостроение», 1994, N 2.

18.Кошевой А.А., Лапий В.Ю., Москвин Г.С. Комплекс судовождения «Панорама-1» // «Морской флот», 1993, N 5-6.

19.Кошевой А. А., Лапий В.Ю. Радиозлектронная аппаратура судов будущего. «Морской флот», 1992. N 10-11.

20.Кошовий А. А., Сучасні техніко-експлуатаційні вимоги до засобів навігації та судноводіння.// Механіка гіроскопічних систем, Киш, «Либідь», 1997, N14.

Koshevoy A. Trends of development of navigation and motion control systems for transport vessels and merchant ships//Proceedings of the 21 annual meeting international association, Helsinki, Finland, 6-9 August 1996.

22. Кошевой А.А. Устройство для управления судном. А.С. 1364067. Зарегистрировано 01.09.1987 г.

23.Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. - Киев, КВИЦ, 2000.- 426 с.

24.Лукомский Ю.А., Корчанов В.М. Управление морскими подвижными объектами. - С-П. ЗЛМОР. 1996. -318 с.

25.Методы анализа и синтеза структур управляющих систем. Под общей редакцией Волика Б.Г. - М., Машиностроение. 1988. - 198 с.

26.Орлов В.А. Автоматизация промышленного судовождения. - М., Агропромиздат, 1989.-256 с.

27.Першиц Р.Н. Управляемость и управление судном. - Л., Судостроение, 1983.- 272 с.

28.Радиотехнические системы. Под ред. Казаринова Ю.М. - М., Высшая школа, 1990.-486 с.

29.Родионов А.И., Сазонов А.Е. Автоматизация судовождения. М.,Транспорт, 1983.-216 с.

30.Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов/ Зурабов Ю.Г., Черняев Р.Н., Якшевич Е.В., Яловенко В.Я.. - М., Транспорт, 1985.-264 с.

31.Управление судном/ Под редакцией Снопкова В.И. - М., Транспорт, 1991.-359 с.

32.Хетагуров Я.А., Древис Ю.Г. Проектирование информационно-вычислительных комплексов.- Л., Высшая школа. 1987. - 280 с.

33.Якушенков А.А., Кошевой А.А. и др. Результаты разработки и судовых испытаний комплексной системы автоматизации судовождения «Бирюза»//«Навигация и управление судном». Труды ЦНИИ МФ,- Л., Транспорт. 1986.

ЗМІСТ

ВСТУП

1.ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СУДНОВОДІННЯ

1.1.Автоматизований процес, його цілі, задачі

1.2. Загальні відомості про комплекси організаційно-програмного управління

1.3. Принципи побудови автоматизованих комплексів судноводіння

1.4. Структура бортового АКС і призначення його складових систем

1.5. Вимоги до АКС, що працює в складі суднової мікропроцесорної мережі

1.6. Елементна база АКС

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

2. СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КАРТ (СВЕК)

2.1. Загальні відомості

2.2. Техніко-експлуатаційні вимоги до систем з ЕК

2.3. Картографічна база даних

2.4. Система управління картографічною базою даних

2.5. Алгоритми розрахунку екранних координат об'єктів для побудови ЕК

2.5. Коректура ЕК

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3. ПРИНЦИПИ СКЛАДАННЯ ПРОГРАМ ПЕРЕХОДІВ

ЗА ДОПОМОГОЮ БОМ

3.1. Загальні відомості про плануючу консультативну інформаційну навігаційну систему

3.2. Модуль "Рекомендовані маршрути"

3.3. Модуль "Маневреність"

3.4. Модуль "Навігаційна безпека"

3.5. Прогнозування впливу мілководдя на рух судна

3.6. Розрахунок припливно-відпливних явищ

3.7. Модуль "Погода"

3.8. Розрахунок морехідних якостей судна

3.9. Корекція маршруту переходу на основі прогнозу полів хвилювання

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ РІШЕННЯ ОПЕРАТИВНИХ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ

4.1. Характеристика оперативних задач навігації і структура автоматизованої навігаційної системи

4.2. Автоматизація зчислення шляху судна

4.3. Первинна обробка даних при обсерваціях

4.4. Вторинна обробка інформації при обсерваціях

4.5. Особливості обробки даних РИС "Декка", "Альфа", "Лоран-С"

4.6. Особливості розрахунку обсервованих координат в супутникових навігаційних системах

4.7. Особливості рішення навігаційних задач, пов'язаних з обчисленням астрономічних параметрів

4.8. Уточнення елементів руху судна за результатами різночасових обсервацій

4.9. Автоматизовані навігаційні прийомоіндикатори (ПІ) і системи

ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ І СКОРОЧЕННЯ, ЩО

ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В НАВІГАЦІЙНИХ ПІДСИСТЕМАХ

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

5.1. Загальні поняття про автоматизацію обробки радіолокаційної (РЛ) інформації

5.2. Техніко-експлуатаційні вимоги до РЛ-систем

5.3. Характеристика інформації РЛ-датчика

5.4. Первинна обробка РЛ-інформації

5.5. Склад вторинної обробки РЛ-інформації. Селекція відміток цілей для супроводжуваних траєкторій

5.6. Визначення параметрів траєкторій супроводжуваних цілей

- 5.7. Оцінка небезпечної ситуації і імітація маневру на безпечне розходження
- 5.8. Відображення результатів обробки РЛ-інформації
- 5.9. Точність роботи ЗАРП
- 5.10. Характеристики ЗАРП

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

6. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

- 6.1. Загальні поняття
- 6.2. Модель судна як об'єкта стабілізації курсу
- 6.3. Модель стабілізованого по курсу судна як об'єкта управління боковим зміщенням корегуваннями курсу
- 6.4. Модель судна як об'єкта управління швидкістю ходу за допомогою гвинта
- 6.5. Модель судна як об'єкта управління рухом за допомогою стерна і гвинта

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

7. АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

- 7.1. Призначення системи управління рухом судна
- 7.2. Автоматизація процесу стабілізації курсу
- 7.3. Рівняння системи стабілізації курсу
- 7.4. Принципи оптимізації стабілізації курсу
- 7.5. Автоматизація управління курсом на повороті
- 7.6. Оптимізація управління рухом на повороті
- 7.7. Автоматизація управління боковим зміщенням на відрізках маршруту
- 7.8. Оптимізація управління боковим зміщенням

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

8. ВИДИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

- 8.1. Авторульові (автостернові) з ручною настройкою
- 8.2. Адаптивні авторульові
- 8.3. Інтегрована мікропроцесорна маневрова система

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

9. АВТОМАТИЗАЦІЯ РЕЄСТРАЦІЇ ДАНИХ ПРОЦЕСУ СУДНОВОДІННЯ

- 9.1. Загальні поняття
- 9.2. Модель процесу реєстрації
- 9.3. Особливості реєстрації даних суднового журналу в автоматизованих комплексах судноводіння

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

10. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ СУДНОВОДІННЯ (АКС)

- 10.1. Системно-технічні принципи проектування
- 10.2. Етапи проектування АКС
- 10.3. Вибір критерію ефективності АКС
- 10.4. Особливості проектування АКС
- 10.5. Принципи організації контролю роботи і діагностики АКС... 254

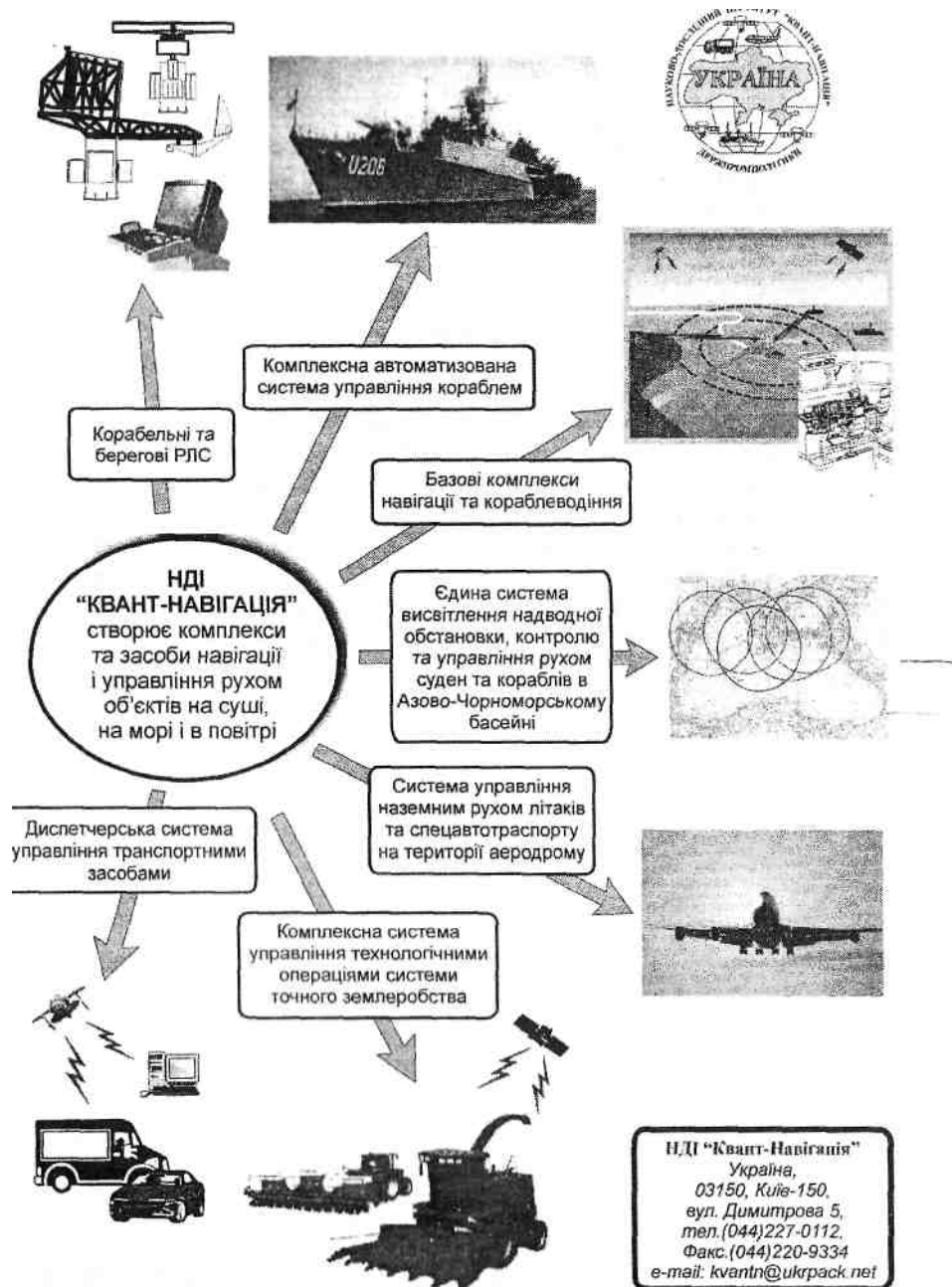
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

11. ВІТЧИЗНЯНІ БОРТОВІ АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ СУДНОВОДІННЯ

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

12. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ СУДНОВОДІННЯ

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ



ЛІТЕРАТУРА

Автоматизовані комплекси судноводіння

Вагущенко Леонід Леонідович, 1941 р.н.

Закінчив Одеське вище інженерне морське училище в 1965 році, к.ф.-м.н. з 1972 р., д.т.н. з 1993 р., доцент на кафедрі «Автоматизація судноводіння» з 1975 р., професор з 1995 р., завідувач кафедри Одеської державної морської академії.

Кошовий Анатолій Андрійович, 1938 р.н.

Закінчив Київський політехнічний інституту 1961 р., к.т.н. з 1971 р., д.т.н. з 1993 р., с.н.с. з 1977 р., головний конструктор систем судноводіння Мінсудпрому СРСР з 1980 р., заступник директора НДІ «Квант» — директор міжгалузевого СКБ «Квант-Навігація» з 1994 р., головний конструктор Мінмашпрому з 1994 р., директор - головний конструктор НДІ «Квант-Навігація» з 1996 р., професор кафедри «Автоматизація судноводіння» Київської державної академії водного транспорту з 1998 р., Голова Українського відділення Міжнародної Академії навігації та управління рухом, член Міжнародної академії інформатизації та Академії інженерних наук України, лауреат Державної премії СРСР, Заслужений працівник промисловості України.