

УДК 629.5.016

О. І. СТАДНИК, В. Ф. ЛАВРІНЕНКО,

Київська державна академія водного транспорту

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Розроблено вимоги до математичної моделі процесу технічної експлуатації об'єктів суднових комплексів, обрано клас моделі та метод моделювання. Це дозволило розробити формалізований опис досліджуваного процесу, обґрунтувати форму показників його ефективності та критерію оптимальності, а також подати математичну постановку завдань дослідження.

Ключові слова: суднові комплекси; процес технічної експлуатації; математична модель.

Вступ

Для розроблення формалізованого опису процесу технічної експлуатації суднового комплексу, показників його ефективності та критерію оптимальності постає потреба в побудові відповідних математичних моделей, що охоплює і постановку частинних завдань дослідження.

Мета статті полягає у виборі класу моделі та методу моделювання процесу технічної експлуатації об'єктів суднових комплексів, а також у формуванні вимог до відповідної математичної моделі.

Необхідність використання математичної моделі досліджуваного процесу, яка включає в себе взаємозв'язані параметри, показники та критерії, впливає з принципу системного підходу при оцінюванні ефективності складних систем [1–3].

Вибір математичного апарату для аналізу того чи іншого досліджуваного явища базується на попередньому досвіді та на даних, отриманих у результаті вивчення реальних об'єктів. Під час розгляду в загальному плані будь-якого досліджуваного явища може бути обрано одну з двох математичних моделей — детерміновану або стохастичну [4].

Детермінована модель обирають у тих випадках, коли можна точно вказати причини, під впливом яких розглядуваний процес зазнає змін, а в разі відомих вхідних впливів можна з будь-яким ступенем точності розрахувати вихідний результат.

Що ж до процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів суднового комплексу (СК), то він класифікується як **стохастичний** [5; 6]. Адже точно врахувати всі випадкові фактори, що впливають на нього, практично неможливо. Саме тому для адекватного опису процесу технічного обслуговування та ремонту СК має бути побудована стохастична модель.

Як відомо, математичні моделі, що дозволяють кількісно описувати процеси функціонування об'єктів експлуатації, спираються на апріорні відомості про можливі стани процесу технічної експлуатації (ПТЕ), умови переходу з одного стану в інший, а також на статистичні дані, отримані протягом експлуатації однотипних технічних систем. Саме тому згідно з результатами аналізу особливостей ПТЕ суден і метою дослідження сформулюємо вимоги до розроблюваної математичної моделі.

1. Вимога щодо побудови моделі. Побудова моделі процесу технічної експлуатації СК судна має враховувати, що перехід об'єкта СК з одного стану ПТЕ в інший відбувається в часі, а отже, шукана математична модель являтиме собою модель процесу з відомим статистичним описом.

2. Вимога щодо обмежень. Для уможливлення порівняльного техніко-економічного оцінювання різних варіантів організа-

ції процесу відновлення СК та впливу на процес його технічної експлуатації використовуваних апаратно-програмних комплексів контролю та діагностування технічного стану СК за результатами моделювання відповідна модель не повинна включати в себе жорстких обмежень на простір станів ПТЕ та функції розподілу часу (ФРЧ) перебування ПТЕ в тому чи іншому стані.

3. Вимога щодо простоти. Необхідно досягти простоти опису ПТЕ СК у моделі, що дозволить розв'язати поставлену задачу з достатньою точністю, забезпечивши простоту створення самої моделі. Ця вимога ґрунтується, з одного боку, на необхідності отримання бажаного результату, а з другого — на практичних обмеженнях щодо обсягу інформації, достатнього для визначення шуканих характеристик досліджуваного процесу.

4. Вимога щодо наочності. Має бути забезпечено наочність подання розглядуваного процесу, що сприятиме, зокрема, легкому її сприйняттю.

5. Вимога щодо адаптивності. Ідеться про можливість оперативного уточнення моделі у процесі нагромадження поточної інформації про перебіг реального ПТЕ.

6. Вимога щодо контрольованості результатів. Має бути забезпечено можливість відстеження причинно-наслідкових зв'язків параметрів у моделі ПТЕ протягом моделювання.

7. Вимога щодо невисокої трудомісткості обчислень. Ідеться про використання якомога ефективніших алгоритмів оцінювання шуканих техніко-економічних показників ефективності ПТЕ об'єктів СК із метою отримання доступних для огляду результатів моделювання.

Як бачимо, розроблені вимоги до математичної моделі ПТЕ СК судна поділяються на групи в такий спосіб. Вимоги 1–3 визначаються класом обраної стохастичної моделі, вимоги 5–7 — обраним методом моделювання, тоді як вимога 4 становить наочності моделі є загальною.

На підставі наведених вимог до шуканої математичної моделі оберемо клас стохастичної моделі та метод моделювання.

Вибір класу моделі та методу моделювання

Обґрунтування класу моделі. Стохастичні моделі зазвичай класифікуються як випадкові процеси і можуть являти собою процеси з дискретними станами (множина станів скінченна або зліченна), а також із неперервною множиною станів (множина станів ставиться у взаємно однозначну відповідність множині точок числового інтервалу), із дискретним часом (випадкові поспільності) та з неперервним часом [3].

Нині розроблено багато стохастичних моделей, в основу опису яких покладено функціонування складних технічних

систем. Головні класи цих систем такі: бульові, лінійні, гауссівські, автоматні, агрегатні, марковські, напівмарковські, регенерувальні, багатокомпонентні, моделі у вигляді систем масового обслуговування.

У рамках **бульової ймовірнісної моделі** припускається, що функціонування технічної системи можна подати у вигляді послідовно-паралельної схеми зі входом та виходом, а також із заданою кількістю проміжних вершин (контактів), замкненість яких інтерпретується як настання модельованої події.

Вочевидь, така проста інтерпретація функціонування технічних систем не дозволяє використовувати бульові ймовірнісні моделі для адекватного кількісного опису ПТЕ об'єктів СК. Цей клас моделей, як правило, використовується для спрощеного ймовірнісного розрахунку надійності досліджуваних технічних систем [7]. Отже, бульова ймовірнісна модель задовольняє лише вимоги 3 і 4.

Складність застосування **лінійних** [1; 2] та **гауссівських** [3] **ймовірнісних моделей** для опису процесу технічної експлуатації об'єктів СК полягає в тому, що обґрунтувати лінійну залежність між параметрами, які описують ПТЕ, та показниками його ефективності насправді дуже важко. Утім не легше знайти оператор лінійного перетворення — передаточну функцію. Очевидно, що застосування зазначених класів моделей дозволяє задовольнити тільки вимоги 1 і 3.

Таким чином, за допомогою бульових, лінійних і гауссівських ймовірнісних моделей процес функціонування вдається адекватно описати лише для обмеженого кола технічних систем, підпорядкованих жорстким закономірностям, які дозволяють зробити відповідні зазначеним моделям припущення щодо ймовірнісного характеру розглядуваних випадкових процесів.

Автоматні та агрегатні ймовірнісні моделі ґрунтуються на поданні модельованих технічних систем у вигляді скінченних автоматів (агрегатів) [8; 9]. Функціонування реальної технічної системи в межах автоматної (агрегатної) моделі описується за допомогою операторів переходів і операторів виходів, а також схемами з'єднань, що характеризуються сукупністю наборів контактів і відповідних операторів. Ймовірнісні автомати (агрегати), як правило, використовуються для оцінювання складних технічних систем із ненадійними елементами, систем зі структурою, змінною в часі у випадковий спосіб, а також систем, структура і стан яких у деякі моменти часу вірогідно невідомі, а отже, не можуть бути описані лише термінами теорії ймовірностей [9].

Як розгляд будь-якої універсальної системи, агрегативний підхід призводить до перевантаження моделі, а це суттєвий недолік, коли йдеться про систему, що складається із сотень елементів, як, скажімо, система експлуатації парку судна. Окрім того, моделі, побудовані як агрегативна система, бракує наочності [9], що може істотно заважати її активному використанню. Зрештою застосування зазначених класів моделей дозволяє задовольнити вимоги 1 і 2.

Як показало дослідження [5; 7], для реальних стохастичних систем, що змінюють свої стани стрибком, характерна наявність скінченної кількості можливих переходів, а ті, у свою чергу, визначаються скінченною кількістю випадкових факторів, які призводять до змін стану системи. Кожний із таких факторів характеризується визначеним випадковим часом впливу, залежним, як правило, від даного стану системи. Саме тому серед сто-

хастичних моделей систем особливо виокремлюються **марковські, напівмарковські та регенерувальні системи** [3].

Процес функціонування досліджуваної технічної системи S у **марковській моделі** описується марковським процесом $S(t)$, який можна подати у вигляді випадкового процесу з дискретними або неперервними станами, з дискретним або неперервним часом. На практиці для опису процесу функціонування реальних технічних систем, як правило, використовують марковський процес (МП) із дискретним і неперервним часом. У такому разі припускається, що модельована система S може перебувати в скінченній множині станів $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$, де N — кількість усіх можливих станів.

Процес еволюції системи S полягає у зміні її станів $S(T) = S_n$ за рахунок переходу з одного стану e_1 до іншого e_j ($i, j \in E$). При цьому МП визначається **марковською властивістю** — незалежністю від усієї попередньої еволюції системи ймовірності переходу системи з даного стану в будь-який інший, а також незалежністю розподілів тривалості перебування в стані θ_n від усієї попередньої щодо цього стану еволюції системи.

Проте сильним обмежувальним припущенням у марковській моделі є припущення, що показниковий розподіл тривалості θ перебування модельованої системи в будь-якому модельному стані $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$.

Як показали численні дослідження [1–5], формальний опис більшості технічних систем характеризується тим, що знання будь-якої попередньої історії цієї системи суттєво не впливає на її стан у майбутньому. Саме тому клас марковських систем знайшов широке застосування для математичного опису процесів функціонування різноманітних технічних систем. До переваг марковських моделей належать їхня висока наочність, достатність прийняття порівняно невеликої кількості припущень, а також простота математичного апарату, потрібного для аналізу.

Проте умова експоненціальності законів розподілу часу перебування в модельних станах, яка забезпечує властивість відсутності післядії марковського процесу, у практичних завданнях з технічної експлуатації, які передбачають виконання різних операцій із технічного обслуговування та ремонту, справджується рідко. Це пояснюється передусім наявністю у процесі експлуатації планових перевірок і контролю, різних видів технічного обслуговування з регламентованим часом, а також існуванням непуассонівських потоків, що переводять систему з одного стану в інший [4–6]. Таким чином, марковська модель задовольняє вимоги 1, 3 і 4, але не задовольняє вимогу 2, що не дозволяє адекватно описати реальний процес технічної експлуатації об'єктів СК у межах марковської ймовірнісної моделі.

Напівмарковська ймовірнісна модель характеризується тим, що вона позбавлена обмеження на закон розподілу часу перебування в модельних станах. Тому клас щодо напівмарковських (НМ) систем більшою мірою підходить для опису ПТЕ реальних складних технічних систем, в яких зміна станів відбувається під дією випадкових факторів, доступних для спостереження і математичного опису.

Що ж до НМС, то вони спираються на достатньо ефективний математичний апарат аналізу, являючи собою безпосереднє узагальнення ланцюгів Маркова на випадок довільних законів розподілу часу перебування в тому чи іншому стані [8]. Напівмарковські моделі вимагають наявності доволі значного і не

завжди доступного статистичного матеріалу для адекватного задання законів розподілу часу перебування в модельних станах. Через це доводиться послуговуватись суб'єктивними припущеннями дослідника щодо поведінки системи [1; 2], які нерідко призводять до хибних висновків.

У більшості задач прикладного характеру використання марковської апроксимації призводить до отримання розв'язків із похибкою, що перебуває в межах точності вихідних даних. Моделювання ПТЕ складних технічних систем із використанням процесів марковського (напівмарковського) відновлення показало, що здебільшого ця похибка не перевищує 3–5% [4]. Таким чином, клас НМ моделей задовольняє сформульовані раніше вимоги 1, 2 і 4 за рахунок вимог 3 і 6.

Технічна експлуатація парку як річкових, так і морських суден — це складний взаємозв'язаний стохастичний процес, що включає в себе функціонування окремих об'єктів СК у складі судна. Таку систему можна описати за допомогою класів регенеруючих багатокомпонентних стохастичних систем, а також систем масового обслуговування [5].

Клас **багатокомпонентних систем** виокремлюється з широкого кола стохастичних систем за такою ознакою: еволюція відповідної системи задається НМ моделлю, що адекватно описує систему і водночас достатньо досяжна й ефективна при аналізі її функціонування [5]. У такому разі припускається, що досліджувана система складається зі скінченної кількості l^k об'єктів, $k = \overline{1, L}$, кожний з яких може перебувати у скінченній кількості N_k , $k = \overline{1, N_k}$, можливих станів. Функціонування кожного з об'єктів l^k описується НМ процесом $(l_n^k, \theta_n^k; n \geq 0)$ у скінченному фазовому просторі станів (ФПС) $E^k = \overline{1, N}$. При цьому припускається, що кожний об'єкт функціонує незалежно від інших об'єктів системи. Багатокомпонентна система задається скінченною сукупністю незалежних НМ відновлень $(l_n^k, \theta_n^k; n \geq 0)$ зі скінченим ФПС $E^k = \overline{1, N}$.

Зазначений клас систем має ефективний апарат аналізу [5; 7], завдяки якому в разі використання НМ моделі процесу технічної експлуатації окремого об'єкта СК як елемента парку суден вдається порівняно легко оцінити шукані характеристики парку однотипних об'єктів СК. Клас багатокомпонентних систем задовольняє вимоги 1 і 3, але не повною мірою задовольняє вимогу 2 і зовсім не задовольняє вимогу 4.

Зауважимо, що припущення стосовно незалежності функціонування окремих об'єктів не поширюється на моделі, побудовані на принципах **систем масового обслуговування** (СМО) [8].

Функціонування складної системи як СМО подається у вигляді деякої сукупності каналів обслуговування з визначеним механізмом обслуговування. На ці канали надходить потік заявок щодо обслуговування згідно із заданою дисципліною черги.

Характерна задача теорії масового обслуговування полягає в установленні залежності між характером потоку заявок, продуктивністю окремих каналів та ефективністю обслуговування.

Нині вже знайдено аналітичні розв'язки для СМО з найпростішою дисципліною черги та елементарною структурою, що, як правило, характеризується наявністю марковської властивості досліджуваного процесу [3; 4]. Отже, клас стохастичних моделей у вигляді СМО задовольняє вимоги 1 і 4, але не повною мірою задовольняє вимоги 2 і 3.

Ще один широкий клас моделей становлять моделі, що використовують **регенерувальні випадкові процеси** [3; 4]. Ці моделі ґрунтуються на припущенні, що досліджуваний технічний об'єкт протягом експлуатації з імовірністю $P(\xi) = 1$ за скінченний час ξ (тривалість циклу) потрапляє в деякий стан (момент регенерації), в якому вся попередня історія вже не впливає на його подальшу еволюцію.

Функціонування такого технічного об'єкта описується регенерувальним процесом $Y(t)$ зі скінченною множиною $\{\theta_i\}$ циклів регенерації, кожний із яких складається зі скінченної множини фаз w_n (станів) у скінченному ФПС $E^k = \overline{1, N}$. При цьому не обов'язково, аби процес $Y(t)$ у кожному i -му циклі проходив через усі фази.

Циклічний характер таких випадкових процесів полегшує дослідження їхніх асимптотичних властивостей, що становить мету цього дослідження. Адже тут, на відміну від марковських (напівмарковських) моделей не висувається жорстких обмежень на закони розподілу часу перебування в модельних станах, тоді як подання ПТЕ у вигляді регенерувального процесу передбачає, що потік відновлень є рекурентний.

Зазначений клас моделей має ефективний апарат аналізу [1–7], що в разі подання процесу технічної експлуатації складної технічної системи як регенерувального дає змогу легко визначити стаціонарні характеристики для парку однотипних об'єктів СК.

Клас моделей регенерувальних процесів задовольняє вимоги 1–4, але не задовольняє вимог 5 і 7.

Результати проведеного аналізу стохастичних моделей функціонування об'єктів експлуатації, застосовуваних для побудови математичних моделей ПТЕ складних технічних систем, дають підстави для вибору класу моделей, що використовують регенерувальні процеси.

Використання моделей зазначеного типу дозволяє успішно розв'язувати задачу вибору раціональних стратегій технічного обслуговування та ремонту, а в ряді випадків і задачу оптимізації [1–7].

Обґрунтування методу моделювання

Для визначення ймовірнісних характеристик стохастичних моделей можна застосовувати різні методи моделювання випадкових процесів. Розрізняють аналітичний, імітаційний та комбінований методи [1–9].

Аналітичні моделі використовуються здебільшого в тих випадках, коли кількість параметрів, що характеризують досліджуваний процес, не дуже велика або коли залежності між ними порівняно нескладні [2]. Вони дозволяють за допомогою алгебраїчних, диференціальних, різницевих та інших видів рівнянь встановити формульні залежності між основними факторами, що визначають досліджуваний процес, і показниками його ефективності. Вони зручні також і тим, що для їх побудови й дослідження можна застосовувати різноманітні математичні методи та прийоми.

Методи аналітико-стохастичного аналізу передбачають складання та розв'язування систем диференціальних рівнянь безпосередньо для ймовірностей можливих станів ПТЕ [3]. Завдяки цьому вдається задовольнити вимоги системності й вірогідності, забезпечивши змогу отримати закони розподілу досліджуваних характеристик моделей. При цьому значення шуканих

показників ефективності за результатами розрахунків можуть бути отримані з одиничним значенням надійної ймовірності і нульовим значенням інтервалу.

Варто наголосити, що даний метод забезпечує контрольованість результатів і невисоку трудомісткість обчислень.

У разі **теоретико-ймовірнісного методу** диференціальні рівняння складаються з урахуванням стану кожного об'єкта експлуатації та його характеристик [4], що для технічних систем великого масштабу (скажімо, парку суден або його комплектуючих) призводить до різкого збільшення кількості рівнянь. Через це модель втрачає наочність і не задовольняє вимог щодо простоти створення та контрольованості результатів моделювання.

Загальний недолік аналітико-стохастичного та теоретико-ймовірнісного методів моделювання полягає в неможливості розробки на їхній основі універсальної адаптивної моделі ПТЕ об'єктів СК. Через це внесення будь-яких змін до складу простору станів ПТЕ або функцій розподілу часу (ФРЧ) перебування в модельних станах змушує знову виводити всі передбачені аналітичні залежності для оцінювання показників ефективності, тобто фактично створювати нову модель.

Метод динаміки середніх дозволяє в разі великої кількості можливих станів досліджуваної складної технічної системи (функціонування окремих елементів описується процесами відновлення у скінченному ФПС) оцінити середні характеристики функціонування всієї системи [5]. За допомогою цього методу вдається уникнути обчислювальних труднощів, пов'язаних з одночасним розв'язуванням великої кількості диференціальних або алгебраїчних рівнянь для відшукання ймовірностей можливих станів досліджуваної складної системи.

Сутність методу динаміки середніх полягає ось у чому. У процесі математичного аналізу багатокomпонентної складної системи розглядаються стани не системи в цілому, а окремого її елемента. Це ґрунтується на припущенні про незалежність потоків подій, що переводять елемент системи з одного стану в інший, від чисельності елементів у даному та інших станах. Очевидно, що це припущення можна виконати, якщо окремі елементи системи функціонують незалежно один від одного або якщо параметри ФРЧ перебування окремого елемента системи в довільному модельному стані до переходу в суміжний із ним стан задано з урахуванням взаємодії (залежності) процесів функціонування решти елементів складної системи.

Зазначене припущення можна послабити, скориставшись принципом квазірегулярності, а також урахувавши поповнення загальної кількості станів [6].

Отже, головний недолік методу динаміки середніх — це невідповідність вимогам системності.

Імітаційні методи поряд з аналітичними належать до найбільш поширених засобів теорії управління та дослідження операцій, що дають змогу керувати ефективністю складних систем [7].

Імітаційне моделювання полягає в тому, що динаміка поведінки досліджуваної системи подається як процес просування її від одного стану до іншого згідно з чітко визначеними операційними правилами. При цьому зміни станів системи відбуваються або неперервно, або в дискретні моменти часу, а отже, основна концепція імітації розглядуваної системи зводиться до відображення зміни її станів у часі.

Важлива перевага імітаційного моделювання полягає в тому, що воно дає змогу фіксувати проміжні значення різних показників у процесі імітації подібно до того, як це відбувається протягом експлуатації реальної системи.

Імітаційні моделі, як правило, використовуються для проектування, аналізу й оцінювання функціонування складних систем [5; 6]. Імітаційне моделювання базується на концепції ітеративної побудови моделі, в ході якої модель змінюється через доповнення новими або вилучення деяких її елементів і/або взаємозв'язків між ними. При цьому припускається, що система підлягає опису в термінах, зрозумілих обчислювальній системі.

Детерміновані імітаційні (детальні) моделі базуються на розробці детермінованої «копії» досліджуваного процесу [6–7]. Але оскільки процес технічної експлуатації об'єктів СК класифікується як стохастичний, то детерміновані моделі не можуть бути застосовані для опису процесів ПТЕ об'єктів СК.

Що ж до **статистичних моделей**, то вони дають змогу порівняно просто враховувати дискретні, неперервні, логічні параметри, відповідні нелінійні зв'язки, а також різноманітні випадкові фактори й впливи на процес технічної експлуатації [1–5], задовольняючи вимоги адаптивності, універсальності та простоти створення розроблюваної моделі.

Статистичний метод моделювання передбачає багаторазове застосування імітаційної моделі для набору статистики, а це, у свою чергу, дозволяє задовольнити вимоги вірогідності й системності результатів моделювання. Донедавна основним недоліком статистичних моделей вважалась необхідність великих витрат часу на проведення імітаційних експериментів (велика трудомісткість обчислень) для отримання вірогідних характеристик досліджуваного процесу [4–6]. Але з появою швидкодіючих персональних ЕОМ цей недолік перетворився на неістотний.

Спільний недолік імітаційних моделей полягає в їх побудові за принципом «чорної скрині» [6; 7], чим унеможливується контроль здобутих результатів.

Комбіновані методи моделювання об'єднують переваги статистичного та аналітичного моделювання.

Аналітико-статистичні моделі являють собою сукупність методів прискореного моделювання, які поєднують у собі можливість аналітичних та статистичних методів.

В основу цих методів покладено **метод малого параметра** [6; 7]. При цьому серед вихідних характеристик модельованого процесу експлуатації визначається та, котру можна розглядати як малий параметр ϵ . Далі за допомогою різних аналітичних методів, шукані характеристики досліджуваного процесу (показники ефективності) подаються у вигляді ряду за степенями ϵ . Коефіцієнти цього ряду інтерпретують як значення математичного сподівання функціоналів від деяких допоміжних випадкових процесів і визначаються за допомогою методу статистичного моделювання. Загалом цей метод розвивався для оцінювання безвідмовності високонадійних систем [9].

Вочевидь, при розробці математичних моделей ПТЕ об'єктів СК слід враховувати, що ці моделі не задовольняють вимог адаптивності та універсальності, а також не повною мірою задовольняють вимоги контрольованості результатів і простоти створення.

Висновки

Аналіз методів, застосовуваних для моделювання процесів експлуатації СТС, з урахуванням обраних класів стохастичних математичних моделей, дає змогу зробити правильний вибір методу, найбільш придатного в тій чи іншій конкретній ситуації.

Література

1. **Егоров, Г. В.** Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска / Г. В. Егоров.— Судостроение, 2007.— 384 с.
2. **Смирнов, Н. Н.** Обслуживание и ремонт техники по состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович.— Транспорт, 1987.— 277 с.
3. **Волков, Л. И.** Управление эксплуатацией корабельных комплексов / Л. И. Волков.— Высшая школа, 1981.— 368 с.

4. **Барзилович, Е. Ю.** Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович.— Высшая школа, 1982.— 231 с.

5. **Навігаційне** забезпечення управління рухом суден: навч. посіб. / [В. І. Богом'я, В. С. Давидов, В. В. Доронін та ін.].— Вид. 1-ше.— К.: ДВВП «Компас», 2012.— 336 с.

6. **Каштанов, В. А.** Оптимальные задачи технического обслуживания / В. А. Каштанов.— М.: Знание, 1981.— 122 с.

7. **Лавриненко, В. Ф.** Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством / В. Ф. Лавриненко, А. И. Стадник, В. П. Тарохтей // Водный транспорт.— 2014.— Вып. 3(21).— С. 11–14.

О. И. Стадник, В. Ф. Лавриненко

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Разработаны требования к математической модели процесса технической эксплуатации объектов судовых комплексов, выбран класс модели и метод моделирования. Это позволило разработать формализованное описание процесса, обосновать форму показателей его эффективности и критерия оптимальности, а также представить математическую постановку частных задач исследования.

Ключевые слова: судовые комплексы; процесс технической эксплуатации; математическая модель.

O. I. Stadnyk, W. F. Lavrinenko

THE PECULIARITIES OF THE PROCESS OF MATHEMATICAL MODELING OF SERVICING OF SHIP SYSTEM'S OBJECTS

In this article, we developed a mathematical model of requirements to process technical operation of ship systems, selected the class model and modeling method. It is possible to develop a formalized description of the process, to justify the form of indicators of its efficiency and optimality criterion, carry out the mathematical formulation of the private research problems.

Keywords: ship systems; technical operation process; the mathematical formulation.