УДК 378.004 DOI: 10.30929/1995-0519.2019.6.84-90

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИРОДНИХ ЯВИЩ У ПРОФЕСІЙНІЙ РОБОТІ МОРЯКА

Л. В. Кравцова, Т. В. Зайцева, Н. Г. Камінська
Херсонська державна морська академія
вул. Ушакова, 20, м. Херсон, 73009, Україна.
E-mail: limonova@ukr.net, sunny@liveworld.biz; kam_natali@gmail.com.

Основи наукових досліджень закладаються в період навчання судноводія у вищій школі. Як і в будь-якому технічному навчальному закладі, в Херсонській державній морській академії майбутньому моряку з першого курсу викладаються такі базові дисципліни як вища математика, фізика, інформаційні технології. Програми навчання, що базуються на компетентнісному підході до підготовки фахівців морського профілю, передбачають не просто освоєння курсантом тієї чи іншої дисципліни, а вміння використовувати отримані знання у своїй професійній діяльності. Матеріал даної статті присвячений такому важливому питанню як вибір стратегії управління судном на основі прогнозування природних явищ, проведеного за результатами статистичних спостережень за поведінкою середовища, яке оточує судно. Оскільки рішення задач аналізу і прогнозу пов'язане з застосуванням математичного апарату, вивчення цієї теми в рамках дисципліни «Інформаційні технології», при використанні можливостей електронних таблиць, спирається на математичні методи побудови рівнянь регресії, рішення систем алгебраїчних рівнянь, в більш складних випадках - рішення систем диференційних рівнянь в частинних похідних. Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій і потужність різноманітного програмного забезпечення дозволяють насичувати матеріал навчальних дисциплін прикладними, професійно спрямованими завданнями, а використання апарату математичного моделювання надає можливість здобувачу вищої освіти бути спроможним вирішувати такі завдання.

Ключові слова: прогнозування, природні явища, вітрова хвиля, математична модель, рівняння, регресія.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАБОТЕ МОРЯКА

Л. В. Кравцова, Т. В. Зайцева, Н. Г. Каминская
Херсонская государственная морская академия
ул. Ушакова, 20, г. Херсон, 73000, Украина.
E-mail: limonova@ukr.net, sunny@liveworld.biz; kam_natali@gmail.com.

Основы научных исследований закладываются в период обучения судоводителя в высшей школе. Как и в любом техническом учебном заведении, в Херсонской государственной морской академии будущему моряку с первого курса читаются такие базовые дисциплины как высшая математика, физика, информационные технологии. Программы обучения, базирующиеся на компетентностном подходе к подготовке специалистов морского профиля, предусматривают не просто освоение курсантом той или иной дисциплины, а умение использовать полученные знания в своей профессиональной деятельности. Материал данной статьи посвящён такому важному вопросу как выбор стратегии управления судном на основе прогнозирования природных явлений, проведённого по результатам статистических наблюдений за поведением окружающей судно среды. Поскольку решение задач анализа и прогноза сопряжено с применением математического аппарата, изучение этой темы в рамках дисциплины «Информационные технологии», при использовании возможностей электронных таблиц, опирается на математические методы построения уравнений регрессии, решения систем алгебраических уравнений, в более сложных случаях – решения систем дифференциальных уравнений в частных производных. Современный уровень развития информационных технологий и мощность разнообразного программного обеспечения позволяют насыщать материал учебных дисциплин прикладными, профессионально направленными задачами, а использование аппарата математического моделирования дает возможность соискателю высшего образования быть способным решать такие задачи.

Ключевые слова: прогнозирование, природные явления, ветровая волна, математическая модель, уравнение, регрессия.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ**.** Систематичне вивчення результатів спостережень за поведінкою водних ресурсів, погодних умов, природних явищ, зафіксованих у вигляді статистичних даних, сприяло розробці методичних основ аналізу і прогнозу процесів, що безпосередньо впливають на стратегію використання суден різного призначення у всіх видах діяльності людини. Часто аналіз результатів спостережень дає можливість зробити висновок про циклічність явищ, що відбуваються, що, в свою чергу, дозволяє спрогнозувати кліматичні особливості регіону в той чи інший часовий інтервал, тим самим забезпечуючи судну найбільш безпечну тактику пересування.

Особливу цінність для судна і його екіпажу має інформація про небезпечні та особливо небезпечні явища, які можуть завдати шкоди або порушити умови виконання рейсу. Найбільша кількість спостережень припадає на райони жвавого судноплавства і рибного промислу. За інформацією, що надходить, будують карти розподілу температури води і висоти хвиль на морях і океанах, а також метеорологічних характеристик, складених за цими даними.

Прогнозування природних явищ, які надають різний – як позитивний, так і негативний вплив на стратегію використання морських суден, є невід'ємною складовою наукового підходу до прийняття

управлінського рішення. Особливо актуально прийняття правильного рішення, оптимального за обраним критерієм, в екстремальних умовах роботи в морі. Іноді від такого рішення залежить доля судна, здоров'я і життя членів екіпажу. Основою прогнозування завжди є база основних характеристик досліджуваного явища, яку сформовано відповідно з урахуванням аналітичного обґрунтування майбутньої математичної моделі.

Сучасний етап розвитку морських прогнозів відрізняється тим, що використовуються як традиційні, так і нові методики прогнозування; крім того, в розробці методики прогнозування і при складанні оперативних морських прогнозів широко застосовується сучасна обчислювальна техніка.

В Херсонській морській академії курсанти 1 курсу вивчають дисципліну «Інформаційні технології», програма якої включає кілька розділів, таких як «Робота в електронних таблицях», «Проведення розрахунків для судноводіїв», «Рішення оптимізаційних задач засобами електронних таблиць MS Excel», «Аналіз та прогноз даних».

Метою вивчення матеріалу дисципліни є не стільки оволодіння кількістю знань в області певних видів предметної діяльності, скільки формування умінь, навичок і компетенцій, що забезпечують здатність аналізувати поточну інформацію і прогнозувати поведінку системи на деякий наступний проміжок часу, а також знаходити необхідні шляхи вирішення завдань, пов'язаних з виконанням як соціальних, так і професійних функцій. Прикладна спрямованість дисципліни дозволяє якісно формувати у курсантів предметні компетенції, пов'язані з використанням способів обробки даних, прийомів обчислень, математичного та інформаційного моделювання, ділової графіки.

Дана стаття присвячена одному з розділів дисципліни «Інформаційні технології», а саме, «Аналіз і прогноз даних», на прикладі математичного моделювання прогнозування природних явищ, пов'язаних з професійною морської діяльністю, на основі результатів статистичних спостережень за поведінкою водного середовища.

Великий внесок у дослідження тропічних ураганів, льодових явищ, вітрових хвиль був внесений В. В. Шулейкіним [1]; його роботи фактично являються теоретичною основою методів прогнозу температури води і отримали подальший розвиток в сучасних дослідженнях особливостей і закономірностей водного простору. Робота [2] присвячена аналізу і методам вирішення завдань оперативного океанографічного обслуговування. Вона охоплює такі напрямки як гідрологічні прогнози (тепловий, водний баланс, взаємодія океану та атмосфери), прогнози вітру і хвилювання, прогнози течій і рівня моря, прогнози льодових явищ. На основі короткострокових і довгострокових прогнозів побудована система автоматизованого розрахунку оптимальних курсів плавання суден.

Математичному моделюванню вітрового хвилювання в просторово-неоднорідному океані присвячені роботи І. В. Лавренова [3]. Е. С. Нестерова [4], Л. І. Пітербарга [5]. Математичним моделюванням тропічних циклонів приділяв велику увагу А. П. Хаін [6]. Зарубіжні дослідники також зробили великий внесок у вирішення задач аналізу і прогнозу процесів, що впливають на безпеку плавання (K. D. Pfeiffer [7], J. A. Ewing [8] та інші). Сучасна оперативна океанографія розвивається за шляхом об'єднання зусиль багатьох країн. Успішно реалізуються міжнародні проекти за участю Німеччини, Італії, Португалії, Нідерландів. Розуміння важливості цього напрямку в дослідженнях світового океану дозволяє розвивати науково-дослідну роботу, результатом якої є удосконалення систем координації роботи суден і попередження стихійних явищ з метою забезпечення безпеки плавання.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Основним джерелом статистичних даних є гідрометеорологічні станції. Їх інформація являє собою дані про минулий, поточний і майбутній стани морів і океанів, підготовлені на основі результатів спостережень і відповідних методів аналізу і прогнозу океанографічних характеристик. Збільшення обсягу інформації, що надходить від усіх її джерел, вимагає впровадження нових методів в систему збору, передачі, обробки та зберігання гідрометеорологічної інформації. Використання сучасної комп'ютерної техніки дозволяє повністю автоматизувати процес. При цьому, очевидна необхідність науково-дослідницької роботи, що проводиться в цьому напрямку, і її прикладне значення.

Особливу небезпеку і науковий інтерес представляють аномальні гідрометеорологічні умови. До особливо небезпечних гідрологічних явищ відносяться такі гідрометеорологічні процеси, які за часом виникнення, інтенсивності, тривалості і площі поширення можуть завдати значної шкоди або викликати стихійні лиха. На морях і океанах до небезпечних і особливо небезпечних гідрологічних явищ відносяться [9]:

1. Неперіодичні коливання рівня моря (вище або нижче критичних позначок), при яких затоплюються населені пункти і берегові споруди, пошкоджуються судна і різні господарські об'єкти, а також припиняється судноплавство.

2. Цунамі, що викликають підвищення рівня моря на 2 м і більше.

3. Висота хвиль 8 м і більше в океанах; а на морях висота хвиль, яка є небезпечною для мореплавання, ведення промислу і для берегових споруд.

4. Тропічні урагани і тайфуни при швидкості вітру 35 м/с і більше.

5. Поява крижаного покриву в незвично ранні терміни; повторюється не частіше ніж один раз в 10 років.

6. Нажимний дрейф плавучих льодів, що загрожує нафтовим вишкам, естакадам і іншим спорудам.

7. Обледеніння суден при швидкості наростання льоду 0,7 см/год і більше.

8. Сильний тягун на акваторії портів.

Попередження портових служб, припортових територій, суден, що знаходяться в акваторіях, морських галузей народного господарства і населення про небезпеку, що їм загрожує, та викликана несприят-

ливими гідрологічними явищами, є найважливішим практичним завданням. Вихідними матеріалами для складання попередження є:

1) прогноз очікуваного небезпечного гідрологічного явища і часу його настання;

2) критерії небезпеки гідрологічного явища.

Методологічні основи прогнозування.

Прогнозування гідрометеорологічних умов передбачає наявність системи наукових доказів, розробку різних гіпотез і використання методів, що характеризуються математичною формалізацією [9]. Мінливість океанологічних процесів залежить від великої кількості факторів, тому морські прогнози, як правило, мають імовірнісний характер. Довгостроковий прогноз будь-яких характеристик режиму морів і океанів можна скласти лише приблизно, оскільки невідомі всі фактори, що впливають на процес. Далі, як правило, методи прогнозування базуються на використанні дискретних значень характеристик, що також вносить певну похибку в результати дослідження даного процесу.

У методах морських прогнозів великої завчасності, крім фізичних закономірностей, корисно використання циклічності, виявленої на тривалих рядах спостережень за прогнозованою характеристикою. В окремих методах понад довгострокових прогнозів враховується вплив космічних і глобальних геофізичних факторів (сонячна активність, довготривалі припливи, коливання осі обертання Землі і т. д.).

Методологічною основою робіт за чисельними довгостроковими прогнозами є використання лінеаризованої системи рівнянь гідродинаміки і одночасно з цим розробка нелінійних моделей. Для вирішення рівнянь гідротермодинаміки цілком можливе використання статистичних характеристик. За допомогою статистичних методів встановлюються просторово-часові кореляційні зв'язки між явищами. Перевага використання такого підходу до проблеми прогнозування полягає в тому, що власні функції кореляційної матриці апріорно несуть в собі корисну інформацію про структуру тих чи інших гідрометеорологічних полів.

В якості математичного апарату в морських гідрологічних прогнозах найбільш часто використовуються методи теорії ймовірностей, математичної статистики, факторний і спектральний аналізи, диференціальні рівняння, що описують фізичні процеси, характеристики яких складають основу дослідження.

Таким чином, в розробці методів морських прогнозів розглядаються два основних напрямки: фізико-статистичний і гідродинамічний. В основі фізико-статистичного напряму лежить використання фізичної гіпотези, яка розкриває характер взаємозв'язку між предикторами (факторними ознаками, або прогностичними параметрами) і предиктантом (результуючим фактором, або величиною, значення якої в деякий майбутній момент часу визначається за допомогою предикторів). Фізична гіпотеза полегшує завдання застосування статистичних методів в прогнозуванні.

Статистичні методи прогнозу дають можливість оцінити розвиток гідрометеорологічних процесів в майбутньому за результатами спостережень в минулому, використовуючи при цьому знання імовірнісних характеристик цих процесів. Для встановлення зв'язку між досліджуваними величинами складаються ряди спостережень прогнозованої характеристики і факторів, від яких вона залежить. Розробка методики, придатної для складання оперативних прогнозів, представляє складне наукове дослідження, яке може бути розбите на кілька етапів.

На першому етапі дослідження виявляються загальні закономірності між явищами і визначаються головні чинники. Як показав досвід прогнозування, велике число предикторів, які використовуються в методиках, не покращує якість прогнозів. Оптимальне число предикторів, як правило, три або чотири. Під оптимальною кількістю предикторів розуміють таку сукупність предикторів, коли подальше збільшення їх числа не приводить до підвищення коефіцієнта кореляції і поліпшення результатів прогнозування. Правильне рішення при виборі числа предикторів істотно полегшує розробку методу прогнозу і забезпечує підвищену надійність оперативних прогнозів.

На другому етапі розробки методики прогнозу загальна фізична закономірність, що виявлена раніше, застосовується до конкретних фізико-географічних умов моря. З цією метою матеріали спостережень, необхідні для розробки методики, піддаються ретельному аналізу на репрезентативність і порівнянність спостережень в різні роки. Так як райони Світового океану сильно розрізняються по фізико-географічним і океанологічним умовам, методики оперативних прогнозів майже завжди локальні. Спроби дослідників розробити загальні методи прогнозування, які були б придатні для великих акваторій морів і океанів, поки не привели до позитивних результатів, внаслідок глобальних відмінностей базових характеристик зазначених об'єктів.

На третьому етапі приступають до отримання кількісних прогностичних залежностей. Наочним способом пошуку зв'язків слід вважати графічне зіставлення прогнозованого елемента з предикторами. Цей прийом дає можливість не тільки встановити наявність статистичного зв'язку, а й визначити вид цієї залежності. Слід провести детальний аналіз випадків, які відхиляються, і з'ясувати причини, що призвели до порушення загальної закономірності. Чим більше розкидання точок на графіку зв'язку, тим більше ступінь впливу випадкових факторів.

Розробка методу прогнозу океанологічних явищ, таких як: вітрове хвилювання, течії, коливання рівня, температура води та інші, починається зазвичай з аналізу і узагальнення уявлень про загальні фізичні закономірності прогнозованого явища, пошуку чинників, що впливають на його зміни в часі і по площі, та виявлення серед них найбільш інформативних в прогностичному сенсі. Іншими словами, дослідник на основі вивчення, так званої, апріорної інформації про це явище приймає деякі загальні положення (гіпотезу), що характеризують форму зв'язку яку необхідно знайти між прогнозованим явищем (предиктантом) і факторами, що його зумовлюють (предикторами).

Наступним етапом є вибір найбільш адекватного математичного апарату, який найкращим чином дозволяв би підійти до вирішення поставленого завдання, тобто створення надійного методу прогнозу.

Наведемо приклад. Гідродинамічні методи прогнозу базуються на вирішенні рівнянь гідро- і термодинаміки. В даний час, при деяких спрощеннях, розроблені чисельні методи короткострокових прогнозів штормових нагонів, температури води верхнього квазіоднородного шару океану і його товщини, термінів льодоутворення, наростання товщини льоду і танення сніжно-крижаного покриву. Наприклад, для північної півкулі при описі фізичних процесів в океані можна прийняти такі рівняння термодинаміки турбулентної рідини:
для руху

$$\frac{du}{d\tau} = -\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial z}k'\frac{\partial u}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{du}{d\tau} = -\frac{1}{p}\frac{\partial p}{\partial y} - fu + \frac{\partial}{\partial z}k'\frac{\partial v}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = g\rho, \quad (3)$$

нерозривності

$$div_h u + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

поширення тепла

$$\frac{\partial t_\omega}{\partial \tau} + u \cdot grad_h t_\omega + \omega\frac{\partial t_\omega}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}k_{t\omega}\frac{\partial t_\omega}{\partial z} + \sum Q, \quad (5)$$

поширення солі

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} + u \cdot grad_h S + \omega\frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}k_S\frac{\partial S}{\partial z}, \quad (6)$$

стан морської води

$$\rho = \rho(t_\omega, S, P_\omega), \quad (7)$$

де всі параметри співвідношень представляють певні характеристики стану морської води.

Цей приклад наочно показує, наскільки складною може бути математична модель досліджуваного явища. Рішення гідродинамічних рівнянь без професійної математичної підготовки практично неможливо.

Дисципліна «Інформаційні технології» в Херсонській морській академії вивчається курсантами на першому курсі. Зрозуміло, курсант-першокурсник не володіє достатніми математичними знаннями, щоб осмислити суть подібних рівнянь. Однак зрозуміти значущість аналізу і прогнозу даних, основні методи їх вирішення, можливості використання в професійній роботі судноводія - цілком здійсненне завдання.

Однією з проблем, з якими зіштовхуються, з одного боку, курсанти - першокурсники, а з іншого, викладачі, що працюють з цими курсантами, - слабкі знання курсантів в області математики. Тому перед викладачем стоїть завдання систематизації їх знань, підвищення рівня розуміння математичних формул курсантом, усвідомлення їх не як формальної «картинки», а як інструкції до дії, результатом якої є стратегія управління судном і екіпажом. Тому завдяки прикладному аспекту використання математичних моделей можна значно підвищити також і зацікавленість курсанта в вивченні дисциплін природничо-наукового циклу.

Найбільш простий шлях об'єктивної реалізації інформації, отриманої в результаті статистичних спостережень, для прогнозу океанологічних явищ, - це складання рівнянь регресії. Застосування апарату математичної статистики передбачає наявність досить довгих рядів спостережень за предиктантом і предикторами. Ці тимчасові ряди можуть розглядатися як система випадкових взаємопов'язаних величин. Гарною характеристикою зв'язків в таких системах є нормована кореляційна матриця.

Самим вивченим, з точки зору реалізації, видом зв'язку між величинами є функціональна залежність, коли кожному значенню однієї величини (факторної ознаки) *X* відповідає цілком визначене значення іншої величини (результуючої ознаки) *Y*. Однак на практиці, як правило, доводиться мати справу не з функціональними залежностями, а зі статистичними. У цьому випадку кожному значенню однієї величини відповідає безліч можливих значень іншої величини. Розсіювання цих можливих значень пояснюється впливом великої кількості додаткових чинників, якими зазвичай нехтують, вивчаючи зв'язок між даними величинами. Міру залежності між величинами при лінійній регресії характеризує безрозмірний коефіцієнт кореляції, який за абсолютним значенням не перевищує одиниці: *abs(r) <= 1*.

Для незалежних величин *X* і *Y* коефіцієнт кореляції дорівнює нулю. Рівність коефіцієнта кореляції нулю означає відсутність лінійної залежності (але не виключає залежності нелінійної). При нелінійному зв'язку застосовуються інші методи кореляції. Чим ближче абсолютне значення коефіцієнта кореляції до одиниці, тим тісніша лінійна залежність між величинами. Рівність коефіцієнта кореляції одиниці означає наявність функціональної залежності між величинами *X* і *Y*. Коефіцієнти кореляції не змінюються при зміні початку відліку і масштабу вимірювання величин *X* і *Y*. Це дозволяє істотно спростити обчислення за допомогою вибору зручного початку відліку (X_0, Y_0) і відповідних одиниць масштабу. Коефіцієнт кореляції та рівняння регресії для двох змінних наближено можна знайти по кореляційному графіку, і більш точно - за методом найменших квадратів.

Курсанти першого курсу, на момент вивчення теми «Аналіз та прогноз даних. Лінійна і квадратична регресія» цілком опанували основними прийомами роботи в електронних таблицях MS Excel, мають навички (відповідно до робочої програми курсу) розв'язування систем лінійних рівнянь методом Крамера, матричним методом, обчислення оберненої матриці та операції множення матриць за допомогою вбудованих функцій. Власне, з точки зору отримання параметрів лінійної і квадратичної залежності відповідно до методу найменших квадратів побудови оптимальної аналітичної функції, цього досить, за умови розуміння курсантом самої постановки задачі, способу її вирішення і аналізу отриманого результату. Відповідний теоретичний матеріал і покрокове рішення класичної задачі знаходження параметрів лінійної і квадратичної регресії для курсантів викладені на сторінці дисципліни «Інформаційні технології» сайту дистанційного навчання ХДМА MOODLE.

Наше завдання полягає в тому, щоб показати курсанту, майбутньому судноводію, наскільки важливо мати навички аналізу реальної ситуації на основі результатів спостереження, складати прогноз, застосовувати свої знання на практиці, вміти приймати правильне управлінське рішення. З цією метою, після освоєння курсантом методики рішення класичної задачі побудови рівняння лінійної і квадратичної залежності на основі табличних даних (результатів спостереження), йому пропонуються реальні прикладні завдання.

Отже, розглянемо типову задачу складання прогнозу висоти хвилі в залежності від швидкості вітру і тривалості його впливу (прогнози вітрового хвилювання).

У зв'язку з посиленою на морі господарською діяльністю, знання його стану і прогноз змін цього стану мають велике практичне значення [9]. Відповідно, істотно зростає роль прогнозів вітрового хвилювання. Використання інформації про фактичні та очікувані умови хвилювання допомагає успішно здійснювати проводку судів найвигіднішими маршрутами, посадку літаків на воду, бурові роботи на шельфі, ефективний і безпечний рибний промисел, вантажні роботи в морі, проведення спортивних регат і т. д. Найбільш важливою характеристикою морського хвилювання є характеристики максимальних хвиль, так як саме ці хвилі становлять найбільшу небезпеку для суден і гідротехнічних споруд. Тому ефективність прогнозів хвилювання багато в чому залежить від того, наскільки правильно передбачити характеристики максимальних хвиль. Зазначимо, що термін «прогноз» для вітрового хвилювання застосовується умовно, щоб відрізнити ретроспективні розрахунки від оперативних повсякденних розрахунків по метеорологічним прогнозами поля вітру.

Основними елементами вітрових хвиль є: висота h, період T, довжина X, фазова швидкість c, крутизна e, довжина гребня L.

У разі, якщо глибина моря більше половини довжини хвилі, елементи хвилі не залежать від глибини. Якщо глибина моря менше половини довжини хвилі, то елементи хвиль змінюються під впливом дна. Поняття «глибока вода» має відносний сенс і визначається співвідношенням глибини H і довжини хвилі X.

Вихідним для аналізу і складання прогнозу матеріалом параметрів є дані таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Висота хвиль в залежності від часу дії вітру

Висота хвиль (в футах) в залежності від часу дії вітру							
Швидкість вітру	Тривалість дії вітру (в годинах)						
	5.0	10	15	20	30	40	50
10 вузлів	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
15 вузлів	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0
20 вузлів	5.0	7.0	8.0	8.0	8.5	9.0	9.0
30 вузлів	9.0	13.5	15.5	17.0	18.0	18.5	19.0
40 вузлів	13.5	21.0	25.0	27.5	31.0	32.0	33.0
50 вузлів	18.0	29.0	36.0	40.0	46.0	48.0	50.0
60 вузлів	23.0	37.0	46.0	43.0	61.0	66.0	70.0

Завдання полягає у визначенні виду і параметрів залежності висоти хвилі від тривалості впливу вітру. За даними таблиці побудовані графіки, де номер ряду відповідає стовпцю тривалості дії вітру, яка вимірюється у годинах (рис. 1).

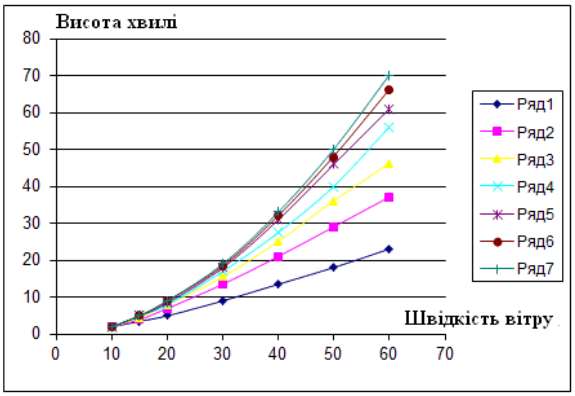

Рисунок 1 – Залежність висоти хвилі від швидкості вітру і його тривалості

Побудований точковий графік дозволяє зробити висновок про те, що при тривалості впливу вітру від 5 до 15 годин залежність можна апроксимувати лінійною функцією; при тривалості впливу вітру від 20 до 50 годин залежність буде, швидше за все, квадратичною.

Знайдемо параметри відповідних залежностей і оцінимо середнє квадратичне ухилення для кожного з отриманих аналітичних співвідношень.

Параметри лінійної залежності, що визначаються рішенням системи

$$\begin{cases} a_0 \sum_{i=1}^{n} x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^{n} x_i + a_1 \cdot n = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases} \quad (8)$$

курсанту пропонується знайти трьома способами:

1) за формулами Крамера

$$a_0 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i}, \quad (9)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i} \quad (10)$$

2) за допомогою вбудованих функцій SLOPE(параметр a_0) і INTERCEPT(параметр a_1);

3) за допомогою вбудованого в Майстер діаграм модуля «Лінія тренда: лінійна регресія».

Мета такого підходу полягає в тому що курсант має, по-перше, розуміти аналітичну формулу, порядок дій, вміти виконувати розрахунки за формулою; по-друге, вміти використовувати вбудовані функції, та по – третє, користуватися вбудованими модулями.

Виконання розрахунків показує, що результати, отримані трьома різними методами, збігаються і підтверджують гіпотезу про лінійність залежностей, так як відповідні коефіцієнти регресії R^2 (достовірність апроксимації) близькі до 1 (вид залежності обраний вірно):

1-й ряд (вплив вітру 5 годин):

$$y = 0{,}423x - 3{,}004;\ R^2 = 0{,}995 \quad (11)$$

2-й ряд (вплив вітру 10 годин):

$$y = 0{,}71x - 6{,}62;\ R^2 = 0{,}9946 \quad (12)$$

3-й ряд (вплив вітру 15 годин):

$$y = 0{,}893x - 9{,}132;\ R^2 = 0{,}9909 \quad (13)$$

Параметри квадратичної залежності $\bar{y} = a_0x^2 + a_1x + a_2$ визначаються розв'язками системи

$$\begin{cases} a_0\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + a_1\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + a_2\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i \\ a_0\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + a_1\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + a_2\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ a_0\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + a_1\sum_{i=1}^{n} x_i + a_2 \cdot n = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases} \quad (14)$$

та знаходяться матричним методом з використанням вбудованих математичних функцій.

Нагадаємо, що в матричній формі система має вигляд $A\bar{x} = \bar{b}$, де A - матриця коефіцієнтів, $\bar{x}$ - вектор-стовпець невідомих, $\bar{b}$ - права частина. Тоді якщо A^{-1} - зворотна матриця, то розв'язок системи має вигляд $\bar{x} = A^{-1} \cdot \bar{b}$. У нашому випадку рішенням системи будуть значення параметрів квадратичної залежності a_0, a_1, a_2 (використовуються вбудовані функції MINVERSE і MMULT). Відповідно,

4-й ряд (вплив вітру 20 годин):

$$y = 0{,}0115x^2 + 0{,}2714x - 1{,}7868;\ R^2 = 0{,}9998 \quad (15)$$

5-й ряд (вплив вітру 30 годин):

$$y = 0{,}0115x^2 + 0{,}3945x - 3{,}5319;\ R^2 = 0{,}9992 \quad (16)$$

6-й ряд (вплив вітру 40 годин):

$$y = 0{,}0144x^2 + 0{,}2763x - 2{,}3435;\ R^2 = 0{,}9999 \quad (17)$$

7-й ряд (вплив вітру 50 годин):

$$y = 0{,}0166x^2 + 0{,}2013x - 1{,}7246;\ R^2 = 1 \quad (18)$$

Використовуючи отримані рівняння (аналітичні залежності), можна скласти прогноз щодо висоти хвилі на будь-яку тривалість впливу вітру і фактично будь-яку швидкість вітру.

ВИСНОВКИ**.** Професійному моряку-судноводію, фахівцю з високим рівнем підготовки, який претендує на офіцерську посаду на судні, необхідно знати не тільки всі тонкощі судноводіння, навігацію і лоцію, будову судна, мати навички роботи з командою і багато іншого, з того, що є його прямими обов'язками. Судноводій відповідає за безпеку плавання, збереження судна, екіпажу, вантажу. А значить, він повинен не тільки чітко слідувати вказівкам берегових служб, контролюючих пересування судна, але і вміти аналізувати поточну ситуацію і прогнозувати наслідки прийнятих ним рішень.

Одним з напрямків дисципліни «Інформаційні технології» є вивчення методу математичного (комп'ютерного) моделювання, застосування його в різних предметних галузях, а також вміння прогнозувати і аналізувати результати прийнятих рішень. Тобто дисципліна закладає ще одну необхідну цеглинку в формування комплексу компетенцій фахівця морської галузі.

Матеріал даної дисципліни передбачає вирішення курсантами завдань, сформульованих в їх предметній галузі та пов'язаних з формалізацією і подальшим вирішенням завдань за допомогою комп'ютерних технологій. Такі завдання, як правило, вимагають значного часу для розв'язування, системного підходу при розробці, мають великий обсяг обчислень. У процесі роботи з інформаційними технологіями курсанти відпрацьовують навички побудови інформаційних моделей, розробки алгоритмів розв'язування, оцінки отриманих результатів, відчувають якісно новий соціально-значимий рівень компетентності, розвивають професійні якості особистості.

Значна кількість навігаційних, інженерних задач зводиться до вирішення рівнянь (нерівностей), систем рівнянь (систем нерівностей), диференційних рівнянь або систем, обчислення інтегралів, які описують об'єкти або явища. Застосування методів математичного (інформаційного) моделювання, прогнозування результатів прийняття рішень в різних сферах діяльності вимагають від фахівців володіння відповідним математичним апаратом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шулейкин В. В. Расчёт развития, движения и затухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978. 95с.

2. Абузяров З. К., Думанская И. О., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание. Минск: ИГ–СОЦИН, 2009. 288с.

3. Лавренов И. В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 1998. 499с.

4. Нестеров Е. С. Оперативные системы прогноза параметров морской среды для европейских морей. *Метеорология и гидрология*. 2005. № 1. С. 121–126.

5. Питербарг Л. И. Динамика и прогноз крупномасштабных аномалий температуры поверхности океана (статистический подход). Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989. 200с.

6. Хаин А. П. Математическое моделирование тропических циклонов. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 247с.

7. Pfeiffer K. D. Ein dreidimensionales Wattmodel. *GKSS Forschungszentrum Geesthacht GMBH*. Geesthacht. 1985. 113p.

8. Ewing J. A. (1971). A numerical wave prediction model for the North Atlantic Ocean. *Ocean Dynamics*. No 24. P. 241–261. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/BF02225707 (Last accessed: 25.09.2019).

9. Морские гидрологические прогнозы / ред. К. И. Кудрявцевой, Ю. В. Николаева. Гидрометеоиздат: Ленинград, 1974. 312с.

MATH MODELING FOR NATURAL PHENOMENA FORECASTING IN THE PROFESSIONAL ACTIVITY OF A SEAMAN

L. V. Kravtsova, T. V. Zaitseva, N. G. Kaminsky
Kherson State Maritime Academy,
st. Ushakova, 20, Kherson, 73000, Ukraine. E-mail: limonova@ukr.net, sunny@liveworld.biz, [3]kam_natali@gmail.com.

Purpose. This article focuses on the problem of choosing a ship management strategy based on the forecasting of natural phenomena made on the basis of the statistical observations results by the behavior of the ship's environment. **Methodology**. We used maths methods of regression equations construction, mathematical apparatus to solving systems of algebraic equations, functional and graphical capabilities of the MS Excel table processor. **Results**. The article analyzed works of the domestic and foreign scientists on long-term forecasts. Two main areas of marine forecasts were explored also in depth: physical-statistical and hydrodynamic. Use of these forecasting methods in the professional training of a sailor was justified. A mathematical model and an algorithm to solving problem of forecasting the wave height depending on the wind speed and its duration were developed. **Originality**. The identity of the study is that specifics of preparing future sailors in the view of the formation of subject competencies in information technology was taken into account using the example of solving applied problems. The cadets practice in construction of information models, algorithms developing, evaluating of the obtained results, acquire a qualitatively new socially significant level of competence, and develop professional personality qualities when performing tasks of the curricula discipline. **Practical value**. The current level of information technologies development and accessibility of the wide range of software make it possible to fill the disciplines material with applied and professionally directed tasks, and the use of mathematical modelling allows the student to be able to solve such problems. **Conclusions**. Many navigation problems are reduced to solving equations (inequalities) or systems of equations that describe objects, natural phenomena or technological processes. The application of math modeling methods, forecasting the results of decision-making require the specialists to have a proper mathematical apparatus.

Key words: forecasting, natural phenomena, wind wave, mathematical model, equation, regression.

REFERENCES

1. Shuleikin, V.V. (1978), Calculation of the development, movement and attenuation of tropical hurricanes and major waves created by hurricanes, Hydrometeoizdat, Leningrad.

2. Abuzyarov, Z.K., Dumanskaya, I.O., Nesterov, E.S. (2009), Operational Oceanographic Services, IG – SOCIN, Minsk

3. Lavrenov, I.V. (1998), Mathematical modeling of wind waves in a spatially heterogeneous ocean, Hydrometeoizdat, St. Petersburg.

4. Nesterov, E.S. (2005), Operational systems for predicting the parameters of the marine environment for European seas, *Meteorology and hydrology,* no 1. pp. 121–126.

5. Peterburg, L.I. (1989), Dynamics and forecast of large-scale anomalies in ocean surface temperature (statistical approach), Hydrometeoizdat, Leningrad.

6. Hain, A.P. (1984), Mathematical modeling of tropical cyclones, Hydrometeoizdat, Leningrad.

7. Pfeiffer, K.D. (1985), Ein dreidimensionales Wattmodel, *GKSS Forschungszentrum Geesthacht GMBH*, Geesthacht.

8. Ewing, J.A. (1971), A numerical wave prediction model for the North Atlantic Ocean, *Ocean Dynamics*, no 24, pp. 241–261. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/BF02225707 (Last accessed: 25.09.2019).

9. Marine hydrological forecasts (1974), Ed. Kudryavtseva, K.I., Nikolaeva, Yu.V., Gidrometeoizdat, Leningrad.

Стаття надійшла 10.12.2019.