ISSN 2226-3780

УДК: 004.415.2+004.942.052

Храбатин Р. І.,
Яцишин М. М.,
Бандура В. В.,
Саманів Л. В.

ПРОЕКТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Дане дослідження спрямоване на вирішення питань проектування математичної моделі для оцінки надійності та продуктивності складної інформаційно-обчислювальної системи (ІОС), що використовується в нафтогазовій галузі. З цією метою в даній статті розглядається проблема визначення ймовірності безвідмовного функціонування складної інформаційно-обчислювальної системи. Запропонований підхід дозволяє суттєво зменшити трудоємність обчислення ймовірностей складних подій.

Ключові слова: *програмне забезпечення, моніторинг, ймовірності, інформаційно-обчислювальна система.*

1. Вступ

Математичне моделювання є важливим засобом розв'язання багатьох технічних завдань. Особливе значення воно має там, де неможливе будь-яке експериментування. Завдяки застосуванню потужного математичного апарату та використання сучасної комп'ютерної техніки, воно є найефективнішим і найдосконалішим методом. У свою чергу, математичні методи не можуть застосовуватися безпосередньо щодо дійсності, а лише щодо математичних моделей того чи іншого кола явищ.

Не дивлячись на значні надбання математичного моделювання проблема побудови адекватних математичних моделей далека від остаточного рішення: існують різні моделі, відсутня єдина методологічна база, не завжди надійна перевірка на адекватність, самі моделі не завжди надійні та продуктивні. Все більше дослідників замислюються про необхідність інвентаризації накопичених математичних моделей, створенню належним чином систематизованого довідника по моделях [1, 2].

Тому дане дослідження спрямоване на вирішення питань проектування математичної моделі для оцінки надійності та продуктивності складної інформаційно-обчислювальної системи, що використовується в нафтогазовій галузі.

2. Мета і завдання дослідження

Метою є проектування математичної моделі для оцінки надійності та продуктивності складної інформаційно-обчислювальної системи, що використовується в нафтогазовій галузі.

3. Методи дослідження

Теоретико-методологічну базу дослідження становили загальнонаукові та спеціальні методи пізнання, зокрема використовувалися: метод наукової абстракції — для дослідження сутності математичного моделювання; методи індукції, дедукції, аналізу і синтезу графічного зображення результатів [3—5].

4. Проектування моделі для оцінки надійності складної інформаційно-обчислювальної системи

Розглядається проблема визначення імовірності безвідмовного функціонування складної інформаційно-обчислювальної системи (ІОС). Призначення системи слідує із її найменування. Структура системи показана на рис. 1, де буквами A_1, A_2 позначені пристрої вводу інформації в систему, B_1, B_2, B_3 — процесори обробки інформації і літерами C_1, C_2 — пристрою виводу інформації [6].

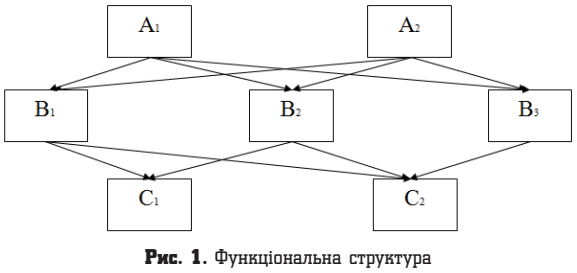

Рис. 1. Функціональна структура інформаційно-обчислювальної системи

Процес функціонування ІОС організований таким чином, що система успішно вирішує свої задачі за умови, якщо в справному стані знаходиться хоча б один пристрій введення інформації, хоча б один пристрій виводу інформації і не менш двох процесорів [7, 8]. Дану умову виконання цільової функції системи можна наочно представити у формі логічної функції:

$$F(\text{IOC}) = [F_1(A_1)\vee F_1(A_2)]\vee[F_2(B_{1Y}B_2)]\vee$$
$$\vee F_2(B_{1Y}B_3)\vee F_2(B_{2Y}B_3)\vee F_3(C_{1Y}C_2), \quad (1)$$

де вираз $F(*)$ означає, що пристрій, зазначений у дужках, працює справно. Становить інтерес також логічна залежність, що описує умови не виконання системою своїх цільових функцій:

$$F(\text{IOC}) = \rceil F_1(A_1\wedge \text{A2})\vee\rceil F_2(B_1\wedge B_2)\vee\rceil F_2(B_1\wedge B_3)\vee$$
$$\vee\rceil F_2(B_2\wedge B_3)\vee\rceil F_3(C_1\wedge C_2). \quad (2)$$

 © Храбатин Р. І., Яцишин М. М., Бандура В. В., Саманів Л. В.

Останній вираз може виявитися більш зручним для вирішення поставленої проблеми із врахуванням того, що

$$P[F(*)] = 1 - P[\neg F(*)], \quad (3)$$

де $P[F(*)]$ — імовірність істинності умови $F(*)$, а $P[\neg F(*)]$ — імовірність істинності заперечення істинності даної умови.

Перераховані елементи ІОС мають різне функціональне призначення і з'єднані так, що надійність кожного із них безпосередньо впливає на працездатність всієї системи в цілому. Тому як фактори для оцінки надійності функціонування ІОС потрібно взяти імовірності P_i (i = 1,...,7) безвідмовного функціонування пристроїв у процесі вирішення системою поставлених задач. У загальному випадку імовірності P_i можуть мати різні значення. Імовірність $P[F(\text{IOC})]$ безвідмовного функціонування ІОС у цілому є функція від ймовірностей безвідмовного функціонування всіх її елементів, що випливає із умов (1) або (2). Отже, узагальнена схема математичної моделі, що характеризує безвідмовність функціонування ІОС, має вигляд, показаний на рис. 2.

Проблема полягає в тому, як із логічних умов (1) або (2) одержати відповідний вираз для кількісного значення імовірності $P[F(\text{IOC})]$. Справа в тім, що імовірність $P[F(\text{IOC})]$ визначається на множині станів ІОС $\Theta(t)$. Кількість станів у даній множині дорівнює $2^n = N$, де n — кількість структурних елементів ІОС. У даному прикладі N = 128. Умови функціонування ІОС (1) визначають: підмножина станів системи, що забезпечує виконання системою заданих цільових функцій, а умови (2) визначають підмножину станів, у яких система виявляється не працездатною.

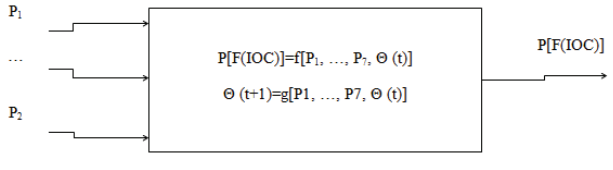

Рис. 2. Схема математичної моделі для оцінки надійності функціонування інформаційно-обчислювальної системи

Для обчислення імовірності $P[F(\text{IOC})]$ у нашому прикладі необхідно використовувати теорему додавання ймовірностей у наступному вигляді:

$$P[F(\text{IOC})] = \sum_{e=1}^{s} \prod_{i}^{k} P_i \prod_{j}^{(7-k)} Q_j, \quad (4)$$

де $Q_i = 1 - P_i$, k — кількість справних елементів у системі, а s — кількість станів системи, що задовольняють умовам працездатності (1). Очевидно, для вирішення даної задачі таким способом прийдеться здійснити повний перебір всіх N станів системи, або ж придумати більш ефективний спосіб визначення працездатних станів, особливо якщо врахувати, що кількість станів системи знаходиться в степеневій залежності від числа її елементів. Проблема повного перебору станів стає практично не розв'язуваною вже при збільшенні числа елементів системи всього на один порядок. Для подолання цього «прокльону розмірності» можна запропонувати два способи.

Перший ґрунтується на ідеї імітаційного моделювання станів складних систем із врахуванням інтенсивності відмовлень їхніх елементів. У процесі моделювання здійснюється випадковий вибір станів системи і проводиться оцінка імовірності її справного функціонування в даному стані. Працездатність системи оцінюється по співвідношенню працездатних і не працездатних станів одержуваних із серії дослідів. Точність вирішення задачі даним способом залежить від числа проведених дослідів.

Другий спосіб ґрунтується на ідеї формалізованого переходу від логічних функцій, що описують умови безвідмовної роботи системи, до відповідних формул імовірності складних подій [9, 10]. При цьому для скорочення перебору використовується операція ортогоналізації форм представлення логічних функцій. Один з підходів до реалізації цього методу викладений у книзі І. А. Рябініна і Г. Н. Черкесова.

Стосовно до даного прикладу, то суть цього підходу полягає в наступному. Як вихідну форму опису умов працездатності ЮС вибираємо вираз (2):

$$F(\text{IOC}) = \neg F_1(A_1 \wedge A_2) \vee \neg F_2(B_1 \wedge B_2) \vee \neg F_2(B_1 \wedge B_3) \vee \vee \neg F_2(B_2 \wedge B_3) \vee \neg F_3(C_1 \wedge C_2). \quad (5)$$

Перетворимо його у правильну скорочену диз'юнктивну нормальну форму логічної функції $\upsilon F(\text{IOC})$:

$$\neg F(\text{IOC}) = \neg F_1(A_1) \wedge \neg F_2(A_2) \vee \neg F_3(B_1) \wedge \neg F_4(B_2) \vee \vee \neg F_3(B_1) \wedge \neg F_5(B_3) \vee \neg F_4(B_2) \wedge \neg F_5(B_3) \vee \neg F_6(C_1) \wedge \wedge \neg F_7(C_2), \quad (6)$$

де $\neg F_i(*)$ — факт відмовлення пристрою

$^*I\{A_1,\ A_2,\ B_1,\ B_2,\ C_1,\ C_2\}$ відповідно i = 1, ..., 7...

Для спрощення запису змінимо змінну $\upsilon F_i(*)$ на змінну X_i:

$$\neg F(\text{IOC}) = X_1 \wedge X_2 \vee X_3 \wedge X_4 \vee X_3 \wedge X_5 \vee X_6 \wedge X_7.$$

Тут X_i — логічна змінна, яка відповідає висловленню «елемент № i справний», а i логічна змінна, що відповідає висловленню «елемент № i не справний».

Перетворимо отриману диз'юнктивну нормальну форму в табл. 1.

Таблиця 1

Перетворення диз'юнктивної форми у нормальну

№ ОК	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	F(IOC)
1	0	0	—	—	—	—	—	0
2	—	—	0	0	—	—	—	0
3	—	—	0	—	0	—	—	0
4	—	—	—	0	0	—	—	0
5	—	—	—	—	—	0	0	0

У цій таблиці змінні X_i представлені значенням «0» відповідних змінних X_i, кожен рядок таблиці являє собою узагальнений код визначеної підмножини непрацездатних станів ІОС. Легко помітити, що всі узагальнені коди даної таблиці описують перетинаючі між собою підмножини станів ЮС, тобто узагальнені коди є не ортогональними між собою.

Застосовуючи формулу $K_i^U K_j = K_i^U(K_{j\setminus Kj})$, проведемо ортогоналізацію всіх узагальнених кодів табл. 1. У результаті одержимо табл. 2, яка не містить повторюваних

ситуацій в описі всіх можливих непрацездатних станів системи.

Таблиця 2

Результат ортогоналізації кодів табл. 1

№ ОК	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	F(IOC)
1	0	0	—	—	—	—	—	0
2	1	—	0	0	—	—	—	0
3	0	1	0	0	—	—	—	0
4	1	—	0	1	0	—	—	0
5	0	1	0	1	0	—	—	0
6	1	—	1	0	0	—	—	0
7	0	1	1	0	0	—	—	0
8	1	—	1	1	—	0	0	0
9	1	—	0	1	1	0	0	0
10	0	1	1	1	—	0	0	0
11	1	—	1	0	1	0	0	0
12	0	1	0	1	1	0	0	0
13	0	1	1	0	1	0	0	0

Тому від даної табл. 2 можна перейти безпосередньо до формули обчислення імовірності відмовлення ІОС [10]:

$$P[F(\text{IOC})]=\sum_{e=1}^{s}\prod_{i}^{k}P_i\prod_{j}^{h}Q_j, \qquad (7)$$

де m — кількість ортогональних узагальнених символів у табл. 2; k — кількість символів «1» в узагальненому коді № e; h — кількість символів «0» в тому ж узагальненому коді; P_i — ймовірність справного стану елемента № i, тобто, $P_i = P(X_i = «1»)$; Q — ймовірність не справного стану елемента № j, тобто, $Q_j = P(X_j = «0») = 1 - P_j$.

Для даного прикладу:

$$P[\lceil F(\text{IOC})] = (1 - P_1)(1 - P_2) + P_1(1 - P_3)(1 - P_4) +$$
$$+ \ldots + (1 - P_1)P_2P_3(1 - P_4)P_5(1 - P_6)(1 - P_7)\ldots$$
$$P[F(\text{IOC})] = 1 - P[\lceil F(\text{IOC})]. \qquad (8)$$

Запропонований підхід дозволяє суттєво зменшити трудоємність обчислення ймовірностей складних подій [9]. Так, у даному прикладі, виявилося, що досить обчислити суму із тринадцяти добутків ймовірностей P_i, Q_j. Кожен добуток ймовірностей визначається одним узагальненим кодом табл. 2. При повному переборі непрацездатних станів ІОС у даному прикладі необхідно було б обчислити суму із 92 повних добутків ймовірностей, тобто по 7 елементів у кожнім добутку. Необхідною вимогою для вирішення поставленої проблеми в будь-якому випадку є наявність апріорних даних про значення ймовірностей P_i, безвідмовної роботи елементів складної системі. При наявності статистичних даних про відмовлення елементів ІОС математична модель для оцінки працездатності заданого структурного варіанта ІОС може бути зведена до строгого аналітичного вигляду, показаному на рис. 3.

У якості технічного і математичного забезпечення для моделювання і вирішення даної проблеми досить мати сучасну персональну ЕОМ зі штатним (загальним) математичним забезпеченням. На цьому концептуальне проектування даної моделі закінчується. Результати зазвичай поміщають у спеціальний звіт і використовують на наступних етапах моделювання [9].

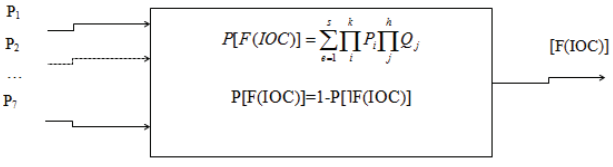

Рис. 3. Схема математичної моделі для оцінки надійності функціонування інформаційно-обчислювальної системи

Математична модель для оцінки продуктивності складної інформаційно-обчислювальної системи.

Розглядається інформаційно-обчислювальна система, призначена для масового вирішення (обслуговування) задач, що надходять на її вхід [11]. Кожна задача характеризується значеннями певних властивостей, якими є: допустимий час перебування заявки в системі — $t_{(\text{доп.})}$, обсяг вихідних даних — $d_{(\text{вхід.})}$, обсяг необхідної дискової пам'яті — $c_{(\text{диск.})}$, обсяг необхідної оперативної пам'яті — $c_{(\text{опер.})}$, обсяг обчислень — $v_{(\text{обч.})}$, обсяг видаваних результатів $d_{(\text{вих.})}$, коефіцієнт складності розв'язуваної задачі $s_{(\text{ріш.})}$, час надходження задачі в систему $t_{(\text{поступл.})}$ і частота вирішення задачі в системі — $f_{(\text{ріш.})}$. Узагальнена функціональна структура технічного забезпечення даної ІОС показана на рис. 4. Вона містить у собі: два пристрої введення даних, три процесори, два пристрої виводу даних, пристрій системної комунікації, пристрою оперативної і дискової пам'яті [10].

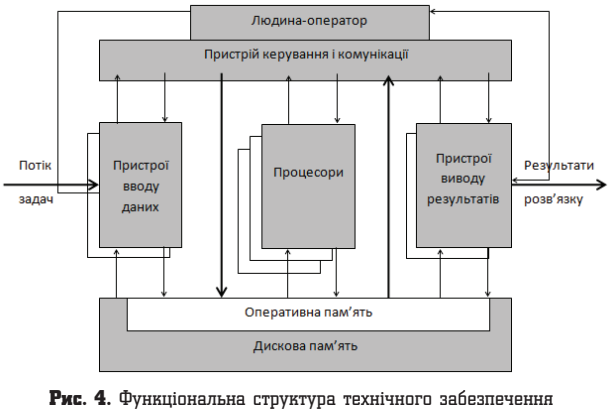

Рис. 4. Функціональна структура технічного забезпечення інформаційно-обчислювальної системи

Програмне забезпечення системи розміщується в постійній пам'яті, вбудованої в кожен пристрій, і на дисковій пам'яті. Воно складається зі штатного (загального), системного (базового) і спеціального програмного забезпечення. Керування функціонуванням ІОС здійснюється програмною операційною системою через апаратно-програмні засоби, вбудовані у всі перераховані вище пристрої.

Структурні елементи ІОС мають наступні властивості [11]:

— пристрої вводу-виводу — пропускною здатністю ($r_{(\text{ввід.})}$, $r_{(\text{вивід.})}$);
— пристрою пам'яті — обсягом пам'яті ($C_{(\text{опер.})}$, $C_{(\text{диск.})}$);
— процесори — швидкодією ($r_{(\text{проц.})}$).

І всі пристрої мають надійність, яка задається показниками інтенсивності ($\lambda_{(пристар.)}$) або імовірності ($p_{(пристар.)}$) відмовлень для кожного пристрою. Основними властивостями програмного забезпечення, що враховуються, ІОС є: коректність, оцінювана кількістю ($q_{(помил.)}$) або імовірністю ($p_{(помил.)}$) помилок у програмах; точність, оцінювана величиною методичної похибки ($?_{(метод.)}$) і обсяг пам'яті, необхідний для збереження і реалізації програм. Показник ефективності функціонування ІОС ($W_{(ІОС)}$) є функцією перерахованих властивостей елементів системи, потоку задач, що надходять, властивостей програмних засобів, використовуваних для вирішення задач, що надходять, і структури даної системи. Як показник ефективності ІОС можна прийняти її продуктивність, що оцінюється середньою кількістю еталонних задач, успішно вирішених системою за визначений час. Процес функціонування ІОС можна розділити на три послідовні фази обслуговування заявок, що надходять:

— введення вихідних даних,
— обчислення,
— вивід результатів.

Задача вважається вирішеною, якщо вона успішно пройшла всі три фази за час не перевищуючий $t_{(доп.)}$.

Визначення принципів побудови математичної моделі даного процесу варто почати із визначення характеру потоку задач, які надходять на вхід системи і принципів його математичного опису. У даному прикладі всі розв'язувані задачі можна розділити на дві групи: до першої групи віднесемо випадково виникаючі задачі, які вимагають одноразового вирішення, а до другої групи — задачі, які вимагають періодичного вирішення із врахуванням нових вихідних даних. Іншими словами, вхідний потік задач ІОС складається із двох паралельних потоків X_1 і X_2. Потік X_1 є випадковим пуасонівським потоком із інтегральним значенням показника інтенсивності λ_1, середніми значеннями $\mu(z_j)$ і дисперсіями $\sigma(z_j)$ перерахованих вище параметрів z_{jI} {$t_{(доп.)}$, $d_{(вхід.)}$, $c_{(диск.)}$, $c_{(опер.)}$, $v_{(обч.)}$, $d_{(вих.)}$, $S_{(ріш.)}$, $t_{(поступл.)}$}. Потік X_2 характеризується інтегральною періодичністю $f_{(x)}$ вирішення задач із усередненими значеннями параметрів z_j. Дані положення приймаються як допущення, що спрощують процес математичного моделювання досліджуваної системи.

Таким чином, на основі проведених досліджень, у підсумку концептуального проектування моделі процесу функціонування ІОС установлене наступне [8]:

1) кожна заявка, що надходить на вхід системи, на вирішення задачі представляється вектором x_i = = (i, z_{1i}, ..., z_{8i}), де i — номер заявки, а Z_{ji} — конкретне значення j-того параметра i-тої задачі,

2) заявки надходять на вхід системи двома потоками: пуасонівським — X_1 із інтенсивністю λ_1 і рівномірним — X_2 з періодичністю заявок $f_{(X)}$,

3) множини — задач із X_1 і X_2 характеризуються середнім значеннями $\mu(z_j)$ і дисперсіями $\sigma(z_j)$ значень параметрів z_i задач, визначеними окремо для X_1 і X_2,

4) на виході системи результати вирішення задач представляються вектором y_i = (i, $t_{(ріш.)i}$, t_{ki}), де $t_{(ріш.)i}$ — час витрачений системою на вирішення i-тої задачі, а t_{ki} — час закінчення вирішення цієї задачі,

5) у процесі моделювання визначаються і запам'ятовуються кількість $h_{(поступл.)}$, що надійшли на вхід системи і кількість $h_{(ріш.)}$ вирішених задач за час моделювання $t_{(мод.)}$, інтегральні обсяги даних, що надійшли в систему, $V_{(вхід.)}$ і виданих системою $V_{(вид.)}$ за час $t_{(мод.)}$, а також максимальні значення обсягів оперативної $C_{(max. опер.)}$ і дискової $C_{(max. диск.)}$ пам'яті,

6) у даній моделі не існує аналітичних рівнянь єднальних її вхідні фактори з вихідними показниками, тому функція виходу системи являє собою логічний алгоритм $A_1[X_{(t)}, \Theta_{(t)}] = Y_{(t)}$, що описує процес перетворення вхідного потоку заявок $X_{(t)} = \{X_{1E}X_2\}$ у потік $Y_{(t)}$ результатів функціонування системи й оцінок $W_{(1)}$ цих результатів,

7) внутрішній стан ІОС $\Theta_{(t)}$ визначається показниками надійності і зайнятості пристроїв системи, а також способом об'єднання цих пристроїв у систему, тобто структурою системи, тому $\theta_{(t+i)} = A_2[X_{(t)}, \Theta_{(t)}]$, де $\Theta_{(t)}$ — декартів добуток множин θ_i поточних станів пристроїв системи, θ_i = {справне, несправне}?{вільно, зайняте}, A_2 — алгоритм, що описує функцію переходів $\Theta_{(t)} \rightarrow \Theta_{(t+l)}$.

Із врахуванням цих положень узагальнена концептуальна математична модель процесу функціонування ІОС може бути представлена у вигляді, показаному на рис. 5.

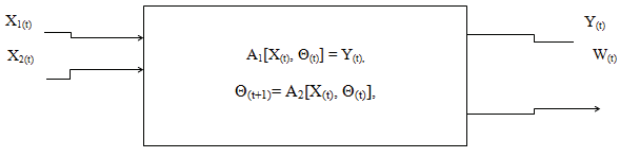

Рис. 5. Узагальнена схема математичної моделі функціонування ІОС

Деталізація й алгоритмізація цієї моделі здійснюється на етапі її ескізного проектування.

5. Висновки

У дослідженні розглянуто підхід до проектування способу обрахунку надійності та продуктивності ІОС з метою безвідмовного функціонування складної інформаційної системи. Подальші дослідження будуть направлені на оптимізації алгоритму проведення обчислень.

Література

1. Храбатин, Р. І. Систематизування математичних моделей систем управління у вигляді передавальних функцій [Текст] / Р. І. Храбатин, Л. В. Саманів, М. В. Крихівський // Нафтогазова енергетика. — Івано-Франківськ, 2011. — № 1(14). — С. 99—101.
2. Храбатин, Р. І. Математичне моделювання регулювання тиску газу на компресорних станціях магістральних газопроводів [Текст] / Р. І. Храбатин, Д. Ф. Тимків, М. В. Крихівський, Д. Д. Матієшин // 6-та Міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем». МОДС 2011. — Чернігів, 2011. — С. 170—171.
3. Советов, Б. В. Моделирование систем [Текст] : учеб. для вузов / Б. В. Советов, С. А. Яковлев. — 3-е изд. — М. : Высш. шк., 2001. — 343 с.
4. Устенко, А. С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем [Текст] / А. С. Устенко. — М. : Высшая школа, 1999. — 203 с.
5. Советов, Б. В. Моделирование систем [Текст] : лабор. практикум / Б. В. Советов, С. А. Яковлев. — М. : Высшая школа, 1989. — 80 с.
6. Дворецкий, С. И. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования [Текст] : учеб. пособие. / С. И. Дворецкий, А. Ф. Егоров, Д. С. Дворецкий. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. — 224 с.

7. Братко, И. Программирование на языке ПРОЛОГ для искусственного интеллекта [Текст] / И. Братко. — М. : Издательство «МИР», 1990. — 560 с.
8. Журавлев, Ю. И. Теоретико-множественные методы алгебры логики [Текст] / Ю. И. Журавлев. — М. : Проблемы кибернетики, 1962. — Вып. 8. — С. 5—44.
9. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования [Текст] / В. А. Веников, Г. В. Веников. — М. : Высшая школа, 1984. — 255 с.
10. Закревский, А. Д. Алгоритмы синтеза дискретных автоматов [Текст] / А. Д. Закревский. — М. : Наука, 1971. — 511 с.
11. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст] / О. А. Новиков, С. И. Петухов. — М. : «Советское радио», 1969. — 397 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Данное исследование направлено на решение вопросов проектирования математической модели для оценки надежности и производительности сложной информационно-вычислительной системы (ИВС), используемого в нефтегазовой отрасли. С этой целью в данной статье рассматривается проблема определения вероятности безотказного функционирования сложной информационно-вычислительной системы. Предложенный подход позволяет существенно уменьшить трудоемкость вычисления вероятностей сложных событий.

Ключевые слова: программное обеспечение, мониторинг, вероятности, информационно-вычислительная система.

***Храбатин Роман Ігорович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, **e-mail: romankhr@yahoo.com**.*
***Яцишин Микола Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, **e-mail: yatsyshyn@gmail.com**.*
***Бандура Вікторія Валеріївна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, **e-mail: vikaban@gmail.com**.*
***Саманів Любов Василівна**, асистент, кафедра інформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, **e-mail: pz@nung.edu.ua**.*

***Храбатин Роман Игоревич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра программного обеспечения автоматизированных систем, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*
***Яцишин Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра программного обеспечения автоматизированных систем, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*
***Бандура Виктория Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра программного обеспечения автоматизированных систем, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*
***Саманив Любовь Васильевна**, ассистент, кафедра информатики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*

***Khrabatyn Roman**, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, **e-mail: romankhr@yahoo.com**.*
***Yatsyshyn Mykola**, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, **e-mail: yatsyshyn@gmail.com**.*
***Bandura Victoria**, Ph. D., Associate Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, **e-mail: vikaban@gmail.com**.*
Samaniv Liubov**, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, **e-mail: pz@nung.edu.ua

УДК 541.311:614.84

Авдеев Б. А.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ

Представлена модель движения частицы в гидроциклоне с радиальным магнитным полем. Дан анализ сил, содержащий численные формулы для их расчета и поясняющие изображения; выделены силы, влияние которых наиболее значимо в динамике движения частицы. Модель основана на подходе Лагранжа и выполнена в цилиндрической системе координат. Приведено численное решение систем дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: *модель, магнитный гидроциклон, подход Лагранжа, магнитное поле.*

1. Введение

В статье представлена модель движения одиночной частицы в рабочей камере гидроциклона с радиальным магнитным полем. Несмотря на широкое применение аппаратов инерционного типа, кинетика движения частиц является малоизученной, что сдерживает их совершенствование.

2. Постановка проблемы

Огромное число машин и механизмов различного назначения и сферы применения использует для своей работы различные типы технических жидкостей. Однако в процессе эксплуатации технические жидкости загрязняется различными примесями, самыми опасными из которых считаются механические. Последние могут значительно ухудшить эксплуатационные показатели машин и механизмов, а в отдельных случаях — привести к поломке [1]. В связи с этим возникла острая необходимость очистки технических жидкостей, которая обусловлена также дороговизной технических жидкостей, но и проблемой ресурсосбережения и защиты окружающей среды. Поэтому очистка вязких сред от механических примесей является одной из наиболее важных задач энерго- и ресурсосбережение не только для нашей страны, но и для всего человечества в целом [2].

Среди наиболее используемых технических жидкостей можно выделить смазывающе-охлаждающие; в этих жидкостях практически всегда велика концентрация