

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МАЛІЄНКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 681.3:004.8:622.867

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Спеціальність 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор

**Новицький Ігор Валерійович,**

професор кафедри системного аналізу і управління Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, доцент

**Стаднік Микола Іванович,** професор кафедри електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК Державного вищого навчального закладу «Вінницький національний аграрний університет» Міністерства освіти і науки України.

кандидат технічних наук, доцент

**Тронь Віталій Валерійович,** доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться «07» червня 2018 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.07 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19. тел. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий «05» травня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
Д.08.080.07

О.В. Остапчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Сучасне вугільне підприємство є складною системою, керування якої відбувається за допомогою сучасних систем оперативно-диспетчерського управління (СОДУ), які реалізовані на базі інформації, що виникає в процесі функціонування основних технологічних процесів (ТП). Велика кількість інформаційних потоків, ієрархічність їх подання, вимагає від диспетчерів використання багатьох варіантів розв'язання задач та їх оптимізацію в різних виробничих ситуаціях. Відсутність однозначних об'єктивних критеріїв, методів їх оцінки, а також низка суб'єктивних факторів, що залежать від рівня обізнаності та можливості переробки інформації людиною, яка не завжди приймає найкращі рішення, визначає необхідність створення системи автоматизованого управління виробництвом, яка б мінімізувала цей негативний вплив на всіх рівнях управління технологічним комплексом вугільної шахти. Для досягнення максимальних показників продуктивності підприємства важливу роль відіграє своєчасність і обґрунтованість рішень, які приймаються диспетчером вугільної шахти в СОДУ, функціональні структури яких максимально адаптовані під конкретні технологічні умови видобутку вугілля.

Велика кількість гірничо-геологічних умов і технологічних схем, в яких експлуатуються гірничі машини й устаткування, вимагає застосування сучасних СОДУ, функціонування яких базується на використанні комп'ютерної техніки, ефективних алгоритмів управління ТП, з застосуванням удосконалених математичних моделей (ММ), що враховують не тільки технологічні обмеження, а й економічні складники. Сучасний рівень розвитку комп'ютерних технологій дозволяє вирішити питання збору інформації про роботу основних ТП. Проте існує низка випадкових факторів, що заважають забезпечити необхідну якість аналізу та прийняття обґрунтованих рішень диспетчером шахти в процесі курування режимами роботи гірничошахтного устаткування з використанням техніко-економічного критерію.

Таким чином встановлення нових залежностей, що враховують вплив ймовірнісних зв'язків між контрольованими параметрами роботи вугільної шахти під час прийняття рішень диспетчером при відповідних обмеженнях є актуальною науковою задачею, яка потребує розв'язання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Розвиток і реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року». В основу роботи покладено матеріали, що узагальнюють дослідження автора у рамках реалізації науково-дослідних робіт, що виконувалися в Національному гірничому університеті у відповідності з законом України № 2623–14 від 11.07.2001 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», Постановами Кабінету Міністрів України: «Про заходи щодо розвитку гірничо-металургійного комплексу», «Про хід виконання Програми розвитку залізорудної промисловості України», «Державної комплексної програми розвитку України». Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, проведених в Національному гірничому університеті за держбюджетними науково-

дослідними роботами: «Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування та управління» (№ 0108U000538), «Дослідження задач проектування та моделювання складних систем із застосуванням Unified Modeling Language (UML)» (№ 0107U005087), а також «Розробка методів синтезу моделей корисних енергетичних, акустичних та вібраційних сигналів для ідентифікації процесів гірничого виробництва» (№ 0113U000402), «Рішення задачі генерації проектів оперативних планів бойових дій при ліквідації пожеж на шахтах на основі онтологічних баз знань» (№ 0113U003913), «Розробка автоматизованої розпушувальної установки для розвантаження зсипних змерзлих вантажів» (№ 0116U006739), у яких автор був співвиконавцем.

**Метою роботи** є підвищення ефективності СОДУ на основі розробки математичної моделі і алгоритму роботи системи прийняття рішень диспетчером вугільних шахт шляхом оптимізації системи з урахуванням техніко-економічних обмежень.

Сформульована мета роботи зумовлює необхідність розв'язання наступних завдань досліджень:

- обґрунтування структури математичної моделі розв'язання задач управління основними ТП вугільної шахти з урахуванням проведеного дослідження та аналізу технологічного процесу в очисних вибоях та існуючих математичних методів розв'язання завдань диспетчерського керування такими об'єктами;
- проаналізувати інформаційні потоки в задачах диспетчеризації вугільних шахт для уточнення параметрів математичної моделі СПРД;
- визначити структурні залежності та спосіб визначення виходу устаткування за недопустимі режими роботи;
- сформулювати систему техніко-економічних обмежень відносно СОДУ;
- розробити СПРД вугільних шахт з урахуванням комплексної математичної моделі, що містить техніко-економічні обмеження та визначення часу актуальності прийняття відповідальних рішень диспетчером шахти.

На основі розробки імітаційної моделі (ІМ) дослідити режими роботи магістрального конвеєрного транспорту вугільної шахти з урахуванням оснащення транспортної мережі накопичувальними бункерами (БН) та визначити таке поєднання параметрів, при яких забезпечується мінімальні відхилення від планових показників, для різних наборів вхідних даних і застосування отриманих рішень в умовах СОДУ.

**Об'єктом дослідження** процес диспетчерського управління гірничошахтним обладнанням на вугільній шахті.

**Предметом дослідження** є вплив параметрів випадкових процесів видобутку і транспортування вугілля на ефективність диспетчерського управління.

**Методи дослідження.** В роботі використовувалися: методи лінійної статичної оптимізації для побудови ММ з урахуванням техніко-економічних обмежень; методи теорії ймовірностей і математичної статистики для обробки отриманих даних, включаючи завдання про викиди Райса для визначення параметрів виходу обладнання за нормальний режим роботи; метод найменших квадратів для отримання коефіцієнтів апроксимованої функції; сучасної методології

побудови імітаційної моделі для урахування різноманітності транспортної мережі вугільних шахт при наявності накопичувальних бункерів та сховища вугілля поверхні; методи створення баз даних, а також програмних комплексів та систем для побудови програмного комплексу СПРД.

**Наукові положення:**

– забезпечення процесу управління функціонування вугільної шахти з урахуванням ймовірнісних зв'язків між контрольованими параметрами, що описане за допомогою системи рівнянь Колмогорова, дозволяє підвищити достовірність і ефективність прийнятих рішень диспетчером.

– визначення часу актуальності прийняття відповідальних рішень диспетчером обумовлено використанням автокореляційної функції вантажопотоків шахти, що забезпечує отримання показників нормативної роботи гірничого устаткування.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Уперше запропоновано застосування моделі інформаційних потоків у вигляді графа станів в складі спеціального математичного забезпечення системи прийняття рішень диспетчером (СПРД), що на відміну від відомих систем ДУ, дозволяє враховувати нерівномірності роботи обладнання основних ТП вугільної шахти.

2. Удосконалено математичну модель розрахунку навантажень на лави, через введення додаткових обмежень техніко-економічного характеру, що на відміну від відомих моделей уможливило підвищення ефективності прийняття рішень диспетчером вугільної шахти.

3. Розроблено імітаційну модель роботи основного обладнання ТП у вузлах транспортної мережі, яка, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати ймовірнісний характер потоків та оцінювати ефективність системи шахтного транспорту при оснащенні їх накопичувальними бункерами з додатковим регулюванням величини надходження вугілля з лав шахти.

**Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується коректністю постановки і вирішення задач; використанням фундаментальних положень; перевіркою результатів ІМ за критерієм Стюдента, що підтверджує роботу обладнання в межах допустимих плановими та експлуатаційними показниками до 95%; практичною апробацією використовуваних методів, впровадженням результатів роботи.

**Практичне значення роботи** полягає в наступному:

– запропоновано структуру врахування ймовірнісних зв'язків між контрольованими параметрами роботи ТП шахти;

– розроблено методику визначення ймовірності неприпустимих навантажень обладнання при роботі устаткуванням шахти;

– запропоновано структуру системи прийняття рішень диспетчером та оцінку ефективності її впровадження під час виконання планових показників;

– розроблено алгоритм і комп'ютерну програму урахування накопичувальних бункерів та сховищ вугілля поверхні в умовах функціонування вугільних шахт Донбасу.

**Впровадження результатів роботи.** Результати роботи прийняті для впровадження в комплекс програмних засобів підсистеми оперативних диспетчерських розрахунків режимів роботи технологічного обладнання та використовуються в умовах ПАТ «Кривбасзалізрудком». Отримані в дисертації теоретичні й практичні результати використовуються у навчальному процесі при підготовці фахівців зі спеціальностей: «Системний аналіз», «Інформаційні управляючі системи та технології», «Програмне забезпечення автоматизованих систем» у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».

**Особистий внесок здобувача.** Автором власноруч сформульована мета, завдання, обрані методи досліджень. Усі наукові результати, висновки та рекомендації отримані й сформульовані автором особисто. Здобувач брав участь у розробці спеціального програмного забезпечення, впровадженні результатів роботи у промисловість.

**Апробація результатів роботи.** За основними положеннями дисертаційної роботи зроблено доповіді на наукових конференціях: 1-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові досягнення – 2006» (м. Дніпропетровськ, 20-28 лютого 2006 р.); на X-й міжнародній конференції "Проблеми використання інформаційних технологій в сфері освіти, науки та промисловості" (м. Дніпропетровськ, 30-31 січня 2013 р.); на VI-й всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю "Інформатика і системні науки". (м. Полтава, 19-21 березня 2015 р.); на I-й всеукраїнській науково-технічній конференції "Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем" (м. Дніпропетровськ, 3-5 листопада 2015 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Обчислювальні методи, моделі та освітні технології» (м. Брест, 21 жовтня 2016 р.), на міжнародній науково-практичній інтернет конференції молодих вчених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління» (м. Луцьк, 26 листопада 2016 р.), на XII-й міжнародній конференції "Проблеми використання інформаційних технологій в сфері освіти, науки та промисловості» (м Дніпро, 23-24 листопада 2016 р.).

За матеріалами дисертації автором опубліковано 16 робіт, з яких 5 написані без співавторів. У тому числі 9 у наукових фахових виданнях (1 – у наукометричній базі Scopus, 1 – у іноземному виданні), 7 – у матеріалах міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференцій.

**Обсяг та структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи 192 сторінка, з них 169 сторінок – основного тексту. Дисертація містить 54 малюнки, 9 таблиць і 5 додатків на 25 сторінках. Список використаних літературних джерел містить 95 найменування на 10 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито стан проблеми та обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи для гірничого комплексу України, сформульована мета і завдання дослідження, наведено відомості про наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано стан завдань управління основними ТП на вугільних шахтах. Досліджено структурні особливості вугільних шахт, як складних технічних системи (СТС). Викладено основні задачі СОДУ ТП вугільних шахт в умовах мінливості технологічних показників з урахуванням впливів випадкових чинників.

На підставі аналізу гірничо-геологічних особливостей, різноманіття техніко-економічних показників шахт Західного і Східного Донбасу виконана класифікація

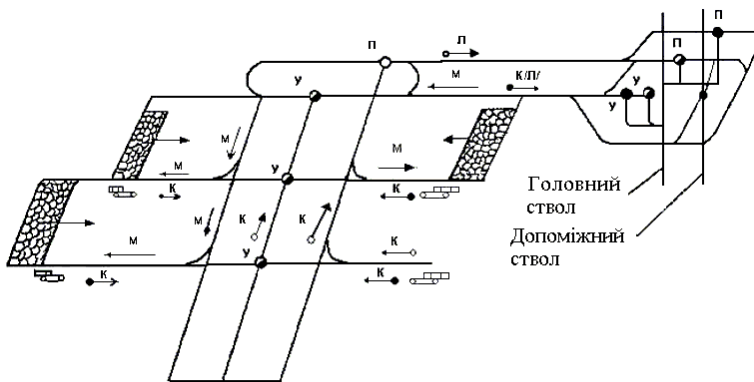


Рис.1. Технологічна схема видобутку вугілля

за характерними ознаками технологічних схем видобутку вугілля. Основу класифікації склали три групи, що відображають особливості залягання пластів, систем підготовки й систем розробки шахтних полів, схем і видів підземного транспорту вугілля й породи тощо (рис.1).

На основі проведеного аналізу існуючих СОДУ, їх основних ММ обрані найбільш перспективні параметри, з точки зору застосування в СПРД вугільної шахти параметри. Обумовлено врахування технологічних та якісних характеристик вугілля що добувається (зольність, вміст сірки, вологість), економічних - енергетичних показників та показників користування складами для зберігання вугілля, що значно впливають на формування собівартості видобутого вугілля.

У другому розділі розглянуто особливості роботи диспетчера вугільної шахти, який засвідчив високу відповідальність диспетчера за корекцію графіка всіх робіт шахти загалом та прийняття відповідальних рішень щодо керування процесами роботи лави, підземного транспорту, вентиляції, водовідливу, споживання електроенергії, постачання необхідного обладнання та матеріалів. Обумовлено важливість корекції графіка роботи усіх систем шахти з урахуванням не тільки технологічних, а й економічних показників при розробці СПРД СОДУ вугільної шахти. СОДУ на вугільній шахті значно вирізняється від аналогічних виробничих структур через фактор підвищеної небезпеки як основних, так і допоміжних ТП. З огляду на це розглянуто інформаційне оточення диспетчера вугільної шахти.

Проведений аналіз інформаційних потоків основних ТП шахти, уможливив визначити три системи пріоритетів для відповідних груп даних СПРД:

– до першої групи належать дані про екстрені ситуації основних ТП. В першу чергу це вихід з ладу обладнання, граничні значення загазованості, відмови на поточно-транспортній схемі тощо. Для цієї інформації час обробки  $t_{обр} = 0$ ;

– до другої групи відноситься інформація, яку використовують для налаштування і корекції режимів роботи основного ТП. При цьому час переналаштування  $t_{пер}$  визначається виразом:

$$t_{пер} = t_{обр} + t_{мех} + t_{оч}, \quad (1)$$

де  $t_{обр}$  – час обробки даних цієї групи;  $t_{мех}$  – час перебудови технологічних механізмів;  $t_{оч}$  – час очікування до моменту, коли буде пауза в ТП;

– третя група – це дані, які визначають інформацію допоміжних ТП. Періоди її надходження в СПРД залежать від конкретних умов допоміжних процесів, які повинні безперервно відслідковуватися в реальному масштабі часу.

Позначивши кожний стан в СПРД трирозрядним двійковим кодом, отримано три біти інформації, при цьому кожен розряд цього коду означає вхідну інформацію відповідної групи. Отже, процес обробки даних в СПРД описується графом з вісьмома вершинами (рис. 2). У кожен момент часу система перебуває тільки в одному стані, ймовірність якої ( $P_i$   $i = \overline{1,8}$ ) використано в якості корегуючого коефіцієнту нерівномірності роботи обладнання основних ТП шахти.

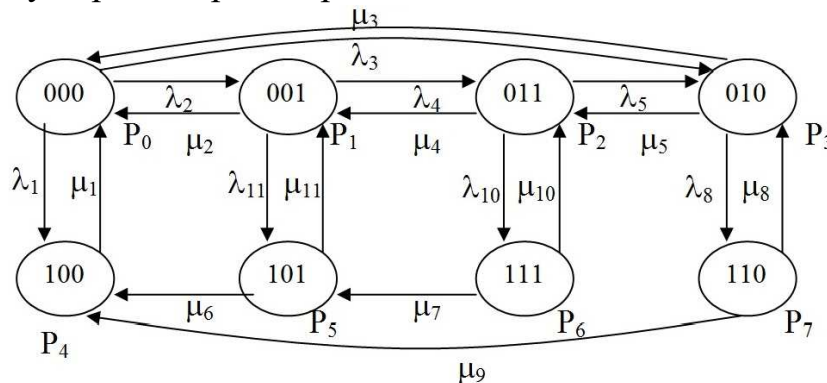


Рис.2. Граф станів інформаційних задач диспетчеризації

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) = P_1\mu_2 + P_3\mu_3 + P_4\mu_1; \\ P_1(\mu_2 + \lambda_4 + \lambda_{11}) = P_0\lambda_2 + P_5\mu_{11} + P_2\mu_4; \\ P_2(\lambda_5 + \mu_4 + \lambda_{10}) = P_1\lambda_4 + P_3\mu_5 + P_6\mu_{10}; \\ P_3(\mu_3 + \mu_5 + \lambda_8) = P_0\lambda_3 + P_2\lambda_5 + P_7\mu_8; \\ P_4\mu_1 = P_0\lambda_1 + P_5\mu_6 + P_7\mu_9; \\ P_5(\mu_6 + \mu_{11}) = P_1\lambda_{11} + P_6\mu_7; \\ P_6(\mu_7 + \mu_{10}) = P_2\lambda_{10}; \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 1. \end{array} \right. \quad (2)$$

Невідомими у системі лінійних рівнянь (2) є значення ймовірностей ( $P_i$   $i = \overline{1,8}$ ) нерівномірної роботи обладнання основних ТП шахти. Інтенсивності потоків  $\lambda_i$  та  $\mu_j$  визначаються як:

$$\lambda_i = 1/T_i \quad \text{та} \quad \mu_j = 1/t_j, \quad (3)$$



де  $T_i$  – середнє значення інтервалу часу між появою даних  $i$ -ї групи;  $t_j$  – середній час обробки даних  $j$ -ї групи.

Отримані у результаті розв'язання системи рівнянь значення ймовірностей безпосередньо використовуємо для оцінки часових і кількісних характеристик основних ТП у складі математичної моделі СПРД, що входять до СОДУ вугільної шахти.

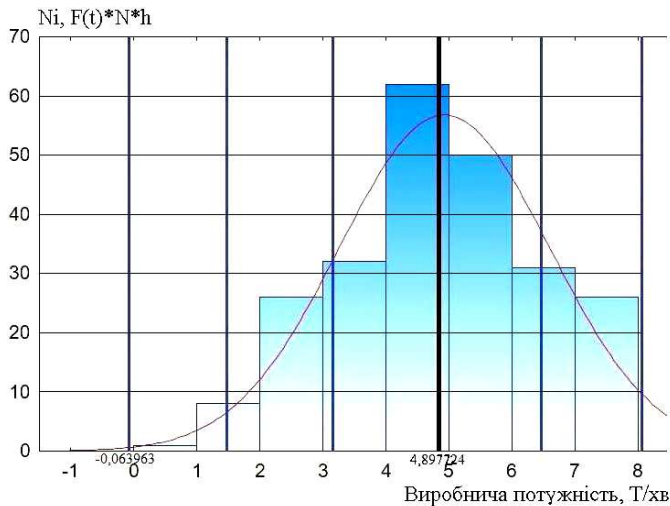


Рис.3. Гістограма розподілу продуктивності підприємства

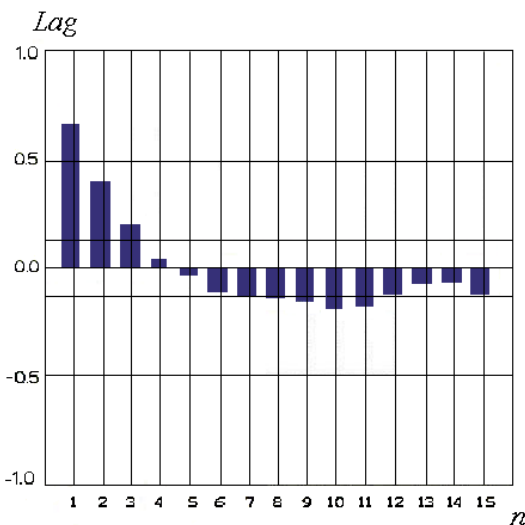


Рис.4. Автокореляційна функція вантажопотоку

продуктивності варто розглядати, як випадкову величину з нормальним законом розподілу в СПРД вугільних шахт.

Від визначення структурних особливостей майбутніх рішень в СПРД залежить необхідність проведення додаткових організаційно-технічних заходів, які збільшують час на прийняття ефективних рішень диспетчерськими службами вугільної шахти. Але, в умовах оптимальної роботи підприємства, важливість зміни використаного устаткування або зміна компонентного складу відвантаженого вугілля, визначає виконання умов планових показників, що є першочерговою задачею підприємства.

Значення  $T_i$  і  $t_j$  визначаються за звітними даними, рапортами і журналами роботи СОДУ, а також при безпосередньому хронометражі роботи основних ТП вугільної шахти.

За виробничими даними проведені дослідження продуктивності шахти ТОВ «Юніон-Вуглегазвидобування», побудовані закони розподілу продуктивності (рис.3) й визначено автокореляційну функцію вантажопотоку (рис.4) для подальшого аналізу.

Результатом аналізу встановлено:

- математичне сподівання  $M = 4.5 - 4.96$  т/хв;
- середньоквадратичне відхилення  $\sigma = 1.6 - 1.65$ ;
- коефіцієнт варіації  $V_\sigma = 0.32 - 0.36$ .

Виконаний статистичний аналіз продуктивності підприємств підтверджує, що характеристику

У третьому розділі визначається відхилення режимів роботи гірничих машин й устаткування (очисних і прохідницьких комбайнів, конвеєрного транспорту, допоміжного обладнання) від запланованих або оптимальних, що залежать від різноманітності гірничо-геологічних умов в яких вони експлуатуються: крім того визначаються можливі випадки виходу устаткування за встановлені межі у тих рамках, в діапазоні яких можливе функціонування обладнання для роботи ТП. Математичним розв'язком цього завдання є визначення імовірнісних характеристик процесу перетину випадковою функцією заданого рівня.

Для оперативного вирішення завдань ДУ ТП, що пов'язаний з видобутком вугілля, необхідно мати аналітичний вираз автокореляційної функції даного процесу:

$$K_0(\tau) = b_0 + b_1 e^{b_2 \tau} \quad (4)$$

де  $b_0, b_1, b_2$  - коефіцієнти експоненти загального вигляду.

При цьому значення коефіцієнтів моделі визначаються за значеннями автокореляційної функції методом найменших квадратів (МНК). Нелінійними нормальними рівняннями при цьому є:

$$\begin{aligned} n b_0 + b_1 \sum \exp(b_2 x_i) &= \sum y_i, \\ b_0 \sum \exp(b_2 x_i) + b_1 \sum \exp(2b_2 x_i) &= \sum y_i \exp(b_2 x_i), \\ b_0 \sum x_i \exp(b_2 x_i) + b_1 \sum x_i \exp(2b_2 x_i) &= \sum x_i y_i \exp(b_2 x_i). \end{aligned} \quad (5)$$

У результаті розрахунку коефіцієнтів автокореляційної функції (рис 4, ТОВ «Юніон-Вуглегазвидобування») визначено наступні значення коефіцієнтів моделі:  $b_0 = -0,65$ ,  $b_1 = 1,654$ ,  $b_2 = -0,2$ . Емпіричне рівняння нормованої автокореляційної функції вантажопотоку вугілля за даним розрахунком має вигляд:

$$K_0(\tau) = -0.65 + 1.6546e^{-0.2\tau}.$$

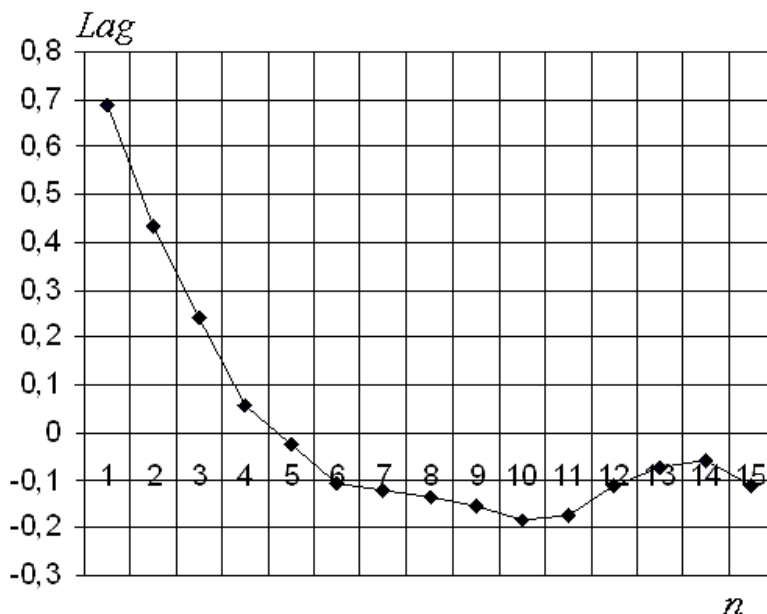


Рис.5. Автокореляційна функція вантажопотоку

За допомогою цього виразу побудовано автокореляційну функцію процесу (рис. 5).

Ділянка зниження її до нульового рівня використана для оцінки часу спаду –  $\tau_0$ :

$$\tau_0 = \frac{1}{b_2} \ln \left( -\frac{b_0}{b_1} \right). \quad (6)$$

Для розв'язання задачі Райса потрібний більш точний аналітичний опис початкової ділянки автокореляційної функції, що є прилег-

лою до точки функції  $Lag(0)$ . Це обумовлено тим, що доводиться оцінювати швидкість зміни випадкової функції ТП вугільної шахти та потрібно обчислити другу похідну  $K_0(\tau)$  в нульовій точці, тоді:

$$\ddot{K}_0(\tau) = b_1(b_2)^2 e^{b_2\tau}.$$

Розрахунки показників технологічної схеми, на основі автокореляційної функції наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

## Результати аналізу виходу обладнання за нормальній режим роботи

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$\tau_0$	$\ddot{K}_0(\tau)$	$\sigma^2$	$\sigma_v^2$	$\bar{v}_a$	$\bar{n}_a$	$P_0$	$P_1$	$P_2$
-0,65	1,654	-0,2	11,11	0,0721	2,967	0,213	0,001	1,07	0,314	0,367	0,19

В таблиці 2, відповідно до закону Пуассона, визначаються ймовірності  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  які показують, що за час керування  $\tau_0$  (12 до 15 хвилин), не буде жодного викиду, буде один викид, два викиди тощо. Згідно розрахунків, ймовірність нормальної роботи обладнання ( $P_0$ ) протягом періоду спостереження досить висока – перевищує 31%.

Виходячи з аналізу режимів роботи обладнання, встановленої потужності електроприводів, інтенсивності видобутку та ефективності використання складів на поверхні шахти, сформовано завдання розрахунку оптимальних навантажень на лави вугільної шахти за економічним критерієм. Цей критерій полягає в мінімізації собівартості видобутку вугілля по всім лавам за час  $T$ , в тому числі враховує штраф за перевищення ліміту витраченої електроенергії, зміни поточного стану сховищ вугілля поверхні, з використанням трьох типів обмежень: технологічних – з утримання граничних показників вмісту золи, сірки і вологи; виробничих – зміна видобутку вугілля лавами та поточний стан складу вугілля поверхні; енергетичних – максимально можливе електричне навантаження за показниками вугільного підйому, транспорту і водовідливу в заявлених межах.

Далі розроблено ММ сформульованої задачі, для чого введені наступні позначення величин, що вважаються відомими:

$n$  – кількість працюючих лав;  $D_{план}$  – плановий (узгоджений з попитом) обсяг видобутку вугілля по шахті в цілому, [m];  $C_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  – собівартість тонни вугілля з  $i$  – ї лави [грн/m];  $X_i^{min}$ ,  $X_i^{max}$ ,  $i = \overline{1, n}$  – відповідно мінімально і максимально можлива кількість вугілля, яку можна отримати з  $i$  – ї лави, і яка визначається технологічними характеристиками лави, [m];  $0 \leq p_i \leq 1$ ,  $i = \overline{1, n}$  – ймовірність роботи  $i$ -ї лави в штатному режимі протягом періоду часу  $T$  (визначається за допомогою графу станів (розділ 2));  $Z_i$  – вміст золи у вугіллі  $i$ -го забою, %;  $S_i$  – вміст сірки у вугіллі  $i$ -го забою, %;  $W_i$  – вміст вологи у вугіллі  $i$ -го забою, %;  $B_1, B_2, B_3$  – граничні значення за змістом золи, сірки і вологи у суміші вугілля з усіх лав, %;  $\gamma_0$  – питомі (розраховані на одну тону) витрати,

пов'язані із зберіганням надлишкової кількості вугілля на СВП (кількості, що перевищує номінальну),  $[gph/m]$ ;  $\gamma_1$  – розрахований на одиницю електроенергії розмір штрафу за перевищення ліміту енергоносія,  $[gph/kVt \cdot год]$ ;  $\gamma_2$  – вартість відвантаження однієї тони вугілля з СВП,  $[gph/m]$ ;  $\beta_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , – вартість транспортування (або зберігання) на СВП надлишкової однієї тони вугілля, видобутого з  $i$ -ї лави,  $[gph/m]$ ;  $V_T$  – поточна кількість вугілля на СВП,  $[m]$ ;  $V_H$  – номінальний обсяг вугілля на СВП,  $[m]$ ;  $V_{max}$  – максимальний обсяг вугілля на СВП,  $[m]$ ;  $P_{заявл}$  – потужність, відповідна заявленому ліміту на інтервалі часу  $T$   $[kVt \cdot год]$ ;  $P_{нід}$  – електричне навантаження по вугільному підйому  $[kVt \cdot год]$ ;  $P_{тр}$  – електричне навантаження по локомотивному транспорту  $[kVt \cdot год]$ ;  $P_{км}$  – електричне навантаження за конвеєрним транспорту  $[kVt \cdot год]$ ;  $P_{вод}$  – електричне навантаження по водовідливу  $[kVt \cdot год]$ ;  $P_{вст}$  – сумарна встановлена потужність обладнання, відповідна забезпеченню можливостям підстанції  $[kVt \cdot год]$ .

Для побудови ММ введено до розгляду наступні змінні:

$x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , – обсяг вугілля, який планується видобувати з  $i$  – й лави за період часу  $T$ ,  $[m]$ ;  $y_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , – обсяг видобутого з  $i$ -го забою вугілля, який має бути відвантажений для поповнення запасів СВП шахти,  $[m]$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  – вектори відповідних змінних;  $Y$  – обсяг вугілля, який відвантажується з СВП шахти на покриття запланованого попиту  $D_{план}$  у разі недостатньої кількості видобутого вугілля  $[m]$ .

Проміжними шуканими величинами, які визначаються вищезазначеними і характеризують роботу шахти в цілому протягом періоду  $T$ , є такі:

$D_{факт}$  – очікуваний обсяг видобутку вугілля по шахті в цілому за весь період часу, призначений для задоволення попиту (або на покриття плану),  $[m]$ :

$$D_{факт} = \sum_{i=1}^n (p_i x_i - y_i); \quad (7)$$

$\Delta P$  – можливе перевищення ліміту споживаної електроенергії за період часу  $T$ ,  $[kVt \cdot год]$ :

$$\Delta P = \begin{cases} P_{спож} - P_{заявл} & \text{при } P_{спож} > P_{заявл}, \\ 0 & \text{при } P_{спож} \leq P_{заявл}, \end{cases} \quad (8)$$

де

$$P_{спож} = (P_{нсд} + P_{тр} + P_{км} + P_{ком} + P_{вод}) \cdot \sum_{i=1}^n p_i x_i; \quad (9)$$

$\Delta V$  – зміна обсягу вугілля в СВП,  $[m]$ :

$$\Delta V = \left( \sum_{i=1}^n y_i - Y \right). \quad (10)$$

З урахуванням введених позначень ММ задачі розрахунку оптимальних навантажень на лави вугільної шахти СПРД записана в наступному вигляді.

Математична модель:

$$F \rightarrow \min_{x,y,Y}, \quad (11)$$

де

$$F = \sum_{i=1}^n C_i p_i x_i + \gamma_1 \Delta P + \gamma_0 (V_T + \Delta V - V_H) \text{sign}(V_T + \Delta V - V_H), \quad (12)$$

при трьох наборах умов:

– система обмежень I

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i = D_{\text{факт}}, \quad \frac{\sum_{i=1}^n Z_i (p_i x_i - y_i)}{D_{\text{факт}}} \leq B_1, \quad \frac{\sum_{i=1}^n S_i (p_i x_i - y_i)}{D_{\text{факт}}} \leq B_2, \quad \frac{\sum_{i=1}^n V_i (p_i x_i - y_i)}{D_{\text{факт}}} \leq B_3,$$

$$X_i^{\min} \leq x_i \leq X_i^{\max}, \quad i = \overline{1, n}, \quad 0 \leq y_i \leq p_i x_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad D_{\text{факт}} + Y \geq D_{\text{план}},$$

– система обмежень II:

$$\Delta P = \begin{cases} P_{\text{спож}} - P_{\text{заявл}} & \text{при } P_{\text{спож}} > P_{\text{заявл}}, \\ 0 & \text{при } P_{\text{спож}} \leq P_{\text{заявл}}, \end{cases}$$

$$P_{\text{спож}} = (P_{\text{нсд}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{кт}} + P_{\text{ком}} + P_{\text{вод}}) \cdot \sum_{i=1}^n p_i x_i;$$

– система обмежень III:

$$V_H \leq V_T + \left( \sum_{i=1}^n y_i - Y \right) \leq V_{\max}, \quad 0 \leq Y \leq V_T.$$

Таким чином, цільова функція має наступні складові: перший доданок – це вартість видобутку вугілля по всім лавам за час  $T$ ; другий – штраф за перевищення ліміту витраченої електроенергії; третій – витрати, пов'язані із зміною стану СВП. Набір умов I відповідає вимогам щодо вмісту золи, сірки й вологи у вугіллі, що видобувається і використовується на задоволення попиту, також враховані виробничі потужності лав шахти. Система обмежень II визначає планову потребу в енергоносіях і перевищення ліміту електричної потужності, що визначається заявкою підприємства. Система обмежень III – визначає обсяг вугілля, що надходить на СВП або відвантажується з нього.

Сформульована ММ не є типовою задачею ЛП, оскільки у цільовій функції складник, що враховує перевищення ліміту електроенергії може бути відсутнім, а значення стану СВП змінює знак в залежності від роботи підприємства. Розв'язання сформульованої задачі може бути отримано в кілька етапів: отримання

наближеного плану роботи шахти без урахування другого і третього доданка в цільовій функції, а на наступних етапах – уточнення з розрахунком вищевказаних доданків.

У четвертому розділі, для урахування ймовірнісного характеру видобутку вугілля, урахування обмежень пропускної здатності системи ТМ за умови оснащення її БН різної ємкості, які в свою чергу додатково регулюють значення потоку вугільної маси в СПРД проводиться розрахунковий експеримент за допомогою ІМ, алгоритм якого представлений на рис.6.

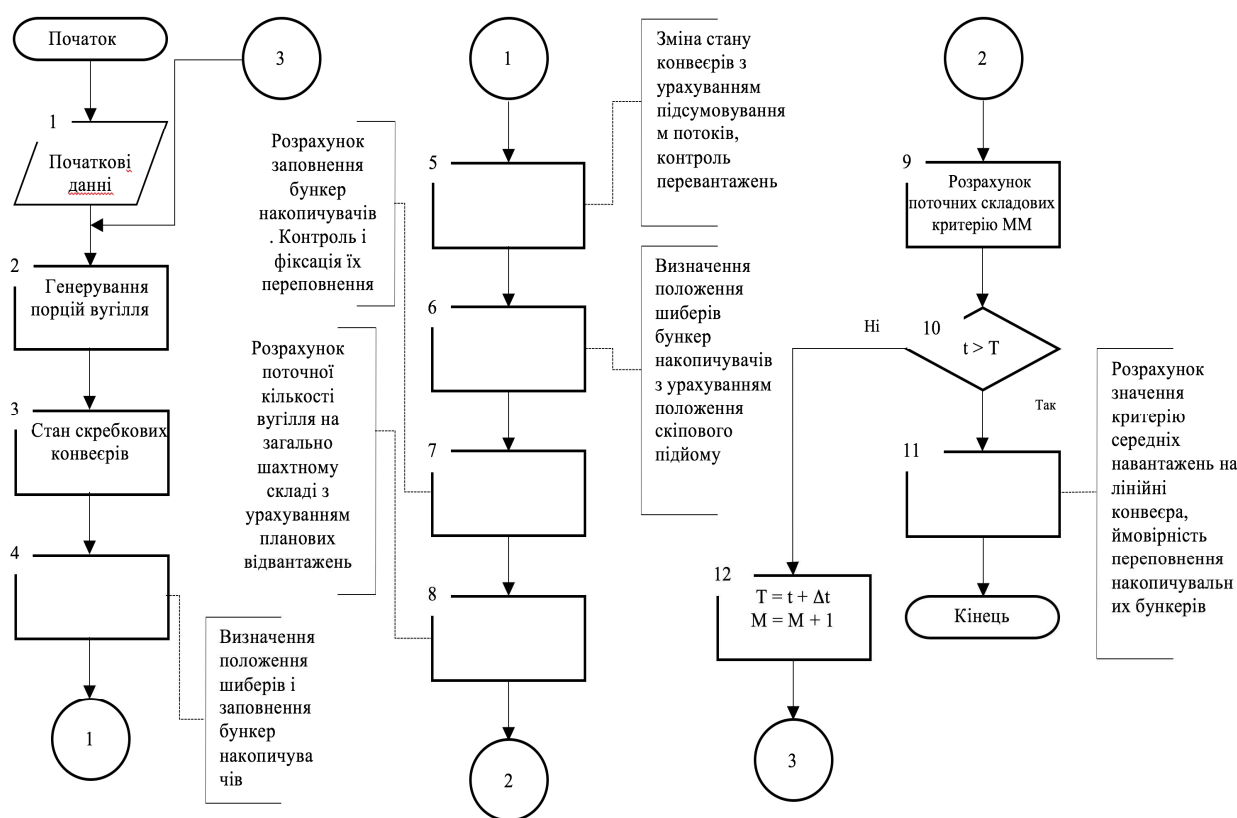


Рис.6. Алгоритм розрахунків імітаційної моделі

Основними елементами ІМ є:

Генерування порцій вугілля (джерело) – імітує безпосередньо процес видобутку вугілля у лаві  $\Delta m$  з кроком  $\Delta t$ . Таким чином миттєва продуктивність лави визначається як –  $\Delta m / \Delta t$  (кг/с).

Стан конвеєрного транспорту представлено у вигляді елементів чистого запізнювання, які імітують його роботу. На кожному такті роботи ІМ відбувається зсув елементів масивів відповідних конвеєрів. Кількість порцій або осередків  $n$  розраховується виходячи з  $L$  – довжини конвеєрної лінії,  $V$  – швидкості конвеєра,  $\Delta t$  – кроку квантування ІМ, який має такий вигляд:

$$n = \frac{L}{V\Delta t} \quad (15)$$

У процесі виконання експерименту на кожному такті контролюється навантаження кожного конвеєра, тобто  $\sum_{i=1}^n X_i$  та проводиться порівняння з номіна-

льним навантаженням. При цьому  $X_i$  – це порція вугільної маси  $\Delta m$ , що генерована джерелом.

Зміна стану конвеєрів з урахуванням підсумовування потоків (суматори) імітує накладання (об'єднання) двох потоків вугільної маси. При цьому для кожного  $i$ -го такту розрахунків  $\Delta m_{3i} = \Delta m_{1i} + \Delta m_{2i}$ . При підсумовуванні великого числа потоків, суматорів буде декілька.

Розрахунок заповнення бункеру накопичувача (накопичувач) імітує наповнення ємності, з одним входом, одним виходом та є інерційним елементом для визначення кількості вугілля в БН контрольованої ланки транспортної мережі. Вихід і стан накопичувача на кожному  $i$ -му кроці, визначається попереднім станом та вхідними параметрами  $X_{ex}$  та  $U$  (положення шибера БН):

$$Z_i = Z_{i-1} + X_{exi} + X_{vixi} \quad (11)$$

$$X_{vixi} = \begin{cases} 0 & \text{при } U = 0 \\ X_{vix \max} & \text{при } U = 1 \text{ у } Z_{i-1} > X_{ex} \\ X_{exi} & \text{при } U = 1 \text{ у } Z_{i-1} < X_{vix \max} \end{cases} \quad (12)$$

де  $X_{vix \max}$  – максимальний обсяг вугільної маси який зсипається з БН при відкритому шибери та наявності матеріалу в бункері. БН характеризується технічними та технологічними параметрами лави, обсягом видобутку вугілля лавою і є максимально можливою ємністю  $Z_{\max}$ . При цьому якщо  $Z_i \geq Z_{\max}$ , то це означає аварійну ситуацію – переповнення БН і зупинку всієї ТМ, що розташована до цього бункера.

У процесі проведення розрахункового експерименту визначається та обчислюються: поточний стан усієї системи і значення критерію, фіксується режим роботи кожної конвеєрної лінії (перевантаження, недовантаження, нормальна робота), переповнення проміжних БН.

На рис. 7 представлена реалізація комплексу програмних засобів СПРД. У структурі комплексу програм СПРД інформація поділяється на директивну,

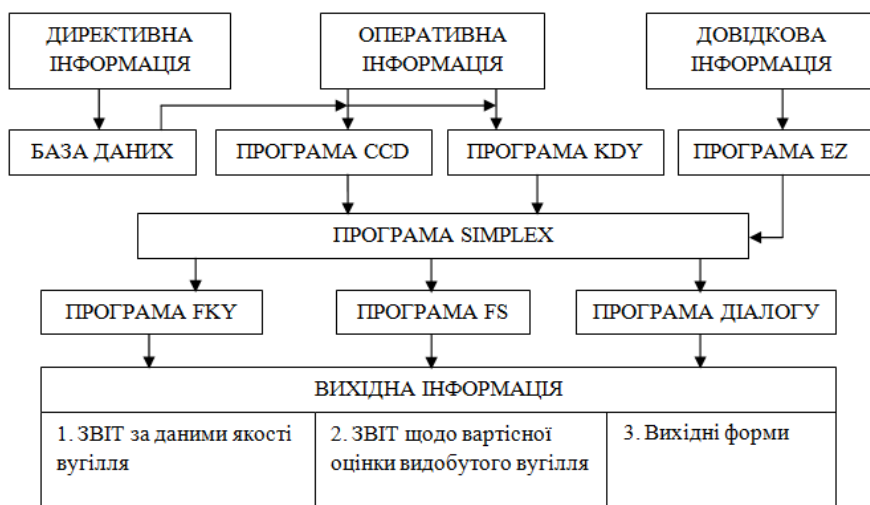


Рис. 7. Структура комплексу програм СПРД

оперативну, довідкову і вихідну. Для введення оперативної інформації використано дві програми. Програма ССD забезпечує отримання даних за вартісними складовими процесу видобутку вугілля (грн/т). Вписується номер забою і вартість в гривнях за тону для різних варіантів

розрахунку. Програма KDY забезпечує отримання інформації за показниками якості вугілля, що добувається. Структура цієї інформації складається з даних про характеристики забою, марки вугілля, а також його зольності, вміст сірки і вологи, обсягів видобутку та способу транспортування.

Для довідкової інформації використано програму EZ, яка розраховує вартість експлуатації забоїв. Програми розрахунку вихідних даних формують звіти за вартісними оцінками різних варіантів керування. Програма FS формує номер очисного забою і вартість різних варіантів його експлуатації. Програма FKY формує звіт за якісними показниками вугілля.

Враховуючи представлену систему та виконавши ІМ за даними ТОВ «Юніон-Вуглегазвидобування» було отримано наступні результати: оптимальна кількість вантажопотоку розраховується з точністю до 0,028, а відповідна йому сума прибутку з використанням розробленої ММ та системи техніко-економічних обмежень - з точністю до 76,51.

Звідси можна зробити висновок, що поставлена оптимізаційна задача розв'язана з отриманням числових характеристик в межах:  $P(5,18 < M_x < 5,24) = 0.95$ ;  $P(13902,05 < M_F < 14055,07) = 0.95$ .

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв'язана актуальна наукова задача, що полягає у побудові моделі урахування ймовірнісних зв'язків між контрольованими параметрами роботи вугільної шахти під час прийняття рішень диспетчером при відповідних техніко-економічних обмеженнях та визначенні часу актуальності для підвищення ефективності системи оперативно-диспетчерського управління.

У результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримані такі наукові висновки і результати.

1. Обґрунтовано структуру ММ, при цьому набуло подальшого розвитку обмеження, що залежать від характеру технологічних процесів та режимів роботи устаткування вугільної шахти. Визначено ключові технологічні параметрами моделі, які є найбільш впливовими для економічного складника.

2. Уможливлено визначення ймовірних характеристик стану окремих ділянок шахти з урахуванням побудованого графа станів інформаційних потоків і рішення системи рівнянь Колмогорова, які супроводжують роботу диспетчера вугільної шахти в СПРД для СОДУ; визначено коригуючий коефіцієнт для врахування нерівномірності роботи чи простою обладнання основних ТП шахти, який застосовується з метою уточнення параметрів моделі СОДУ

3. Виявлено структурні властивості рішень СПРД в СОДУ при прийнятті ефективних рішень диспетчерськими службами вугільної шахти та необхідності проведення додаткових організаційно-технічних заходів. Поставлено задачі управління основними технологічними процесами і введено поняття актуальності рішень задач СОДУ. Підтверджено, що вантажопотік має випадкову вели-



чину з нормальним законом розподілу, який використовують для обліку імовірного характеру продуктивності шахти.

4. Запропоновано спосіб визначення виходу обладнання за недопустимі режими роботи на основі аналізу апроксимації автокореляційної функції із застосуванням методу найменших квадратів, що дозволяє визначити кількість таких виходів та запобігти збою у роботі підприємства.

5. Сформовано обмеження щодо енергоспоживання основних ТП шахти на основі проведеного аналізу процесу енергоспоживання, режимів роботи обладнання і встановленої потужності електроприводів.

6. Розроблено структурну схему СПРД для вирішення задач в кілька етапів: з урахуванням доданків цільової функції, уточненням, розрахунком додаткових доданків, що дає змогу провести перевірку і аналіз на базі імітаційної моделі для підтвердження застосування розробленої методики.

7. Запропоновано і реалізовано математичну модель розрахунку оптимальних навантажень на вугільні шахти з урахуванням техніко-економічних обмежень, яка забезпечує функціонування СПРД і водночас зменшує час прийняття обґрунтованих рішень і підвищує ефективність диспетчерського управління вугільної шахти.

8. Представлено реалізацію СПРД у формі алгоритму, програмного комплексу та бази даних, що дозволило забезпечити управління ТП видобутку і транспортування гірничої маси в умовах вугільних шахт з урахуванням нерівномірності процесу видобутку корисних копалин і конфігурації ТМ.

9. Розроблено алгоритми роботи ІМ, що дозволяють моделювати систему вугільної шахти будь-якої складності, включаючи конвеєри, накопичувальні бункери, застосування відкритих сховищ вугілля на поверхні шахти для визначення економічно обґрунтованих режимів роботи основних ТП вугільної шахти.

Визначено, що виконання планових показників, з використанням розробленої СПРД, для умов ТОВ «Юніон-Вуглегазвидобування» проводиться в межах експлуатаційно-технічних характеристик роботи шахти на рівні  $P(5,18 < M_x < 5,24) = 0.95$ ;  $P(13902,05 < M_F < 14055,07) = 0.95$ , що підтверджує оптимальність прийнятих рішень диспетчером.

Впровадження розробленого програмного комплексу в умовах ПАТ «Кривбасзалізрудком», дозволила скоротити час прийняття рішень диспетчером шахти. Позитивний ефект спостерігається в підвищенні ефективності та надійності прийнятих рішень диспетчером при виконанні планових показників, при цьому постійно проводиться контроль виходу устаткування за встановлені межі навантажень для умов завдання управління вантажопотоками.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Слесарев В.В. Анализ информационных потоков в задачах диспетчеризации угольной шахты / В.В. Слесарев, А.В. Малиенко // Гірнична електро-механіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2001.– Вип. 67. – С. 84-87.

2. Слесарев В.В. Использование методов управления проектами в задачах диспетчеризации / В.В. Слесарев, А.В. Малиенко // Збірник наукових праць НГУ №15, Том 2., 2002.- С. 156 - 162
3. Слесарев В.В. Построение алгоритма работы системы диспетчерского управления на угольной шахте / В.В. Слесарев, А.В. Малиенко // Науковий вісник НГУ. – 2005. – № 11. – С. 89-91.
4. Малиенко А.В. Автоматизация управления качеством добываемого угля очистных забоев угольных шахт горным диспетчером / А.В. Малиенко // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 1. – С. 78-79.
5. Малиенко А.В. Моделирование оценки надежности системы технического обслуживания оборудования угольных шахт. / А.В. Малиенко // Гірничча електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2011.– Вип. 86. – С. 96-99.
6. Слесарев В.В. Разработка метода расчета оперативных графиков работы горнотранспортной сети / В.В. Слесарев, А.В. Малиенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. Выпуск 5 (88). - 2013. - С.110 -116.
7. Слесарев В.В. Управления транспортом на угольной шахте при использовании системы расчетного обоснования / В.В. Слесарев, А.В. Малиенко // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 1. – С. 62-66.
8. Slesarev V. Probability estimates for the operation modes of mining machinery and equipment overshooting the limits of their normal functioning. / Slesarev V., Malienko A. // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining – (eds) 2015 Taylor & Francis Group, London,, P.393-395.
9. Новицький І.В. Алгоритм роботи імітаційної моделі системі прийняття рішень диспетчером вугільної шахти / Новицький І.В., Малієнко А.В. // Гірничча електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2016.– Вип. 97. – С. 28-35.
10. Малиенко А.В. Разработка математической модели системы расчетного сопровождения добычи угля на угольных шахтах. / Матеріали II-ї міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні наукові дослідження – 2006".(Дніпропетровськ, 20-28 листопада 2006р). Том 17. Технічні науки –Д.: Наука і освіта, 2006. С. -57-60.
11. Малиенко А.В. Средства диспетчеризации и контроля на угольных шахтах / Матеріали X-ї міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми використання інформаційних технологій в сфері освіти, науки та промисловості" (Дніпропетровськ, 30-31 січня 2013р) – Д.: НГУ. – 2013. - С.62-63.
12. Малиенко А. В. Алгоритм использования задачи о выбросах применительно к случайному процессу добычи угля / Матеріали VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю «Інформатика та системні науки». (Полтава, 19-21 березня 2015р) -П: ПУЕТ, 2015. С. 228-230.
13. Малиенко А. В. Проверка адекватности модели диспетчерского управления выполнением плановых показателей добычи угля шахты на основе метода кумулятивных сумм / Матеріали I-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем

(КМОСС-2015): (Дніпропетровськ, 3-5 листопада 2015р) - в 2-х ч. – Д: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – Ч. 1. – С. 232-234.

14. Малиенко А.В. Алгоритм вычислительного эксперимента определения эффективности системы принятия решений диспетчером угольной шахты / Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальні методи, моделі та освітні технології», (Брест, 21 жовтня 2016р) - Брест: БрГУ, 2016.- С 34-35.

15. Новицкий И.В., Малиенко А.В. Имитационная модель системы принятия решений диспетчером угольной шахты / Матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет конференції молодих вчених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління» (Луцьк, 26 листопада 2016р). С.89-92.

16. Новицкий И.В., Малиенко А.В. Принципы построения математической модели системы оперативно диспетчерского управления угольных шахт / Матеріали XII-ї міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми використання інформаційних технологій в сфері освіти, науки та промисловості (Дніпропетровськ, 23-24 листопада 2016р) – Д.: НГУ. – 2016. - С. 51-54.

**Особистий внесок здобувача.** Всі теоретичні дослідження й експериментальні перевірки теоретичних положень дисертаційної роботи виконані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автором самостійно розроблений граф інформаційних потоків та складена система рівнянь [1]; на основі аналізу мережевого уявлення робіт вугільної шахти розроблений інтерфейс візуального представлення результатів роботи оптимізаційної моделі [2]; розроблений алгоритм роботи системи диспетчерського управління та розрахунок планового показників видобутку вугілля з урахуванням співвідношення навантаження та якісних показників вугілля [3]; розроблена система та метод розрахунків графіку роботи транспортної мережі вугільної шахти [6,7]; створений алгоритм визначення виходу обладнання за граничний рівень роботи [8]; розроблений алгоритм імітаційної моделі системи прийняття рішень диспетчера [9]; розроблена математична модель з урахуванням техніко-економічних обмежень [15]; на основі аналізу та розробки будови системи прийняття рішень диспетчера сформована робота імітаційної моделі [16].

## АНОТАЦІЯ

Малієнко А. В. «Автоматизація процесів диспетчеризації вугільних шахт на основі системи прийняття рішень диспетчером» – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 Автоматизація процесів керування – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, 2018 р.

Представлена робота присвячена вирішенню наукової задачі побудови моделі урахування ймовірнісних зв'язків між контрольованими параметрами роботи вугільної шахти, розробки математичної моделі і алгоритму роботи системи прийняття рішень диспетчером вугільних шахт шляхом оптимізації системи з урахуванням техніко-економічних обмежень та визначення часу актуальності

прийняття рішень диспетчером для підвищення ефективності диспетчерського управління вугільними шахтами.

Сформульовані основні напрями підтримки процесу оперативного управління ТП диспетчером вугільної шахти на основі комплексної моделі системи прийняття рішень диспетчером у СОДУ.

Запропоновано і реалізовано ММ розрахунку оптимальних навантажень на вугільні шахти, що враховує техніко-економічні обмеження, та яка забезпечує функціонування СПРД в структурі СОДУ.

Опрацьовані алгоритми роботи основних ТП і їх реалізація в ІМ дозволяють моделювати систему ТП вугільної шахти будь-якої складності, з урахуванням пропускної здатності конвеєрного транспорту, включаючи в систему БН, використання СВП шахти для визначення економічно ефективних режимів роботи вугільної шахти.

Проведений аналіз, із застосуванням ймовірнісного експерименту, дозволив підтвердити ефективність застосованої методики розробленої СПРД, при цьому розроблена СПРД дозволяє оцінити ефективність управління, скоротити час і підвищити обґрунтованість прийнятих рішень диспетчером вугільних шахт при виконанні планових показників вугільної шахти.

**Ключові слова:** технологічний процес, система оперативно диспетчерського управління, система прийняття рішень диспетчером, математична модель, бункер накопичувач, склад вугілля поверхні, система оперативного контролю, імітаційна модель, розрахунковий експеримент.

## АННОТАЦИЯ

Малиенко А. В. «Автоматизация процессов диспетчеризации угольных шахт на основе системы принятия решений диспетчером» – на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 «Автоматизация процессов управления» - Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, 2018р.

Представленная работа посвящена решению научной задачи построения модели учета вероятностных связей между контролируемыми параметрами работы угольной шахты при принятии решений диспетчером путем оптимизации системы с учетом технико-экономических ограничений и определения времени актуальности для повышения эффективности диспетчерского управления угольными шахтами. В работе рассмотрены и проанализированы состояние задачи управления основными технологическими процессами (ТП) на угольных шахтах, существующие математические модели (ММ) этих процессов. Исследуются структурные характеристики угольных шахт, как сложных технических систем (СТС). Рассматривается задача оперативного диспетчерского управления (ОДУ) ТП угольных шахт в условиях изменчивости технологических показателей под влиянием случайных факторов и ее характерные отличия от детерминированного случая.

На основании анализа существующих до сих пор систем оперативно-диспетчерского управления (СОДУ) и их ММ установлено, что в рассматриваемых ММ СОДУ предполагается производительность каждой лавы  $X_i, i = \overline{1, n}$  - определять постоянной величиной на плановом периоде. На самом деле это случайная величина с определенным законом распределения. Более точно  $X_i(t)$  - представляет собой случайный процесс с определенными характеристиками. Определено, что при постановке задач выполнения плановых отгрузок угля не учитываются процесс доставки угля на поверхность шахты с учетом случайного характера добычи и ограничений пропускной способности транспортной сети (ТС), что может привести к перегрузке конвейеров. Необходимо учитывать конфигурацию ТМ, наличие ряда бункер накопителей (БН) их размер, наличие и содержание хранилища угля поверхности (ХУП) шахты.

Установлено, что повышение эффективности процесса диспетчерского управления (ДУ) возможно на основе расчетного обоснования принятых решений при использовании в ММ технико-экономического критерия с учетом технологических, энергетических и экономических ограничений добычи на угольных шахтах. При рассмотрении алгоритма работы диспетчера угольной шахты, выполнен анализ информационных потоков основных ТП сопровождающие работу диспетчера в системе принятия решений диспетчером (СПРД) СОДУ. Построен граф состояний информационных потоков и сформирована система уравнений Колмогорова, решение которой позволило определить вероятные характеристики состояния отдельных участков шахты, используемых при учете неравномерности работы оборудования основных ТП, при уточнении параметров ММ и использования ее в имитационной модели СПРД СОДУ.

Выявлено что структурные свойства решений СПРД в СОДУ шахты существенно влияют на время принятия эффективных решений диспетчерскими службами, в условиях проведения дополнительных организационно-технических мероприятий на участках ТП при этом вводится понятие актуальности принятия решений в СОДУ. Предложен способ определения выхода оборудования за недопустимые режимы работы на основе аппроксимации автокорреляционной функции с применением метода наименьших квадратов и задачи Райса, что позволило определить количество таких выходов и предотвратить простой оборудования шахты. На основе анализа режимов работы оборудования и установленной мощности электроприводов обоснованы и сформированы ограничения технико-экономических показателей ТП шахты, что позволило включить их в систему ограничений СПРД. Эффективность функционирования СПРД при учете конфигурации ТС, учета неравномерности процесса добычи полезных ископаемых, ограничений пропускной способности конвейерного транспорта, наличие в системе накопительных емкостей проверена с использованием вычислительного эксперимента на базе имитационной модели (ИМ).

Разработан программный комплекс, алгоритм и сформирована база данных для реализации модели расчетов графика нагрузок на лавы, который обеспечивает управление ТП добычи и транспортировки горной массы в условиях выполнения плановых показателей угольных шахт, а проведенный анализ с при-

менением вероятностного эксперимента, подтвердил эффективность примененной методики разработанной СПРД.

**Ключевые слова:** технологический процесс, система оперативного диспетчерского управления, система принятия решений диспетчером, математическая модель, время актуальности, система оперативного контроля, имитационная модель.

## ABSTRACT

Malienko A. V. – «Automation of coal mine scheduling processes based on decision-maker's decision-making system» – on the rights of the manuscript.

Dissertation on the competitions of graduate degree of candidate of engineering's sciences on specialty 05.13.07 – Automation of control processes. - National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, 2018.

The Thesis is devoted to the relevant and important scientific problem - improvement of coal mine scheduling process efficiency. The main purposes of the thesis are: construction of the model for calculation of stochastic relations between controlled parameters of the coal mine functioning, development of the mathematical model and operation algorithm of dispatcher's decision making system through optimization of scheduling process that involves technical and economical constrains as well as binding time determination.

In order to determine time moments when the equipment is beyond its appropriate operating modes, author proposed a method, based on the approximation of the autocorrelation function using the least squares method and the Rice problem. The method allows determining the number of such moments and preventing the mine equipment downtime.

The developed operation algorithms of the main technical processes and their implementation in the simulation model allow simulation of technical process for the coal mine of any complexity, taking into account the conveyor transport capacity, storage hoppers, the use of coal surface storage, in order to determine the cost-effective modes for the coal mine functioning.

The analysis, performed with the use of probabilistic experiment, allowed to confirm the efficiency of the applied methodology for the developed dispatcher's decision-making system. Moreover, the developed dispatcher's decision-making system allows to evaluate the management efficiency, reduce the time of decision-making and increase the validity of the decisions made by the dispatcher of coal mines when performing the planned indicators of the coal mine.

**Key words:** technological process, system of operative dispatch control, system of decision making by the controller, mathematical model, hopper drive, coal composition of the surface, operational control system, simulation model, calculation experiment.

МАЛІЄНКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ  
ШАХТ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

(Автореферат)

ФОП Михайлова М.Л.

Підписано до друку 27.04.18.

Формат 60×90/16. Папір офсет.

Цифровий друк. Ум. друк. арк. 0,9.

Обл. - вид. арк. 0,9 Тираж 100 прим. Зам. № 01-04.

ФОП Михайлова М.Л.

49094, м. Дніпро, вул. Мандриківська, 47.