

С.В. Козир, А.В. Малієнко, О.С. Мінеєв

**ВІЗУАЛЬНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПРОЦЕСУ ВИДОБУВАННЯ ВУГІЛЛЯ ІЗ ВРАХУВАННЯМ  
ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ**

*Анотація. Метою даної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи як основи процесів підтримки прийняття ефективних управлінських рішень на основі аналізу ключових техніко-економічних показників окремого гірничого підприємства. Розроблена модель процесу видобування вугілля у вибій з використанням програмного забезпечення IBM WebSphere Business Modeler версії 7.0, а також задіяно імітаційне моделювання для прогнозування добового навантаження (продуктивності) на очисний вибій у залежності від реального стану обладнання механізованого комплексу з вуглевидобутку та із врахуванням гірничо-геологічних умов. Запропонована автоматизована система прийняття ефективних управлінських рішень на відміну від відомих базується на сучасних унікальних експертних даних конкретного гірничого підприємства.*

*Ключові слова: імітаційна модель, динамічний аналіз, дані експертного прийняття рішень, процесно-орієнтований підхід.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що видобуток вугілля супроводжується безперервним процесом прийняття і реалізації рішень. Так, для дослідного вугільного підприємства, управління процесом керування відбувається в багаторівневій ієрархічній системі, що визначається організаційною структурою вугільної шахти та включає наступні основні підсистеми: «машиніст – виймальний комбайн», «виймальний комбайн – вугільний пласт», «гірник, зайнятий кріпленням вибію – механізоване кріплення», «механізоване кріплення – гірничий масив», «ланка ГРОВ – очисний комплекс», «бригадир (диспетчер) – ланка ГРОВ», «керівництво шахти – група високонавантажених лав». В такій системі частина інформації є повною, надійною і своєчасною, а частина інформації спотворюється та запізнюється. Ефективність роботи механізованих комплексів з вуглевидобутку залежить від своєчасної

прогнозованої корекції технологічних параметрів і технічного стану, адекватної зміни геотехнічної ситуації на видобувній дільниці [1]. Забезпечити повноту, своєчасність інформаційного відображення процесів, можливість їхнього аналізу та прогнозування пропонується шляхом застосування сучасних інформаційних технологій.

Навантаження на очисний вибій є найважливішим показником рівня технології, механізації виробничого процесу та організації праці, а також основних техніко-економічних показників, таких як продуктивність праці та собівартість вугілля, що видобувається [2].

Для оцінки впливу управлінських рішень на результати роботи підприємства проведено порівняльний аналіз планових та фактичних середньодобових показників навантаження на очисний вибій за 47 місяців однієї із шахт західного Донбасу (рис.1).

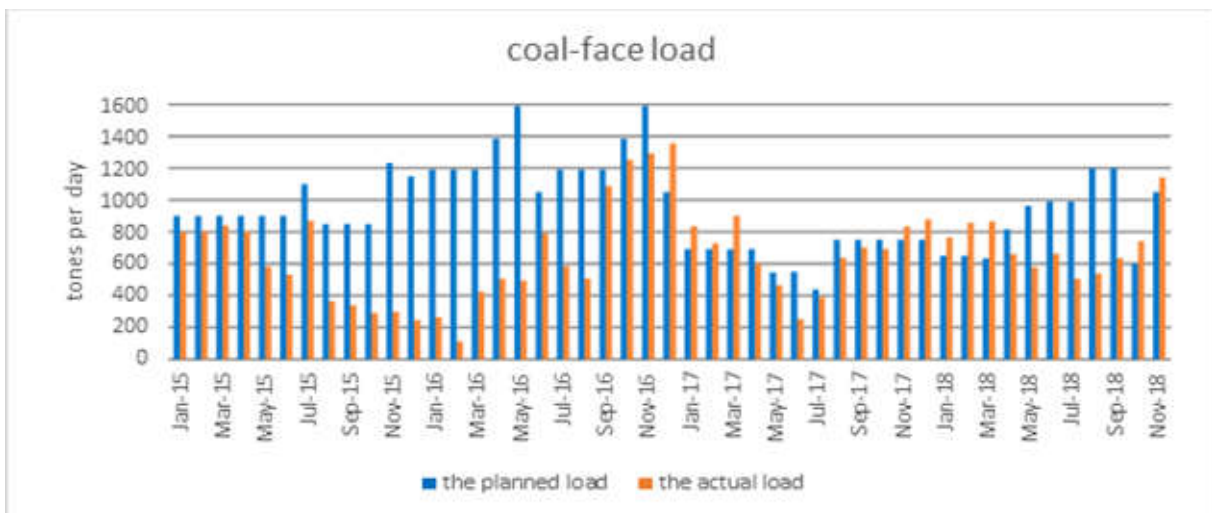


Рисунок 1 - Порівняльний аналіз планових та фактичних показників навантаження на очисний вибій

В результаті встановлено, що фактичне навантаження на очисний вибій від запланованого складає від 9,4% до 131%, до того ж протягом 12 місяців із 47 виконання планових показників не перевищувало 50%. Із чого витікає, що існуюча система управління процесом видобутку вугілля є мало ефективною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі підприємств вугільної промисловості досі переважає функціональний підхід до управління. Однак в функціонально-орієнтованих структурах ускладнена

взаємодія через вертикальну ієрархічність, що призводить до збільшення накладних витрат, збільшення строків прийняття управлінських рішень; – час взаємодії між підрозділами розподіляється таким чином: 20 % – на виконання роботи, 80 % – на передачу її результатів іншому співробітникові [3]. У випадку процесного підходу до опису й проектування бізнес-систем діяльність підприємства описується не через функції, а через свідомо формалізовані процеси діяльності. Під процесами розуміється цілеспрямована діяльність, що складається з послідовності робіт з переробки чітко визначених ресурсів у чітко визначені результати по заданих регламентах, обмежена в часі й просторі. У такий спосіб встановлюються межі процесів шляхом формалізації ресурсів і результатів діяльності. Кожен такий опис дає відповідь на стандартний набір запитань «4W»: «Хто? Що? Де? Як?». Концепція реінжинірингу бізнес-процесів вже здійснила й продовжує здійснювати революційний вплив. Успіх цього напрямку інтеграційної взаємодії бізнесу, менеджменту, сучасних інформаційних технологій підтверджується ефектом від його впровадження: 25-відсоткове зниження витрат після застосування на практиці цієї концепції відомими компаніями – Ford Motor, Kodak тощо, у США близько 21% компаній на цей час успішно використовують дані технології [4]. Недоліки функціонального підходу особливо гострі та актуальні в контексті структурної перебудови економіки України на засадах інноваційних підходів до менеджменту, мобілізації України на шляху інтеграції до Європейського Союзу. Над проблемою підвищення ефективності якості управління працювали Г. Г. Вендров, В. Г. Еліферов, Г.Н. Калянов, Р.А. Фатхутдінов, А.В. Шеєр та інші вчені. Проте процесно-орієнтований підхід та реінжиніринг досі не здобули застосування в роботі підприємств вугільної промисловості України.

Процесно-орієнтований підхід надає єдину лінію розвитку управління підприємством, що призводить до спрощення багаторівневих ієрархічних організаційних структур. Згідно з процесним підходом до управління [5] діяльність організації уявляється як потік процесів. Кожен процес повинен мати тільки одного власника або менеджера процесу,

наділеного необхідними ресурсами, правом приймати рішення й відповідати за його результат. Власником процесу видобування вугілля в комбайновій лаві може бути, наприклад, головний інженер. Коли право приймати рішення без узгодження в багаторівневій ієрархічній системі можливо буде на рівні головного інженера, то це призведе до формування горизонтальної системи управління та підвищить оперативність прийняття й реалізації рішень. Щоб забезпечити повноту, своєчасність інформаційного відображення процесів, можливість їхнього аналізу та прогнозування доцільно застосування сучасних інформаційних технологій. Тому впровадження комп'ютерно-інтегрованих систем прийняття управлінських рішень та використання управління на основі бізнес-процесів підприємств вугільної промисловості є актуальною задачею.

**Мета дослідження.** Метою даної роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи як основи процесів підтримки прийняття ефективних управлінських рішень. Задачею є розробка моделі процесу видобування вугілля у вибії з використанням програмного забезпечення IBM WebSphere Business Modeler версії 7.0, а також імітаційне моделювання для прогнозування добового навантаження (продуктивності) на очисній вибій у залежності від реального стану обладнання механізованого комплексу з вуглевидобутку та із врахуванням гірничо-геологічних умов.

**Візуальне та імітаційне моделювання при впровадженні процесно-орієнтованого підходу для управління конкретним гірничим підприємством.** Використання програмних інструментальних методів сучасного імітаційного моделювання дозволяє створювати повноцінні працюючі віртуальні моделі бізнес-процесів з управлінням командами природної бізнесової мови і які мають можливість моделювання роботи системи у режимі реального часу, з графічним відображенням значної кількості економічних індикаторів та автоматичному контролю всіх важливих показників.

В якості прикладу застосування інформаційного моделювання обрано технології [6], які мають можливість змінювати динаміку бізнес-

процесів в умовах гетерогенності систем і середовищ. Зараз такими технологіями вважаються бізнес-застосування на основі сервіс - орієнтованої архітектури, яка забезпечує відкриту нейтральну технологічну модель реалізації в термінах бізнес-функцій. Вона пропонує моделі зборки бізнес-процесів з набору окремих бізнес-сервісів, які надають можливість представляти бізнес-логіку у вигляді компонентів повторного використання і можуть бути легко інтегровані в складне композитне бізнес-рішення. Точне представлення бізнес-процесів (БП) можливо за умов створення адекватної моделі і дослідження поведінки цієї моделі в різних умовах. Для структурного опису складу завдань бізнес-процесу проведено обстеження організації та технології ведення очисних робіт в лаві окремої шахти західного Донбасу [7].

Для того щоб змодельювати бізнес-процес в середовищі WebSphere Business Modeler [8], необхідно створити діаграму процесу, в яку можна включити операції(завдання), з'єднання та бізнес-елементи. Визначаються завдання процесу (профілактичний огляд комбайна, перевірка ступеня зношення різців комбайна та їх заміна, виймання вугілля, навантажування вугілля на конвеєр), бізнес-об'єкти (завдання видобутку вугілля за один цикл виймання вугільним комбайном, вугілля відбите комбайном, вугілля навантажене на конвеєр) , ресурси (машиніст комбайна, помічник машиніста комбайна, черговий електрослюсар, ланка гірничих робітників очисного вибію (ГРОВ), гірники, механік пневматичної установки, комбайн РКУ-13, штрековий конвеєр СП-26у,) з розкладом їх використання (2-4 зміни з видобутку) [9].

Оскільки на швидкість просування очисного вибію значно впливає газовий фактор, а за відсутності газу в шахті добове навантаження на очисний вибій визначається із врахуванням гірничо-геологічних умов і організаційних факторів [2], то для імітаційного відтворення очисного вибію виникає необхідність врахування такої складової як гірничо-геологічні умови. Задля цієї мети попередню імітаційну модель [9] доповнено операцією «Verification of mining geological conditions» та рішенням «Mining geological conditions» (рис.2.).

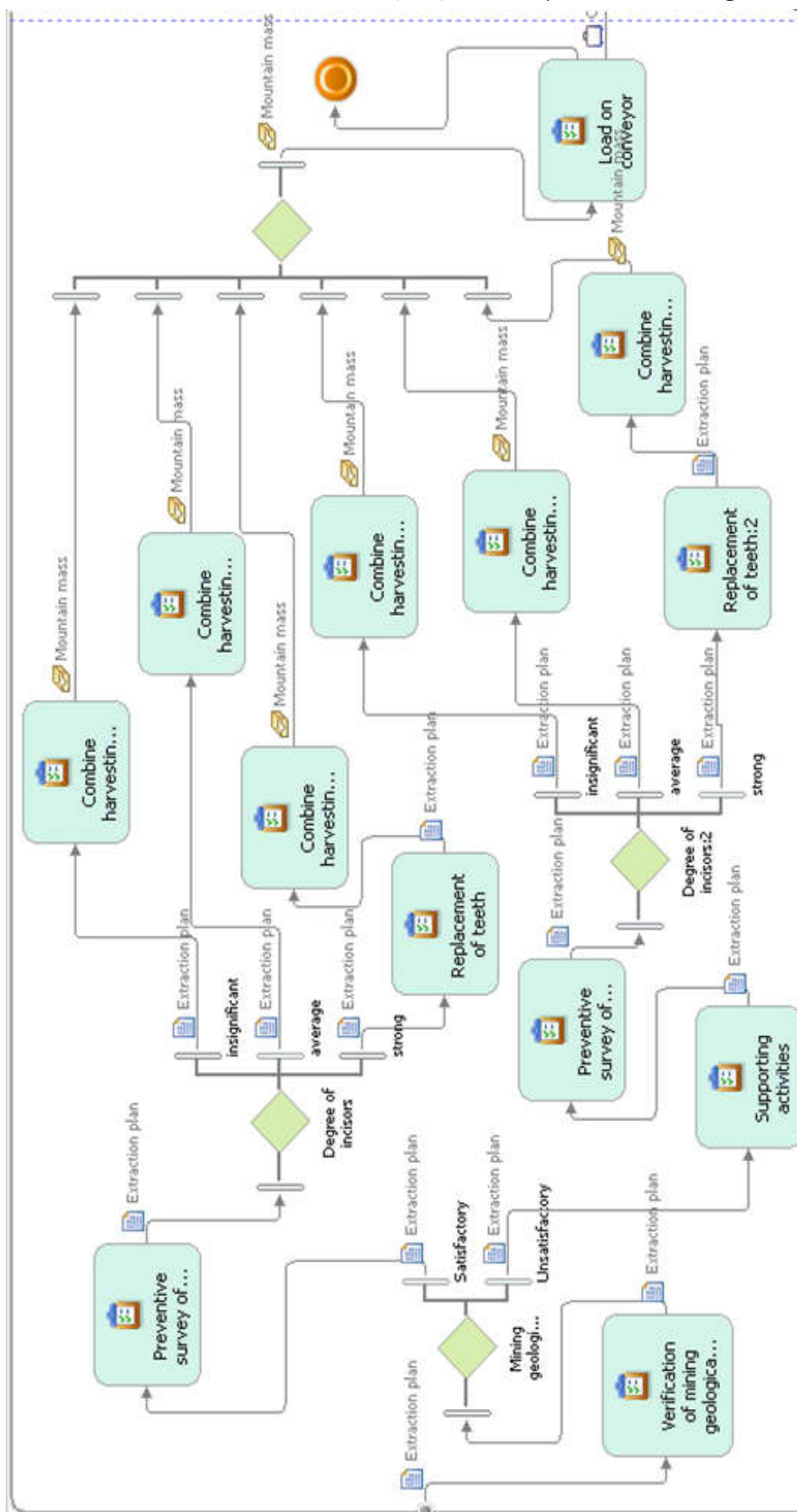


Рис. 2. Модель бізнес-процесу "Видобування вугілля" із врахуванням гірничо-геологічних умов

Зауважимо, що рішення «Mining geological conditions» має такі виходи : «Satisfactory» та «Unsatisfactory», які і відповідають задовільним та незадовільним гірничо-геологічним умовам. У випадку «Unsatisfactory» перед перевіркою стану обладнання в модель додано також операцію «Supporting activities», що означає – спеціальні допоміжні роботи у якості яких може бути встановлення допоміжного кріплення та інше.

В залежності від часу, що витрачається на ці допоміжні роботи, в атрибутах операції «Supporting activities» можна задати відповідний час. Таким чином в залежності від реальних гірничо-геологічних умов перед запуском кожної імітації можна змінювати атрибути операції «Supporting activities», що і будуть відповідати часу, що витрачається на ці допоміжні роботи.

У параметрах створення вхідних даних для імітації слід зазначити загальну кількість маркерів, тобто загальну кількість циклів, що може пройти вугільний комбайн за добу, яка буде створена в процесі виконання імітації (в даному випадку не більше 4 циклів за одну добу) та періодичність створення даних маркерів.

За сценарієм моделювання середній обсяг видобутку вугілля за один цикл роботи комбайна задається в атрибутах операції «Combine harvester» та може бути розподілений за різними законами – нормальним, рівномірним та експоненціальним та іншими. Перевірку на нормальність розподілу середньодобового видобутку вугілля здійснено за допомогою формального тесту Шапіро-Вілка.(рис.3)

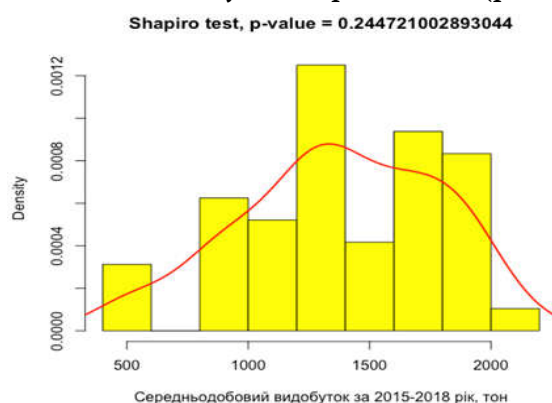


Рисунок 3 - Гістограма щільності розподілу ймовірностей тесту Шапіро-Вілка



Так для рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , набір даних з р-значенням 0,2447 не відхиляє нульову гіпотезу, про те що дані розподілені нормально. З погляду на реальний стан обладнання, що відповідав листопаду 2018 року, перед запуском імітації були змінені атрибути рішення «Degree of incisors»: "insignificant" – 60%; "average" – 38%; "strong" – 2%.

У WebSphere Business Modeler передбачено в інтерактивному режимі аналізувати результати моделювання. Динамічний аналіз (функція Dynamic Analysis) видає статистику за всіма прецедентами (варіантами виконання) процесу імітації. Даний звіт (рис.4) містить вичерпну інформацію про результати імітації процесу "Видобування вугілля" з огляду на прецеденти, їх операції, використання ресурсів, середні та загальні тривалості кожної операції, а також їх продуктивність. В нашому випадку продуктивність вказана в RUB( такі внутрішні можливості інструментарію Business Modeler), але потрібно мати на увазі, що це є обсяги видобутку вугілля в тонах.

Имя прецедента	Название операции	Имя ресурса ...	Средний доход	Общая продолжи...	Числ...	Расп...	Успе...
▸ Прецедент 1			838,06 RUB	часов: 5; минут: 15	1	25,00%	Выпол...
▾ Прецедент 2			1 062,34 RUB	часов: 16; минут: 9	3	75,00%	Выпол...
▸	Coal mining proces...		1 062,34 RUB	часов: 16; минут: 9	3		
▾	Combine harvesting...		1 062,34 RUB	часов: 10; минут: 9	3		
		Mining workers... combine RCU-13					
▸	Degree of incisors		0,00 RUB	секунд: 0	3		
▸	Load on conveyor		0,00 RUB	часов: 1 минут: 30	3		
▸	Mining geological c...		0,00 RUB	секунд: 0	3		
▸	Preventive survey of...		0,00 RUB	часов: 1 минут: 30	3		
▸	Replacement of teeth		0,00 RUB	часов: 1 минут: 30	3		
▸	Verification of mini...		0,00 RUB	часов: 1 минут: 30	3		
▸	Слияние		0,00 RUB	секунд: 0	3		
Все прецедент			1 006,27 RUB	часов: 21; минут: 24	4	100,00%	

Рисунок 4 - Аналіз загальних відомостей про прецеденти процесу для імітації із врахуванням гірничо-геологічних умов

З аналізу видно, що у випадку ускладнених гірничо-геологічних умов розвивався сценарій згідно другого прецеденту, де комбайн «пройшов» 3 цикли з видобування за 16 годин і 9 хвилин. Звертаємо увагу, що витрати часу на 4 цикли склали 21 годину і 24 хвилини. Тобто



за складних гірничо-геологічних умов за добу комбайн не проходить заплановані 4 цикли.

На базі звіту про результати імітації процесу "Видобування вугілля із врахуванням гірничо-геологічних умов" можна зробити такий висновок: за три зміни видобування вугілля з врахуванням ймовірностей стану обладнання, що задавалися експертами в якості яких виступали машиніст комбайна та головний інженер та із врахуванням гірничо-геологічних умов, заданим згідно геологічної розвідки для листопада 2018, протягом 18 годин обсяг видобутку склав 1062 тони. Згідно до статистичних даних в листопаді 2018 року середньодобове навантаження складало 1105 тон. Таким чином точність імітаційного моделювання склала 97, 2 %. Тобто, якщо врахувати ускладнені гірничо-геологічні умови в імітаційній моделі, то дійсно результати імітаційного моделювання значно краще описують реальні умови видобування вугілля в умовах конкретної шахти . Все це дозволить приблизити прогнозування завдяки створеній імітаційній моделі адаптованої до конкретних умов окремого гірничого виробництва і приведе до підвищення оперативності прийняття й реалізації управлінських рішень і, як наслідок – зумовить зростання продуктивності вуглевидобутку.

Висновки. Впровадження візуального та імітаційного моделювання процесу видобування вугілля у вибіях дозволяє:

– об'єктивно оцінювати показники обсягів видобутку в залежності від стану обладнання механізованого комплексу з видобутку;

– оперативно корегувати кількість запасних частин вугледобувного обладнання, що підвищить продуктивність вуглевидобутку;

– враховувати ускладнені гірничо-геологічні умови в імітаційній моделі та приблизити прогнозування завдяки створеній імітаційній моделі адаптованої до конкретних умов окремого гірничого виробництва;

– за рахунок зменшення кількості ОПП в ланцюзі прийняття рішень та чіткого розподілу відповідальності між ними зменшується кількість помилок та підвищується оперативність прийняття й реалізації

управлінських рішень і, як наслідок - зумовить зростання продуктивності вуглевидобутку

#### ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. “Наукові принципи імітаційного моделювання інтегрованих систем технічного планування інтенсифікації гірничих робіт”: Research Report (Final.) / State HEI «NMU»; Scientific Research Work on the Contract GP-406/ №0107U000383 from 10.12.2008. – Dnepropetrovsk, 2008. – 147, pict.
2. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов /Бондаренко В.И., Кузьменко А.М., Грядущий Ю.Б и др. – Днепропетровск, 2003. – 708 с.
3. Плешу Г. Управлінські інновації як головний чинник реструктуризації підприємств – суб’єктів зовнішньоекономічної діяльності // Г. Плешу, С.С. Шаповал, Г.С. Фоменко // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – Вып. 1(31). – С. 193-198.
4. Юркевич Я. Теорія для практики BPRevolution / Я. Юркевич // Менеджмент и менеджер. – 2003. – №7.
5. Слесарев В.В. Процессный підхід до управління вугледобувними підприємствами / В.В. Слесарев, С.В. Козир // Сборник научных трудов международной конференции «Современные информационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2017». – Д.: НГУ, 2017. – С. 475 – 480.
6. Business Process Management Initiative: <http://www.bpmi.org/>
7. Козир С.В. Моделювання процесів видобування вугілля в комбайновій лаві / С.В. Козир, А.В. Малієнко // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2017. – № 99. – С. 29–33.
8. Создание бизнес-процесса с помощью инструментов Rational и WebSphere / П. Свитинбенк, Х. Бадави и др. ; пер. англ. – М. : КУДИЦ-Образ, 2007. – 480 с
9. S.V. Kozyr. Simulation modeling for forecasting daily load of the coal face / S.V. Kozyr, O.P. Kupenko // Mechanics, Materials Science & Engineering Journal – 2018. – Vol. 16. – ISSN 2412-5954 / DOI 10.2412/mmse.51.62.826

#### REFERENCES

1. "Scientific principles of simulation of integrated systems of technical planning of mining intensification": Research Report (Final.), State HEI «NMU», Scientific Research Work on the Contract GP-406/ №0107U000383 from 10.12.2008. – Dnepropetrovsk, 2008. – 147 p. (in Russian)
2. Bondarenko V.I., Kuzmenko A.M., Gryaduschy Yu.B, et al.; Technology of underground mining of reservoirs of minerals: Textbook for high - Dnepropetrovsk, 2003. - 708 p. (in Russian)

3. G. Pleshu, S.S. Shapoval, G.S. Fomenko Management Innovations as the Main Factor for the Restructuring of Enterprises - Subjects of Foreign Economic Activity, Proceedings of the Odessa Polytechnic University. – 2009. - Issue 1 (31), 193-198. (in Russian)
4. Yurkevich Ya. Theory for practice BPR evolution in Management and manager. – 2003. – №7. (in Russian)
5. Slesarev V.V., Kozyr S.V. Process approach to the management of coal-mining enterprises. In Collection of scientific works of the international conference "Modern information technologies for training engineers for mining industry and transport-2017". – Dnipro, 2017, 475-480. (in Ukrainian)
6. Business Process Management Initiative: <http://www.bpmi.org/>
7. S.V. Kozyr, A.V. Malienko Simulation of coal mining processes in combine lava, National Mining University. Scientific and technical collection. Mining electromechanics and automatics. – Issue No. 99. – Dnipro. – 2017. (in Ukrainian)
8. P. Sweetbunk, H. Badawi, et al. Creating a business process using Rational and WebSphere – Moskow: KUDITS-Image, 2007. – 480 p.
9. S.V. Kozyr. Simulation modeling for forecasting daily load of the coal face / S.V. Kozyr, O.P. Kупenko // Mechanics, Materials Science & Engineering Journal – 2018. – Vol. 16. – ISSN 2412-5954 / DOI 10.2412/mmse.51.62.826

Received 28.10.2019.

Accepted 06.11.2019.

***Визуальное и имитационное моделирование процессов добычи угля  
с учетом горно-геологических условий***

*Целью данной работы является разработка компьютерно-интегрированной системы как основы процессов поддержки принятия эффективных управленческих решений на основе анализа ключевых технико-экономических показателей отдельного горного предприятия. Разработана модель процесса добычи угля в забой с использованием программного обеспечения IBM WebSphere Business Modeler версии 7.0, а также задействовано имитационное моделирование для прогнозирования суточной нагрузки (производительности) на очистной забой в зависимости от реального состояния оборудования механизированного комплекса по угледобыче и с учетом горно-геологических условий. Предложенная автоматизированная система принятия эффективных управленческих решений в отличие от известных базируется на современных уникальных экспертных данных конкретного горного предприятия.*

***Visual and simulation modeling of coal mining processes taking into account  
mining and geological conditions***

*The efficiency of the coal mining mechanized complexes depends on timely predicted correction of technological parameters and technical conditions, an adequate change in the geomechanical situation at the mining site. We propose to ensure the completeness, timeliness of informational reflection of processes, the possibility of their analysis and forecasting, through the use of modern information technologies. Therefore, the development of computer-integrated decision-making systems for adoption of managerial decisions and scenarios for simulation is, by no means, an important area of research. Using WebSphere Business Modeler, business process*

*templates were developed for "Coal mining", a process simulation, scenarios simulation and a dynamic analysis of simulation results were obtained.*

*The proposed business process template "Coal mining" is practical and can be used by the chief engineer to predict the daily burden of cleansing. It is possible to take into account expert knowledge before launching each simulation, altering the probability of Mining geological conditions, which correspond to satisfactory and unsatisfactory geological conditions, and «Degree of incisors», which are responsible for the incisors of the combine harvester. It is also possible to set the number of cycles that can pass the coal harvester per day, which will be created in the process of performing simulation*

*The use of developed simulation models for the coal mining process allows us to: make objective evaluation of the daily load (productivity) of the coal-face, depending on the actual state of the equipment of the mechanized complex; correct the quantity of spare parts of coal-mining equipment and carry out its repair, which can significantly reduce unplanned downtime and consequently increase the mining productivity; reduction of decision-makers number as well as the clear distribution of responsibilities between them, reduces the number of errors and improves the manageability of the mining enterprise.*

*The proposed automated system for an effective managerial decision-making, unlike those known in the literature, is based on modern unique expert data of a particular mining enterprise.*

**Козир Світлана Василівна** – асистент кафедри системного аналізу і управління, Національний ТУ «Дніпровська політехніка»

**Малієнко Андрій Вікторович** – доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний ТУ «Дніпровська політехніка».

**Мінеєв Олександр Сергійович** – доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний ТУ «Дніпровська політехніка».

**Козырь Светлана Васильевна** – ассистент кафедры системного анализа и управления, Национальный ТУ «Днепровская политехника».

**Малиенко Андрей Викторович** – доцент кафедры системного анализа и управления, Национальный ТУ «Днепровская политехника».

**Минеев Александр Сергеевич** – доцент кафедры системного анализа и управления Национальный ТУ «Днепровская политехника».

**Kozyr Svitlana** – Assistant Professor of the Department of System Analysis and Control, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, Ukraine.

**Malienko Andriy** – Associate Professor of the Department of System Analysis and Control, , National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, Ukraine.

**Minieiev Oleksandr** – Associate Professor of the Department of System Analysis and Control, , National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, Ukraine.