

УДК 658.012: 681.3.07

**Попов Станіслав Олегович**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики і управління проектами ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

**Єріна Ольга Олександрівна**

Аспірантка кафедри економічної кібернетики і управління проектами ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

**Попрожок Олена Олегівна**

Аспірантка кафедри економічної кібернетики і управління проектами, [orcid.org/0000-0003-4919-7273](https://orcid.org/0000-0003-4919-7273) ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

## МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ЗІ СКЛАДНОЮ СТРУКТУРОЮ У ГІРНИЧОДОБУВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Анотація.* У проектно-орієнтованій діяльності підприємств залізорудної гірничодобувної промисловості має місце актуальна проблема, яка полягає у гострій необхідності створення проблемно-орієнтованих інформаційних систем, які дозволяють формувати повноструктурні моделі промислових проектів зі всіма елементами, які необхідні для розробки оптимального плану реалізації проектів (виконання робіт проектів), формувати плани ресурсного забезпечення їх реалізації і контролю ходу виконання проектів. Для розв'язання цієї проблеми авторами запропоновано новий підхід до розробки проблемно-орієнтованих інформаційних систем управління проектами. Цей підхід базується на розробці комплексного програмно-апаратного забезпечення систем моделювання проектів. Такий підхід ґрунтується на поділенні задач, які мають бути розв'язані під час підготовки проекту, за ступенем їх складності і необхідних ресурсів комп'ютерів для їх вирішення між програмними і апаратними модулями. Модульна побудова цієї системи суттєво підвищить швидкість розв'язання складних задач професійного спрямування за рахунок більш раціонального розподілу ресурсів системи між задачами, що розв'язуються. Авторами розроблено підхід до декомпозиції функцій систем управління проектами у плані створення їх програмної і апаратної частин. Розроблено алгоритм для визначення оптимальної структури і характеристик програмно-апаратного забезпечення системи управління проектами. Вказані підходи формують методологічну основу для розробки інформаційних систем управління складними за структурою проектами у галузі залізорудного гірничодобувного виробництва і надають можливість практичної розробки таких систем з корпоративним рівнем користування.

**Ключові слова:** методологія; комп'ютерні системи; моделювання; управління проектами; складна структура; гірничодобувне виробництво

### Постановка проблеми

Однією з характерних особливостей сучасного етапу розвитку науково-практичного напрямку «Управління проектами» є інтенсивна розробка різноманітних комп'ютерних систем, спрямованих на автоматизацію функцій управління проектами [1].

Найбільш відомими серед таких систем є: Microsoft Project, PERT, Project Server, Advanta, CPM, Project Expert, Prima Ware, Turbo Planer та ін.

Всі ці системи реалізують переважно три функції управління проектами, а саме: розробка плану виконання робіт проекту, планування ресурсного забезпечення проекту, контроль

відповідності фактичних обсягів виконання робіт проекту їх запланованим величинам.

Базовим об'єктом у цих системах, який саме і надає можливість виконання вказаних функцій, є модель проекту [2]. Під поняттям «модель проекту» розуміють структуру у вигляді сітьового графіка та графіка Ганта, які відображають технологічну послідовність виконання робіт проекту з їх взаємозв'язками, а також комплекс параметрів, що описують сіть і графік, та характеризують роботи проекту і цей проект в цілому з різних боків (технічної, економічної, організаційної).

Необхідно відмітити, що за характером базових інструментів, які мають у своєму складі ці системи,

вказаними функціями їх роль у процесі управління проектами і завершується, хоча ці функції є дуже важливими і обов'язково повинні реалізуватись.

Разом з цим слід відмітити, що у деяких найбільш розвинутих з цих систем врахований ще один важливий аспект, який стосується побудови моделі проекту. Цей аспект полягає у такому. Для того щоб розробити повноструктурну модель будь-якого проекту необхідно насамперед розв'язати достатньо велику кількість задач з визначення характеристик і параметрів робіт проекту. До таких задач належать: визначення складу робіт проекту, вибір технологічних, технічних, організаційних рішень з виконання цих робіт, визначення їх технологічних, технічних, економічних, організаційних параметрів, оптимізація цих параметрів. Тільки на основі результатів розв'язання цих задач можна розробити оптимальний план реалізації проекту і належним чином організувати процес контролю його виконання. Обсяг витрат праці і часу на розв'язання цих задач може суттєво перевищувати їх обсяг на розробку плану проекту, плану ресурсного забезпечення і контролю його виконання.

Необхідно також відмітити, що роботи будь-якого проекту завжди носять чітко виражений галузевий характер. Цей характер визначається специфікою професійної сфери (галузі), у якій буде реалізовуватись проект, і предметною спрямованістю проекту у рамках цієї галузі. Ця спрямованість визначається конкретною метою розробки і реалізації проекту.

Описаний аспект ураховується у цих інформаційних системах за рахунок того, що їх розробники передбачили так звану відкриту конфігурацію цих систем. Така конфігурація дозволяє самим користувачам розробляти і вбудовувати в структуру цих систем свої програмні і апаратні модулі, розробляти інтерфейс цих модулів і ув'язувати їх роботу з роботою всієї системи, ґрунтуючись на правилах, методах, підходах до розв'язання задач конкретної професійної сфери.

Додаткові програмні модулі містять програми для розв'язання задач, характерних для цієї сфери, а апаратні модулі створюються для розв'язання задач специфічного характеру, наприклад, задач особливо високої складності, розв'язання яких потребує залучення надто значних ресурсів комп'ютерів, що утруднює роботу інших його систем. Це задачі 3D динамічного моделювання, скінченних елементів з високою деталізацією, метод граничних елементів, багатокритеріальна оптимізація, різні методи логіко-математичного пошуку зі складними критеріями вибору рішень тощо. Спеціалізовані апаратні модулі забезпечують можливість розв'язання таких задач шляхом організації паралельних розрахунків навіть

на комп'ютерах з відносно невисокими ресурсними характеристиками за швидкістю роботи, обсягами пам'яті, швидкістю передачі інформації. Це суттєво знижує вартість таких інформаційних систем при їх значних можливостях. Апаратні модулі розробляються на основі мікроконтролерної та мікропроцесорної техніки і підключаються до комп'ютерів через порти вводу/виводу інформації.

Цілком зрозуміло, що для розробки таких систем і виконання вказаних функцій, їх користувач має бути відповідно підготовлений у сферах конкретної професійної діяльності (галузі), програмування, комп'ютерної техніки і знати до тонкощів внутрішні аспекти роботи цих систем, або має бути створена команда із таких спеціалістів.

Відкрита конфігурація інформаційних систем управління проектами надає можливості розробки на їх основі потужних проблемно-орієнтованих програмно-апаратних комплексів управління проектами галузевого спрямування з корпоративним характером використання [3]. Такі системи спроможні обслуговувати потреби цілих галузей економіки і промисловості, корпорацій, компаній, крупних фірм, діяльність яких носить проектно-орієнтований характер у рамках певних галузей.

Актуальність розробки таких інформаційних систем для цих структур стоїть особливо гостро при реалізації ними специфічного виду проектів, так званих «промислових проектів». Цей вид проектів характеризується: підвищеною складністю структури, значними термінами реалізації і обсягами фінансових витрат на їх реалізацію. Разом із цим такі проекти забезпечують і отримання великих прибутків, особливо у разі реалізації в них інноваційних, технологічних, технічних та організаційних рішень.

До галузей, для яких характерні такі проекти належать: кораблебудування, космічне машинобудування, промислове будівництво, гірничодобувне виробництво, ремонтне виробництво та інші.

Однією з галузей промисловості України, для якої можливості таких систем являють особливий інтерес, є залізрудна гірничодобувна промисловість з підземним способом розробки родовищ залізних руд і компанії, які працюють у цій галузі. Діяльність підприємств цієї галузі має яскраво виражений проектно-орієнтований характер. При цьому вони реалізують складні проекти корпоративного характеру, до розробки та реалізації яких можуть залучатись декілька установ і підприємств.

Моделі таких проектів потребують високої деталізації, точності розрахунків, урахування жорстких правил безпеки гірничодобувного виробництва, які накладають суттєві обмеження на параметри робіт, їх технічні та економічні

характеристики, урахування специфічних ризиків проєктів гірничодобувного виробництва і потребують особливих підходів до планування робіт і контролю ходу їх виконання.

Відповідно, першою і найбільш важливою проблемою, яка виникає при створенні таких систем для вказаної галузі, є необхідність розробки відповідної методології формування систем управління проєктами корпоративного характеру і розробки моделей проєктів з можливостями розв'язання всього комплексу технологічних, технічних, економічних та організаційно-управлінських задач.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз літературних джерел з описаної проблеми показав, що публікацій з основ розробки автоматизованих систем управління проєктам дуже мало. Всі літературні джерела з даної проблематики описують не методологічні основи побудови таких систем, а їх технічні можливості і порядок використання для розв'язання конкретних проєктних задач. Таким чином, принципова основа побудови таких систем схована від користувача, але вона і не являє для нього інтересу. Однак для фахівців з ІТ-технологій, які безпосередньо займаються розробкою таких систем для автоматизації управління проєктами, ці основи є першорядними.

### **Мета статті**

Відповідно до вищевикладеного, авторами були виконані дослідження і розробки з метою формування методологічних основ створення автоматизованих систем, які надають можливість моделювання проєктів зі структурою підвищеної складності і контролю їх реалізації за наявності жорстких обмежень технічного та організаційного характеру, орієнтованих на конкретну галузь промисловості, у даному разі на залізорудну гірничодобувну промисловість. Основні результати цих досліджень наведені далі.

### **Викладення основного матеріалу**

Перед викладенням суті авторських розробок за темою роботи, необхідно, насамперед, надати певні роз'яснення стосовно специфіки виробничої діяльності залізорудної гірничодобувної промисловості України з підземним способом розробки родовищ залізних руд, яка визначає проєктно-орієнтований характер функціонування її підприємств і відповідний напрям розробок авторів.

Масштаби залізорудного гірничодобувного виробництва в Україні є значними. За продуктивністю ця промисловість посідає 7 місце у світі серед 16

світових лідерів, а взагалі розробка залізних руд здійснюється більш ніж у 60 країнах світу. За обсягами запасів цих руд Україна посідає 2 місце у світі (14% світових запасів) з 94 країн, у яких розвідані їх родовища.

До 20-25% товарних видів залізорудної продукції в Україні виробляється із застосуванням підземного способу розробки запасів цих руд. Специфіка геологічних умов залягання цих запасів, гірничотехнічних умов їх розробки, технологія видобутку руди і особливості організації виробничого процесу на підземних залізорудних гірничодобувних підприємствах визначають те, що функціонування залізорудних шахт має яскраво виражений проєктно-орієнтований характер [4].

Проєктна орієнтація діяльності цих шахт полягає у такому. Для стороннього спостерігача процес видачі руди з шахти виглядає як поточний майже безперервний потік рудної маси, видобутої з надр. За рік одна залізорудна шахта видає 1,0-3,0 млн т рудної маси і до 100-300 тис.т пустих порід. Рудна маса видобувається у виймальних одиницях (добувних блоках/панелях). Процес її видобутку у виймальних одиницях вкрай неритмічний зі значними часовими лагами, у період яких руда зовсім не видобувається, а виконуються інші роботи. Перед вийманням руди в цих одиницях виконується комплекс підготовчих і нарізних гірничих робіт та робіт з монтажу добувних і допоміжного обладнання, при цьому попутно вилучається певна частина їх запасу. Після повного відпрацювання запасу виймальних одиниць виконується комплекс робіт із закриття (ліквідації) блоків/панелей. В комплексі весь процес від початку підготовчих робіт до моменту закриття блоку/панелі і представляє проєкт відпрацювання запасу виймальної одиниці.

Добувні блоки/панелі являють собою самостійні виробничі об'єкти, яких одночасно у шахтному полі функціонує до 15-20 на різних стадіях їх життєвого циклу. На кожний такий блок/панель розробляється окремий проєкт (проєктна документація) з визначенням всіх параметрів і характеристик, регламентованих правилами підготовки проєктної документації [5]. Необхідність розробки окремих таких проєктів обумовлюється унікальністю умов, у яких будуються і функціонують виймальні одиниці, що відповідно впливає на їх характеристики, параметри і управління реалізацією проєктів. Тривалість життєвого циклу блоку/панелі залежно від запасу руди в них, технології відпрацювання запасу і продуктивності розробки та ряду інших умов складає від 9 місяців до 5 років.

Поточний режим видачі видобутої рудної маси з комплексу таких виймальних одиниць,

забезпечується шляхом такої організації їх сумісного функціонування у часі і просторі, та роботи підземних об'єктів, що забезпечують їх функціонування, яка формує майже безперервну видачу рудної маси з мінімальними коливаннями інтенсивності потоку. Згідно із цим виробничий процес на залізорудній шахті характеризується складною структурою, одночасною роботою і підготовкою до роботи, закриттям багатьох виробничих об'єктів різних видів та постійною заміною новими виймальними одиницями, робота яких повинна чітко взаємоув'язуватись і збалансовуватись. Цей процес є багатостадійним, багатостадійним, має значну кількість підпроцесів, потребує виконання великої кількості гірничих робіт різних видів і технологічних операцій. Всі вони характеризуються скінченністю виконання, тобто мають чітко визначені тривалість і терміни виконання. Після їх виконання об'єкт, у якому вони здійснювались, як правило припиняє своє існування. При цьому кожний такий об'єкт не може бути просто покинутий. Його ліквідація або консервація потребує реалізації певних заходів і виконання спеціальних робіт, які передбачаються у кожному конкретному проекті такого об'єкта.

Всі періоди, етапи, стадії виробництва на шахті за їх ієрархічною структурою (від початку розробки родовища до вичерпання його запасів та припинення розробки) виконуються шляхом реалізації цілої низки взаємопов'язаних проектів різних видів, тобто одні проекти більш високого рівня і послідовності реалізації включають виконання низки проектів нижчого рівня та іншого характеру. За ієрархічною послідовністю реалізації ці проекти поділяються на: проекти розкриття і відпрацювання запасів родовищ; проекти розкриття, підготовки і відпрацювання запасів ярусів та поверхів шахт; проекти нарізання і розробки запасів виймальних одиниць; проекти будівництва різних підземних об'єктів (виробок, камер, складів, гаражів, руддворів тощо).

Крім того, на залізорудних шахтах реалізується значна кількість проектів із забезпечення їх роботи при поступовій зміні умов функціонування, тобто всі шахти знаходяться у режимі постійного і безперервного будівництва зі створенням все нових більш глибоких горизонтів, з поглибленням стволів шахт, реконструкцією, модернізацією, переоснащенням засобами механізації, ремонтами і на кожний з них розробляється окремий проект.

Таким чином шахта являє собою динамічну систему, яка постійно розвивається шляхом послідовної реалізації проектів різного рівня і призначення на різних стадіях її функціонування.

Всі ці проекти є унікальними і умови, у яких вони реалізуються ніколи не повторюються за

геологією, гідрогеологією, гірничотехнічними і геофізичними характеристиками різних ділянок шахтного поля, технологічними схемами розробки, умовами на земній поверхні і навіть економічними умовами. Ці умови характеризуються підвищеною складністю, небезпечністю і ризикованістю як у технічному плані, так і в економічному.

Особливо слід вказати, що ці умови є нестабільними і включають значну частину факторів, які мають стохастичний характер. В результаті цього їх параметри складно точно визначати і прогнозувати їх зміни у часі. Це відповідним чином впливає на надійність проектних рішень і обумовлює високу ризикованість проектів гірничодобувного виробництва [6].

Ще однією особливістю цих проектів є те, що сам виробничий процес, тобто процес видобутку руди, є складовою структури робіт проектів виробничого характеру. Тобто, життєвий цикл такого проекту починається з підготовки до виймання певного запасу руди (запасу родовища, ярусу, поверху, добувного блока/панелі), продовжується весь період виймання руди з надр і закінчується тільки на етапі вичерпання її запасу. Наприклад, життєвий цикл проекту розкриття і відпрацювання запасу родовища починається з моменту початку розробки проектною документацією і закінчується тоді, коли буде досягнутий останній найнижчий горизонт шахти і при цьому весь запас родовища вже буде відпрацьований. Між цими моментами проходять декілька десятків років. Це ж стосується і проектів розкриття ярусів, підготовки поверхів і особливо проектів відпрацювання запасів добувних блоків, про що вже було вище сказано.

Особливістю проектів сфери гірничодобувного виробництва є наявність у них великої кількості, так званих, робіт підвищеної важливості (РПВ). РПВ – це роботи у загальній схемі робіт проекту, до виконання яких висувуються особливо жорсткі вимоги, а саме їх виконання необхідне у точно задані терміни і із точно заданою тривалістю, не залежно від масштабу цих робіт у загальній організаційній схемі проекту. Недотримання цих вимог не може бути компенсовано іншими заходами і призводить до неможливості реалізації проекту в цілому. Вказана ситуація може бути обумовлена такими причинами: особливою роллю об'єкта, який створюється при виконанні РПВ для забезпечення технічної можливості виконання певного комплексу робіт, які слідують за даною роботою; умовами виконання певних процесів у проекті, які мають обмеження за припустимими строками виконання і змінити ці строки неможливо з причин незалежних від людини; жорстким обмеженням часу існування об'єкта, який створюється при виконанні РПВ за гірничотехнічними умовами його розташування.

Будь-які негаразди під час виконання РПВ можуть призводити до загрози виникнення аварійних ситуацій і навіть техногенних катастроф.

РПВ часто є елементами критичного шляху у сітвовій моделі проекту, але і не завжди. Проекти такого типу потребують особливо точного збалансування всіх тривалостей і термінів виконання всіх робіт, суворого дотримання необхідних темпів їх виконання і точного планування на кожному кроці розробки проекту. Для цього особливо важливими є надійний вибір відповідної технології виконання робіт, засобів їх механізації, режиму виконання, ресурсного забезпечення, оперативного управління і особливо ретельного контролю ходу виконання робіт.

Реалізація будь-якого проекту у гірничодобувному виробництві завжди пов'язана зі створенням спеціальних підземних гірничобудівельних об'єктів. Ці об'єкти саме і будуються за проектом для того щоб надати можливість виконання того процесу, заради здійснення якого і реалізується проект. До таких будівельних конструкцій належать: схеми розкриття запасів, схеми їх підготовки, схеми нарізання запасів, підземні виробки, камери тощо. Будівництво таких об'єктів завжди передбачається кожним проектом.

Необхідно також відмітити, що на залізрудних шахтах існує ще один вид проектів, які характеризуються особливо великою відповідальністю, їх реалізація пов'язана зі значною небезпечністю і фінансовими витратами. Це проекти масових вибухів для відбійки руди у добувних блоках/панелях. Особлива важливість проектів масових вибухів обумовлюється тим, що відбійка є основним процесом, який саме і забезпечує шахту сировинним ресурсом у стані, який дозволяє здійснювати його переробку у товарний залізрудний продукт. Від параметрів і якості виконання проектів масових вибухів залежить виробнича діяльність всієї шахти.

Проекти масових вибухів є складовою великої ієрархічної структури проектів більш високого рівня – проектів відпрацювання запасів добувних блоків/панелей, а вони є складовими проектів відпрацювання запасів поверхів та ярусів, ті у свою чергу є складовими проектів розкриття і відпрацювання запасів залізрудних родовищ.

Розробка всіх вищевказаних видів проектів потребує вирішення багатьох задач самих різних видів і рівня складності [5]. Розв'язання цих задач здійснюється і різними методами від простого математичного розрахунку до надто складних методів багатокритеріальної оптимізації, експертного пошуку рішень, математичного логіко-математичного та графічного моделювання тощо. Результати їх розв'язання подаються у різних видах:

семантичному (пояснювальний текст), математичному (параметри і їх числові значення), графічному (креслення, схеми, графіки, номограми, рисунки). Розв'язання таких задач потребує значних витрат праці і часу. Ці задачі можуть вирішуватись місяцями навіть при застосуванні сучасної комп'ютерної техніки, потребують спеціалістів високої кваліфікації та залучення спеціалізованих проектних і науково-дослідних інститутів.

Максимально спростити процес підготовки таких проектів та управління їх реалізацією можливо шляхом створення проблемно-орієнтованих інформаційних систем управління проектами залізрудного гірничодобувного виробництва.

Методологічною основою створення і забезпечення роботи таких систем має бути певний підхід до декомпозиції функцій системи і формування комплексу програмних і апаратних засобів, які реалізують функції цієї системи, спрямовані на розв'язання певних задач для формування моделі проекту.

Створення такої системи необхідно починати з визначення завдань і набору функцій, які повинні бути в ній реалізовані. Зміст цього набору функцій визначається шляхом декомпозиції функцій імітаційної моделі (ІМ) конкретного проекту. Кількість рівнів декомпозиції залежить від конкретних умов, для яких розробляються програмні та апаратні засоби. Збільшення числа рівнів дозволяє більш детально виявити закінчені структурні компоненти системи і їх взаємозв'язок в окремих завданнях. При цьому необхідно зауважити, що висока деталізація і подрібнення функцій можуть привести до того, що рівні декомпозиції фактично стануть окремими операторами мови програмування, командами комп'ютерів і навіть мікропрограмами. Така деталізація далеко не завжди є доцільною і її реалізація у моделі залежить від того, з якими вимогами замовника буде розроблятися проект. Однак, у будь-якому разі система управління проектами повинна забезпечувати можливість розробки ІМ проекту з самою високою деталізацією.

Розглянемо приклад декомпозиції функцій ІМ проекту. Самим верхнім рівнем декомпозиції є рівень 0, на якому реалізуються функції оперативно-організаційного управління ( $F_0$ ). Декомпозицією  $F_0$  є: рівень 1, що містить:  $F^1$  – функції оперативного планування;  $F^2$  – функції оперативного контролю;  $F^3$  – загальносистемні й допоміжні операції.

Декомпозиція  $F^1$  на першому рівні містить:  $F_1^1$  – підготовка даних для розробки сітвової моделі (ці дані і визначаються шляхом вирішення комплексу задач описаних вище);  $F_2^1$  – розрахунок часових характеристик сітвової моделі;

$F_3^1$  – розрахунок контрольних календарних дат;  $F_4^1$  – формування планових документів.

Декомпозиція  $F^2$  на другому рівні містить:  $F_1^2$  – оцінку обсягу і якості виконання робіт на задану дату;  $F_2^2$  – корегування сітьової моделі щодо конкретних дат початку робіт (при цьому необхідно приділяти особливу увагу РПВ, адже вимоги до термінів їх виконання є особливо жорсткими);  $F_3^2$  – перерахунок сітьової моделі з урахуванням реальних строків початку й стану виконання робіт (виконується перерахунок параметрів робіт проекту і корегування сітьової моделі за новими даними, на цьому ж рівні здійснюється оптимізація сітьової моделі);  $F_4^2$  – формування оперативних документів.

Декомпозицію  $F^3$  можна представити у такому вигляді:  $F_1^3$  – ведення предметної області;  $F_2^3$  – захист програмних й інформаційних засобів від несанкціонованого доступу;  $F_3^3$  – формування діалогу із системою планування;  $F_4^3$  – формування довідок та інструкцій з роботи системи моделювання.

Подальша декомпозиція функцій має такий вигляд:  $F_{1n}^1$ :  $F_{11}^1$  – формування файлу основних характеристик сітьової моделі;  $F_{12}^1$  – формування файлів додаткових характеристик сітьової моделі;  $F_{2n}^1$ :  $F_{21}^1$  – тестування мережної моделі на наявність контурів і тупикових вершин;  $F_{22}^1$  – тестування сітьової моделі на наявність повторюваних робіт;  $F_{23}^1$  – перенумерування вузлів мережі;  $F_{24}^1$  – розрахунок потенціалів вузлів і формування розрахункових характеристик у файлі основних характеристик;  $F_{3n}^1$ :  $F_{31}^1$  – установка параметрів календаря;  $F_{32}^1$  – перерахунок відносних часових зрушень у календарі подій;  $F_{4n}^1$ :  $F_{41}^1$  – запит у діалозі параметрів типу документа;  $F_{42}^1$  – вибірка необхідних полів із предметної області планування;  $F_{1n}^2$ :  $F_{11}^2$  – визначення дати оцінки стану сітьової моделі;  $F_{12}^2$  – визначення фронту виконуваних робіт;  $F_{2n}^2$ :  $F_{21}^2$  – формування дати початку виконання проекту;  $F_{22}^2$  – формування розрахункових характеристик сітьової моделі;  $F_{23}^2$  – корегування предметної області оперативного контролю проекту;  $F_{3n}^2$ :  $F_{31}^2$  – ведення зведень про виконання робіт;  $F_{32}^2$  – корекція предметної області контролю відповідно до реального стану виконання робіт за сітьовою моделлю;  $F_{33}^2$  – розрахунок часових параметрів моделі;  $F_{4n}^2$ :  $F_{41}^2$  – запит типу документа;  $F_{42}^2$  – вибірка необхідних полів із предметної області контролю. Декомпозицію функцій  $F_{1n}^3$  –  $F_{4n}^3$  можна здійснити аналогічно. Процес деталізації деяких з отриманих функцій можна продовжити.

Припустимо, що визначено всю сукупність функцій системи моделювання. Кожному режиму поставлені у відповідність завдання й реалізовані ними функції, причому визначено послідовність ініціації завдань і функцій у кожному завданні.

Будь-яка функція системи може бути реалізована програмним шляхом за допомогою універсальних обчислювальних засобів, а окремі функції – реалізуються апаратно.

Визначення оптимальної структури функцій системи моделювання вимагає вирішення питання розподілу обчислювального навантаження між універсальними й спеціалізованими обчислювальними засобами. При цьому з одного боку, необхідно враховувати вимоги швидкодії й інформаційної продуктивності, а з другого боку – обмеження на апаратні витрати.

Оптимізація структури системи моделювання потребує вирішення питання про те, які функції із заданого набору будуть реалізовані апаратно, які програмно і як буде організований інтерфейс між окремими компонентами системи моделювання. Все це приводить до необхідності формалізувати підхід до вибору оптимального варіанта структури функцій системи моделювання.

Нехай загальне число функцій системи моделювання (СМ) визначено у вигляді кінцевої множини  $G=\{g_i\}$ , де  $g_i$  – окрема функція,  $i=1\dots m$ . Кожна окрема функція  $g_i$  може бути реалізована програмно або апаратно. Задамо на множині функцій  $G$  множину векторів структурної реалізації СМ:  $A=\{a_i\}$ , де  $a_i$  – вектор структурної реалізації СМ,  $i=1\dots K$ . Значення координати  $j$  вектора  $a_i$  вибирається з умови:  $a_{ij}=0$  – якщо функція  $g_i$  в структурній реалізації  $a_i$  виконується програмно;  $a_{ij}=1$  – якщо функція  $g_i$  в структурній реалізації  $a_i$  реалізована апаратно. Число координат вектора  $a_i$  відповідає числу функцій СМ, тобто  $i=1\dots m$ .

Сукупність функцій  $G$  є основою побудови завдань СМ. Кожне завдання може містити певну підмножину  $G$ . Припустимо, що завдання СМ визначені множиною  $Z=\{z_i\}$ , де  $z_i$  – окреме завдання. Залежно від конкретної структурної реалізації кожне завдання  $z_i$  може містити окремі функції реалізовані апаратно або програмно.

Слід відзначити, що в результаті значної кількості таких функцій і наявності функцій, які потребують виконання ітераційних обчислень (наприклад, при оптимізації) виникає проблема, скорочення часу їх обчислення. Втрати часу на виконання програмно реалізованих функцій в окремих завданнях визначимо з допомогою матриці програмних часових витрат  $L_{nm}=\{l_{ij}\}$ , де  $l_{ij}$  – тривалість програмної реалізації функції  $g_i$  в завданні  $z_i$ .

Для конкретної структурної реалізації  $a_i$  час виконання програмної частини завдань представляє вектор-стовпець, визначений з виразу  $L\bar{a}_i=\{t_1\dots t_n\}$ , де  $t_1\dots t_n$  – витрати часу на програмну реалізацію функцій у завданнях  $z_1\dots z_n$ ;  $\bar{a}_i$  – транспонований вектор  $a_i$ .

Для оцінки часу виконання функцій, реалізованих апаратно, введемо матрицю часових витрат на апаратну реалізацію функцій:  $M_{nm}=\{m_{ij}\}$ , де  $m_{ij}$  – тривалість апаратної реалізації функції  $g_i$  в завданні  $z_i$ . Якщо ввести вектор-рядок  $a'_i=\{(1-a_{i1}), (1-a_{i2}), \dots, (1-a_{im})\}$ , то тривалість апаратної реалізації завдань визначиться з виразу  $M\bar{a}'_i=\{t'_{1...t'_n}\}$ , де  $t'$  – витрати часу на апаратну реалізацію функцій у завданнях  $z_1...z_n$ ;  $\bar{a}'_i$  – транспонований вектор від  $a'_i$ .

Апаратна реалізація викликає неминучі витрати часу на виконання інтерфейсних операцій, тому введемо матрицю інтерфейсних часових витрат  $D_{nm}=\{d_{ij}\}$ , де  $d_{ij}$  – тривалість інтерфейсних операцій для функції  $g_{ij}$  реалізованої апаратно в завданні  $z_i$ . Для конкретної структурної реалізації  $a_i$  часові витрати на інтерфейс у різних завданнях визначаються вектором-стовпцем  $D\bar{a}_i=\{t''_{1...t''_n}\}$ , де  $t''_{1...t''_n}$  – сумарні витрати часу на інтерфейсні операції при апаратній реалізації функцій у завданнях  $z_1...z_n$ .

Сумарний вектор часових витрат в окремих завданнях визначиться з виразу

$$La_i + (M + D)\bar{a}_i = \{t^{\Sigma}_{1...t^{\Sigma}_n}\}, \quad (1)$$

де  $t^{\Sigma}_{1...t^{\Sigma}_n}$  – сумарні витрати часу на виконання функцій у завданнях  $z_1...z_n$ .

Припустимо, що на певному відрізку часу роботи системи задані ймовірність або частина роботи кожного завдання у вигляді вектора-рядка  $P=\{p_i\}$ ,  $i=1...n$ , де  $\Sigma p_i=1$ . Середній час роботи завдання в цьому випадку відповідно до виразу (1) може бути визначено у такий спосіб

$$t_{cp} = P[L\bar{a}_i + (M + D)\bar{a}'_i]. \quad (2)$$

Апаратна реалізація сполучена з витратами на устаткування, які можуть бути враховані, наприклад, числом мікросхем, типових плат елементів і т.п. Оскільки витрати на універсальні обчислювальні засоби неминучі для будь-якої структури СМ, будемо в різних модифікаціях обчислювальних систем, ураховувати тільки витрати на спеціалізовані засоби реалізації окремих функцій, а також витрати на розробку інтерфейсів із цими засобами.

Визначимо вектор-рядок витрат на реалізацію окремих функцій у вигляді  $C=\{c_i\}$ , де  $c_i$  – витрати на апаратну реалізацію функції  $g_i$ ,  $i=1...m$ . Витрати на реалізацію інтерфейсу можуть бути враховані у відповідних  $c_i$ . Сумарні витрати на апаратну реалізацію для відповідної структури СМ визначаються з виразу  $S=Ca_i$ .

Критерієм вибору оптимальної структури функцій СМ може бути середній час реалізації завдання при обмеженнях на апаратні витрати або витрати на устаткування у разі обмежень на середній час розв'язання завдання. У першому

випадку завдання оптимізації формулюється у такий спосіб:

$$- \text{ знайти } \min aiP = [L\bar{a}_i + (M + D)\bar{a}'_i] \quad (3)$$

для  $C\bar{a}'_i \leq S_{\text{дон}}$ , де  $i=1...K_n$ ,  $S_{\text{дон}}$  – допустимі витрати на апаратну реалізацію СМ.

У другому випадку пошук оптимальної структури функцій СМ формулюється у вигляді:

$$- \text{ знайти } \min C\bar{a}' \quad (4)$$

для  $P[L\bar{a}_i + (M + D)\bar{a}'_i] \leq T_{\text{дон}}$ , де  $T_{\text{дон}}$  – максимально припустимий час розв'язання завдання в СМ.

Рішення (3) або (4) дозволяє визначити оптимальне значення вектора структурної реалізації  $a_i$ . Значення координат дозволяють судити про те, які функції в практичній реалізації ІМ слід виконувати програмно, а які апаратно.

Певні труднощі викликає знаходження значень елементів матриці програмних часових витрат  $L$  і апаратних часових витрат  $M$ . На етапі вибору вектора структурної реалізації зазвичай відсутні значення елементів цих матриць, оскільки жодна з функцій ІМ ще не реалізована ні апаратно, ні програмно. У цьому випадку доцільно скористатися даними аналітичного моделювання основних функцій. У разі аналітичного моделювання основних функцій СМ загальний підхід до визначення її оптимальної структури може бути сформульований у вигляді такого алгоритму.

1. Визначити структуру, набір функцій і склад завдань імітаційної моделі.

2. Задати матрицю апаратних часових витрат:  $Mnm=\{m_{ij}\}$ .

3. Задати матрицю програмних часових витрат:  $LnM=\{l_{ij}\}$

4. Визначити склад векторів структурної реалізації СМ:  $A=\{a_i\}$ .

5. Визначити вектор витрат  $Z=\{c_i\}$  на апаратну реалізацію окремих функцій.

6. Вибрати тип оптимізаційного завдання (3) або (4).

7. Задати необхідні обмеження.

8. Вирішити оптимальне завдання на сукупності векторів структурної реалізації й знайти необхідний вектор  $a_i$ .

Описаний алгоритм дозволяє розробляти оптимальні структури СМ для створення автоматизованих систем управління проектами гірничодобувного виробництва різних рівнів і призначення.

## Висновки

На підставі виконаних досліджень авторів можна зробити такі висновки:

1. У галузі управління промисловими проектами гірничодобувного виробництва існує

актуальна проблема, яка полягає у необхідності створення проблемно-орієнтованих інформаційних систем галузевого спрямування, які дозволяють формувати повноструктурні моделі проектів і на їх основі розробляти плани реалізації проектів, формувати плани їх ресурсного забезпечення і контролю реалізації проектів.

2. Авторами запропоновано підхід до розробки таких систем на основі комплексного програмно-апаратного забезпечення систем моделювання проектів, який дозволяє розподілити задачі, що повинні бути розв'язані при підготовці проекту за ступенем їх складності і необхідних ресурсів комп'ютерів між програмними і апаратними модулями, що суттєво підвищує швидкість розв'язання складних задач.

3. Авторами розроблено підхід і надане його описання до декомпозиції функцій систем управління проектами у плані створення їх програмної і апаратної частин.

4. Розроблено алгоритм для визначення оптимальної структури і характеристик програмно-апаратної частини проблемно-орієнтованих систем управління проектами об'єктів гірничодобувного виробництва.

5. Розроблені підходи мають стати методологічною основою для розробки інформаційних систем управління складними за структурою проектами у галузі залізорудного гірничодобувного виробництва, на створення якої спрямовуються подальші дослідження і розробки авторів.

## Список літератури

1. Охоменко В.М., Воронкова Т.Б. Автоматизація управління проектами на підприємствах / Інформаційні системи і технології на підприємствах. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
2. Модель проекту в автоматизованих системах управління проектами [Електронний ресурс]. – <http://helpiks.org/1-117258.html>.
3. Нугайбеков Р.А., Максін Д.Г., Ляшук А.В. Корпоративная система управления проектами. – М.: Альпина Паблишер, 2015. – 236 с.
4. Вілкул Ю.Г., Ніконець В.І., Ступнік М.І. Управління проектами рудних шахт. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2012. – 187 с.
5. Кучерявенко І.А., Вілкул Ю.Г., Ступнік М.І. Проектування підземних рудників. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2010. – 332 с.
6. Шакейн С.В., Рогова Т.Б. Оценка риска пользования недрами. – Кемерово: КузГТУ, 2009. – 120 с.

Стаття надійшла до редколегії 22.07.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.О. Калініченко, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг.

### Попов Станислав Олегович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики и управления проектами ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог

### Ерина Ольга Александровна

Аспирантка кафедры экономической кибернетики и управления проектами ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог

### Попрожек Елена Олеговна

Аспирантка кафедры экономической кибернетики и управления проектами, [orcid.org/0000-0003-4919-7273](http://orcid.org/0000-0003-4919-7273) ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог

## МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Аннотація.** В проектно-ориентированной деятельности предприятий железорудной горнодобывающей промышленности остается актуальной задачей создание проблемно-ориентированных информационных систем, которые позволят формировать полноструктурные модели промышленных проектов со всеми элементами, необходимыми для разработки оптимального плана реализации проектов (выполнения работ проектов), а также формировать планы ресурсного обеспечения их реализации и контроля процесса выполнения проектов. Для решения этой проблемы предложен новый подход к разработке проблемно-ориентированных информационных систем управления проектами, который основывается на разработке комплексного программно-аппаратного обеспечения систем моделирования проектов. Такой подход основывается на разделении задач, которые должны решаться при подготовке проекта, по степени их сложности и необходимым ресурсам компьютеров для их решения между программными и аппаратными модулями. Модульная структура этой системы существенно повышает скорость решения сложных задач профессионального направления за счет более рационального распределения ресурсов системы



между решаемыми задачами. Авторами разработан подход к декомпозиции функций систем управления проектами в плане создания их программной и аппаратной частей. Разработан алгоритм для определения оптимальной структуры и характеристик программно-аппаратного обеспечения системы управления проектами. Указанные подходы формируют методологическую основу для разработки информационных систем управления сложными по структуре проектами в сфере железорудного горнодобывающего производства и дают возможность практической разработки таких систем с корпоративным уровнем использования.

**Ключевые слова:** методология; компьютерные системы; моделирование; управление проектами; сложная структура; горнодобывающее производство

**Popov Stanislav**

DSc (Eng.), professor

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih

**Erina Olha**

Graduate student

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih

**Poprozhuk Olena**

Graduate student, [orcid.org/0000-0003-4919-7273](https://orcid.org/0000-0003-4919-7273)

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih

#### METHODOLOGY OF THE DEVELOPMENT THE COMPUTER SYSTEMS OF THE PROJECT MANAGEMENT WITH THE COMPLEX STRUCTURE IN THE MINING INDUSTRY

**Abstract** The project-oriented activities of the enterprises of iron ore mining urgent problem urgent need to create a problem-oriented information systems that will generate all-structure model industrial projects with all the elements required to develop an optimal plan for the implementation of projects (works projects), to form plans for resource support for their implementation and monitoring of project implementation process. To solve this problem the authors propose a new approach to the development of problem-oriented project management information systems. This approach is based on the development of complex software and hardware systems modeling projects. This approach is based on the division of tasks that need to be addressed in the preparation of the project, according to their degree of complexity and the resources they need computers for their solution between software and hardware modules. The modular structure of this system greatly improves the speed of solving complex problems professional direction due to a more rational allocation of system resources between tasks. The authors have developed a campaign to decomposition functions of project management systems in terms of the creation of their software and hardware parts. The algorithm for determining the optimal structure and performance of hardware and software project management. These approaches form the methodological basis for the development of complex information on the structure of the project management systems in the field of iron ore mining operations and enable practical development of such systems with enterprise-level use.

**Keywords:** methodology; computer system; modeling; project management; complex structure; mining industry

#### References

1. Ohomenko, V., Voronkova, T. (2006). *Automatization of the project management at the companies*, 185.
2. *Model of the project at the automatization systems of the project management*. – [http:// helpiks.org / 1-117258.html](http://helpiks.org/1-117258.html).
3. Nugaybekov, R., Maksin, D., Lyashuk, A. (2015). *Corporation system of the project management*, 236.
4. Vilkul, U., Nikonec, V., Stupnik, M. (2012). *The project management of the ore mine*, 187.
5. Kucheryavenko, I., Vilkul, U., Stupnik, M. (2010). *Design of underground mines*, 332.
6. Shaklein, S., Rogova, T. (2009). *Risk assessment of subsoil use*, 120.

#### Посилання на публікацію

- APA Popov, S., Erina, O., & Poprozhuk, O. (2016). *Methodology of the development the computer systems of the project management with the complex structure in the mining industry. Management of development of complex systems*, 27, 68 – 76 [in Ukraine].
- ГОСТ Попов С.О. Методологія розробки комп'ютерних систем управління проектами зі складною структурою у гірничодобувному виробництві [Текст] / С.О. Попов, О.О. Єріна, О.О. Попрожук // *Управління розвитком складних систем*. – 2016. – №27. – С. 68 – 76.