

Таблиця 1 – Результати випробувань роботи трактора К-701 на дизельному та газодизельному пальному

Тип пального	Вид робіт	Склад агрегату	Робоча швидкість, км/год	Технологічна продуктивність за год., га	Витрати пального на одиницю виконуваної роботи		Витрати на пальне ДП+(метан), грн/га
					метан, нм ³ /га (кг/га)	дизельне пальне, кг/га	
Дизельне пальне (ДП)	Безвідвальна обробка ґрунту	К-701 (ДП)+ПЧ-4	7,59	2,68	-	17,12	261,9
	Дискування ґрунту	К-701 (ДП)+БДСТ-7,2	9,2	5,84	-	7,57	115,8
	Обробка ґрунту комбінованим агрегатом під посів	К-701 (ДП)+АПК-6	9,9	6,59	-	5,29	80,9
Газодизель (ГД)	Безвідвальна обробка ґрунту	К-701 (ДП)+ПЧ-4	7,73	2,72	4,7 (3,31)	3,88	59,4+(87,1)=146,5
	Дискування ґрунту	К-701(ДП)+БДСТ-7,2	9,84	6,21	4,54 (3,20)	2,25	34,4+(61,2)=95,6
	Обробка ґрунту комбінованим агрегатом під посів	К-701(ДП)+АПК-6	10,1	6,7	4,01 (2,82)	1,1	16,8+(40,5)=57,3

При цьому незважаючи на значні економічні результати, слід пам'ятати що загальна ефективність (економія) буде трохи меншою, адже сюди слід додати та врахувати:

- збільшення трудомісткості і вартості ТО машин (трудомісткість ТО-1 збільшується з 3,87 до 4,0 люд-год, ТО-2 з 10,5 до 13,49 люд-год, а ТО-3 з 23,9 до 28,88 люд-год.);
- необхідність проведення підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- проведення оновлення обладнання підприємства з експлуатації даної техніки для проведення і якісного ТО і ремонту машин.
- витрати пов'язані поточними ремонтами газодизельної системи та ін.

Необхідно також враховувати, що ефективність буде досягнуто через певний проміжок часу (термін окупності), який в середньому, при річному напруженні 1400 мото-год складає від близько 2 років. Також не слід забувати, що окрім скорочення витрати дизельного пального, газодизельний процес дозволяє досягти поліпшення екологічного стану агроєкосистеми, підвищення родючості ґрунтів, їх окультуреність, зниження забрудненості атмосферного повітря і землі, приріст біологічного та екологічного потенціалу сільськогосподарських культур.

Під час аналізу результатів випробувань трактора К-701 з газодизельною си-

стемою живлення було встановлено, що він в агрегаті з ґрунтообробними машинами надійно і якісно виконує технологічний процес.

Застосування газодизельного процесу роботи двигуна трактора економічно доцільно – за рахунок зниження витрат дизельного пального та екологічного ефекту.

Подальші дослідження передбачають можливість встановлення мікропроцесорної системи управління на газодизельний трактор К-701.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Золотницький, В.А. Автомобильные газовые топливные системы / В.А. Золотницький. – М.: АСТ, 2007. – 128 с.
2. Мельниченко, В.І. Способи поліпшення екологічних, паливних та потужнісних показників трактора Т-150К в умовах рядової експлуатації / В.І. Мельниченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. - 2005. – Вип. 60. - С.183-186
3. Кухаренко, П.М. Всережимний регулятор газодизеля / П.М. Кухаренко., О.С. Бабич, В.О. Улексін // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. - 2002. – Вип. 31. - С.133-136.
4. Volvo Goes With Gas in Diesel Engines [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL : <http://www.truckinginfo.com/article/story/2010/05/volvo-goes-with-gas-in-diesel-engines.aspx>. - Назва з екрана.
5. Про переваги газодизельного трактора. Газодизель: те саме паливо, але дешевше [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://www.zerno-ua.com/?p=10832>. – Назва з екрана.
6. Газодизель: економія на економічному [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://autoexpert.com.ua/stati/tehnologii-i-remont/4032-gazodizel-yekonomiya-na-syekonomlennom.html>. – Назва з екрана.
7. Протокол испытаний № 03-52-05 (1010011) Газобаллонный трактор К-701 от 07 декабря 2005 / ФГУ «Владимирская государственная зональная машиностроительная станция». Москва, 2005. - 7 с.

REFERENCES

1. Zolotnitsky, V.A. (2007), *Avtomobilnye gazovye toplivnye sistemy* [Automotive gas fuel systems], AST, Moscow, Russia.
2. Melnichenko, V.I. (2005), "Method polipshennya ekologichnih, palivnih that potuzhnistnih pokaznikov tractor T-150K in the minds of ryadovoi ekspluatatsii" *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 60, pp.183-186.
3. Kuharenko, P.M., Babich, O.S. and Uleksin, V.O. (2002), "Variable speed governors gas diesel" *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 31, pp.133-136.
4. Volvo Goes (2010), "With Gas in Diesel Engines", available at: <http://www.truckinginfo.com/article/story/2010/05/volvo-goes-with-gas-in-diesel-engines.aspx>, (Access 12.06.2015).
5. About the advantages of gas-diesel tractor (2013), "Gas diesel: the same fuel, but cheaper" available at: <http://www.zerno-ua.com/?p=10832>, (Access 12.06.2015).
6. Gas diesel: savings savings (2013), available at: <http://autoexpert.com.ua/stati/tehnologii-i-remont/4032-gazodizel-yekonomiya-na-syekonomlennom.html>, (Access 12.06.2015).
7. Test Report № 03-52-05 (2005), "Gas-cylinder tractor K-701", FSI "Vladimir State zonal engineering station." dated December 07, 2005, Moscow, Russia.

Про автора

Почужевський Олег Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри підйомно-транспортних машин, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, aax-forever@ya.ru.

About the author

Pochuzhevskyy Oleg Oleg Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the department hoisting and transportных machines, State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University" (SHEI "KNU"), Krivoy Rog, Ukraine, aax-forever@ya.ru.

Аннотация. В данной статье рассмотрены результаты натурных исследований использования газобаллонной установки на колесном тракторе общего назначения с повышенной проходимостью К-701 при выполнении рекультивации земель в агрегатировании с различными полунавесными машинами

В результате анализа эксплуатационных показателей на суглинистых почвах с влажностью от 18% до 28% и твердостью от 0,6 МПа до 3,9 МПа был получен экономический эффект от 66,7% до 47,2% тем самым подтвердив целесообразность использования газодизельной системы питания на колесных тракторах. Из негативных моментов следует отметить незначительный рост трудоемкости и стоимости технического обслуживания.

На основе полученных результатов, сформулированы дальнейшие направления исследований по совершенствованию газобаллонной системы питания дизельных двигателей за счет использования микропроцессорной системы для дозирования подачи метана.

Ключевые слова: трактор, газодизельной установка, Газодизельное топливо, экономия горючего.

Abstract. This article describes results of the field research of the LPG container use in the wheeled tractor K-701 of general purpose with cross-country capacity when it was used for the land reclamation in aggregation with various semi-integral machines.

Analysis of the tractor operating on the loamy soils with moisture content between 18 % and 28 % and the soil hardness between 0,6 MPa and 3,9 MPa showed economic effect between 66,7 % and 47,2 % and, therefore, confirmed feasibility of the gas-and-diesel power system to be used in the wheeled tractors. Among the negative points, a slight increase of the complexity and cost of maintenance should be mentioned.

Basing on the findings, further research directions were formulated for improving the LPG power system in the diesel engines through the use of microprocessor-based systems for dosed methane supply.

Keywords: tractor, gas-and-diesel power system, gas-and-diesel fuel, fuel saving.

Статья поступила в редакцию 14.09.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком

УДК 622.271.4

Слободянюк Р.В., магістр
(Державний ВНЗ «КНУ»)

**РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ
ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КАР'ЄРУ**

Слободянюк Р.В., магістр
(Государственное ВУЗ «КНУ»)

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБильНОГО КОМПЛЕКСА**

Slobodyanyuk R.V., M.S. (Tech.)
(State HEI «KNU»)

**THE SIMULATION MODEL OF AN
EXCAVATOR-AND-TRUCK COMPLEX FOR THE OPENCAST MINES**

Анотація. Розроблено імітаційну модель, що дозволяє проводити оцінку впливу типу виймально-навантажувального і транспортного обладнання, відстані транспортування гірничої маси та параметрів кар'єрних доріг на роботу екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру. Визначено коло завдань, пов'язаних з оптимізацією роботи екскаваторно-автомобільного комплексу, для вирішення яких раціональне застосування імітаційного моделювання.

Встановлено, що для кожного типу екскаваторно-автомобільного комплексу існують економічно доцільні межі використання в залежності від відстані транспортування. Автосамоскиди більшої вантажопідйомності мають значний потенціал у раціональному використанні за значних відстаней транспортування. Встановлено, що зниження продуктивності екскаватора в екскаваторно-автомобільному комплексі при наявності однієї ділянки дороги з попереми́ним одностороннім рухом становить 3-5%, при наявності двох ділянок зниження продуктивності досягає 6-7%, при наявності трьох ділянок – 6-24%. Прийнята нормами технологічного проектування максимальна довжина ділянки з одностороннім рухом, що дорівнює 500 м, не впливає на продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу, тільки якщо через дану ділянку обслуговується один екскаватор.

Ключові слова: імітаційна модель, екскаваторно-автомобільний комплекс

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Широке використання методу імітаційного моделювання у гірничому виробництві дозволить вирішити значну кількість задач високої складності. Імітаційне моделювання є важливим елементом систем підтримки прийняття рішень, тому що дозволяє досліджувати велику кількість альтернативних рішень, програвати різні сценарії за будь-яких вхідних даних [1]. В основі його лежить методологія системного аналізу, що включає взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі, розробка концептуальної моделі, розробка і програмна реалізація імітаційної моделі, перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання, планування і проведення експериментів, прийняття рішень [1-4].

© Р.В. Слободянюк, 2015

З використаннями імітаційного моделювання можливо вирішити широке коло питань оптимізації роботи екскаваторно-автомобільних комплексів з урахуванням конкретних гірничотехнічних умов:

- встановлення оптимальної кількості автосамоскидів для обслуговування виймально-навантажувального обладнання;
- визначення раціонального співвідношення ємностей кузова автосамоскиду та ковша екскаватору з врахуванням впливу відстані транспортування;
- обґрунтування оптимальної типажної структури екскаваторно-автомобільного комплексу;
- виявлення обмежуючих («вузьких») місць в організації технологічних процесів, що не дозволяють збільшити продуктивність комплексу;
- дослідження взаємодії екскаваторно-автомобільного комплексу з суміжними ланками кар'єрного транспорту (аналіз впливу параметрів та конструкції перевантажувальних пунктів комбінованого транспорту на продуктивність кар'єру);
- аналізу складних перетинів транспортних комунікацій з різними характеристиками (перетин залізничних шляхів з автомобільною дорогою) [6];
- перевірка можливості виконання виробничої програми кар'єру наявним комплексом гірничотранспортного обладнання;
- попередня перевірка можливого ефекту від зміни організації руху кар'єрного транспорту або застосування нових технологічних рішень у кар'єрі у масштабі від однієї конкретної технологічної одиниці до виробничого процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні та за кордоном протягом більше 40 років методи імітаційного моделювання [1-10] є надійним інструментом для вирішення широкого кола логістичних завдань в промисловості та на транспорті. У роботах [5,6,10] ці методи використані для оптимізації роботи кар'єрного транспорту на рудних і вугільних кар'єрах. У роботах [7-9] імітаційні моделі застосовані для вирішення завдань оптимізації екскаваторно-автомобільних комплексів. Поетапно, в роботах [7-9] збільшується складність моделей і перелік врахованих вихідних даних. В той же час раціонально для вирішення більшості завдань, перерахованих на початку статті, використовувати єдину, універсальну модель, що описує транспортну схему глибокого кар'єру.

Постановка завдань дослідження. Метою роботи є побудова імітаційної моделі екскаваторно-автомобільного комплексу і вирішення з її допомогою задач, що пов'язані з впливом відстані транспортування і параметрів автомобільних доріг на продуктивність і оптимальну структуру комплексу.

Виклад основного матеріалу і результати. Для цього дослідження на основі моделей [7-9] розроблено узагальнену і більш універсальну імітаційну модель. Використання її при дослідженні виймально-навантажувального та транспортного процесів, на даний момент, дозволяє вирішувати більшість з наведених вище питань.

Модель реалізується наступним чином: транспортні засоби (автосамоскиди) розглядаються, як транзакти, які здійснюють рух по моделі. Одному транспортному засобу відповідає один транзакт моделі. Місця, де можливе одночасне обслуговування лише одного транзакту, моделюються, як одноканальний пристрій (ОКП). До них відносять місця навантаження (екскаваторні вибої), маневрів під час руху (примикання з'їздів до горизонтів, початок з'їзду з ненормативною шириною) та інші.

Місця, де відбувається паралельне обслуговування кількох транзактів (ЦПТ, майданчики розвантаження на відвалі, частина з'їзду з ненормативною за його довжиною), моделюють як багатоканальні пристрої (БКП). Ємність БКП (число каналів) дорівнює максимальній кількості транзактів, що обслуговуються ним одночасно. Крім цього, транспортна система включає ділянки доріг з різними технологічними параметрами (довжина, нахил, ширина, якість покриття дороги), майданчики примикання автомобільних доріг до горизонтів. Характерна ділянка автомобільної траси (частина обмежуючого з'їзду, майданчик примикання з'їзду до горизонту) моделюється, як одноканальний пристрій (ОКП), що обслуговує автосамоскиди при їх русі від вибоїв до місця розвантаження та у зворотному напрямі. Вхід самоскидів в ОКП здійснюється, якщо він пустий. З'їзд по довжині моделюється, як БКП. Ділянка дозволяє пропускати транзакти лише в одному з напрямів руху одночасно. При цьому навантажені самоскиди мають вищий пріоритет при проходженні ділянки, ніж порожні.

Додатково в системі використовується підпрограма введення даних та моделювання простоїв екскаватора під час маневрувань автосамоскидів у вибої.

Схема роботи екскаваторно-автомобільного комплексу на рис.1 включає три розкривних вибої, автомобільну трасу з чотирьох характерних ділянок з різними характеристиками, бульдозерний відвал. При іншій кількості екскаваторних вибоїв, пунктів розвантаження та топології автомобільних доріг принципова схема аналогічна.

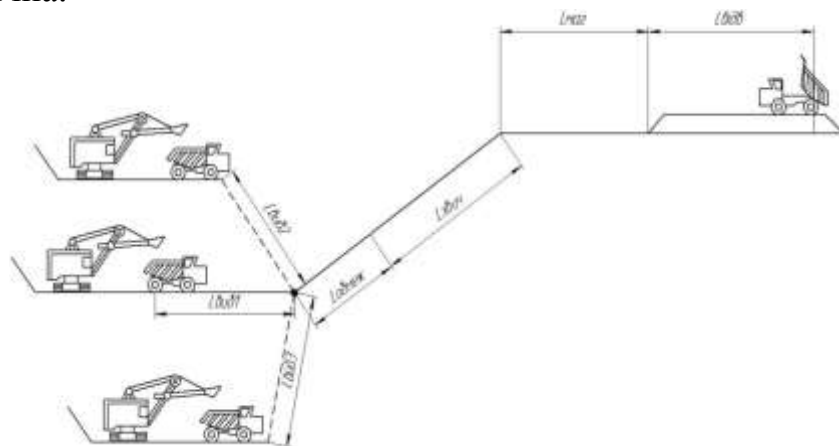


Рисунок 1 - Схема роботи екскаваторно-автомобільного комплексу

Модель включає 2 сегменти: сегмент, моделюючий роботу автосамоскидів і сегмент – таймер. Час у моделі вимірюється у секундах. Блок-схема сегментів моделі показана на рис. 2.

Вихідні дані - інформація про роботу пристроїв, черги до них, відстані транспортування та швидкість руху автосамоскидів на конкретних ділянках.

При моделюванні, в залежності від поставленої задачі, кількість автосамоскидів, що обслуговують екскаватор, змінювалась від 1 до 18 одиниць, кількість екскаваторних вибоїв – від 1 до 3, відстань транспортування - від 1 до 10 кілометрів, а сумарна довжина ділянок автодоріг з ненормативною шириною – від 0 до 562,5 метрів.

Застосуємо розроблену модель для визначення раціонального сполучення виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

Розглянуто дві групи варіантів екскаваторно-автомобільного комплексу, що відрізняються типом основного обладнання. У першому в якості виймально-навантажувального обладнання використовується екскаватор ЕКГ-10, у другому - ЕКГ-12,5. Кожен з варіантів містить по 3 підваріанти, що відрізняються типом транспортного обладнання (автосамоскиди з вантажопідйомністю 90 т, 120 т, 160 т).

У виконаному дослідженні розподіл часу руху, навантаження і розвантаження автосамоскидів змінювався за рівномірним законом. За результатами імітаційного моделювання розраховувалася фактична продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу та приведені витрати на 1 м³ гірничої маси.

Аналіз результатів моделювання виконувався по двом групам, що відрізнялись типом виймально-навантажувального обладнання. У всіх варіантах відбувалось зростання експлуатаційної продуктивності екскаватора у міру збільшення кількості автосамоскидів, досягаючи 2,8-3,4 тис.м³/зм. На рис. 3 наведено результати моделювання роботи екскаваторно-автомобільного комплексу, що складається з екскаватора з ємністю ковша 10м³ і автосамоскидів вантажопідйомністю 160 т.

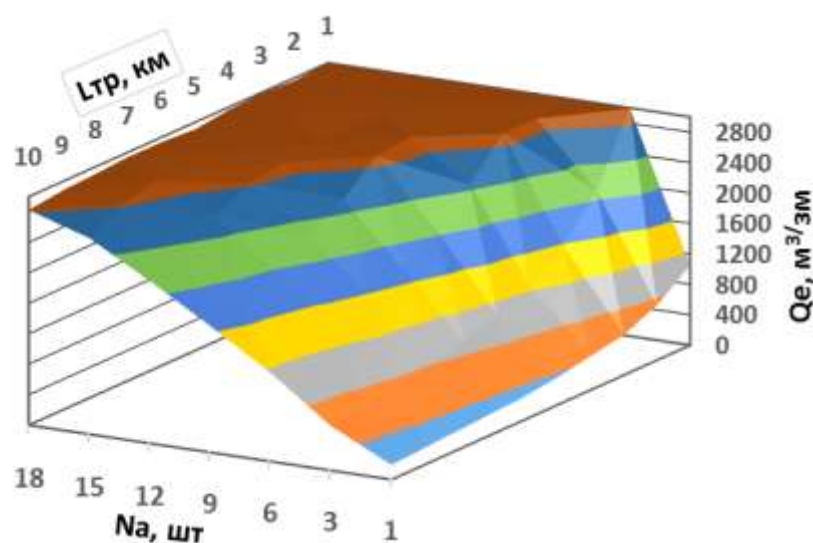


Рисунок 3 - Графік залежності продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу (Qe) від кількості автосамоскидів (Na) і відстані транспортування гірничої маси (Lтр)

При цьому, для обох груп існує закономірність досягнення потенційно бі-

льшої змінної продуктивності комплексами, в яких використовують автосамоскиди більшої вантажопідйомності. Так, середня різниця продуктивності екскаватору з автосамоскидами 90 т та 160 т сягає $380 \text{ м}^3/\text{зм}$ (ЕКГ-10) і $325 \text{ м}^3/\text{зм}$ (ЕКГ-12,5). Це спричинено зростанням часу основної роботи екскаватору, внаслідок зменшення загальної тривалості маневрових операцій автосамоскидів у вибої під час зміни.

Проведений розрахунок питомих приведених витрат ($\text{USD}/\text{м}^3$ видобутої гірничої маси) показав (рис. 4), що перехідний момент в економічній доцільності використання комплексу настає за довжини відстані транспортування 4,8-5,5 км. За більшої довжини використання автосамоскидів вантажопідйомністю 160 т завжди доцільніше, ніж моделей меншої вантажопідйомності.

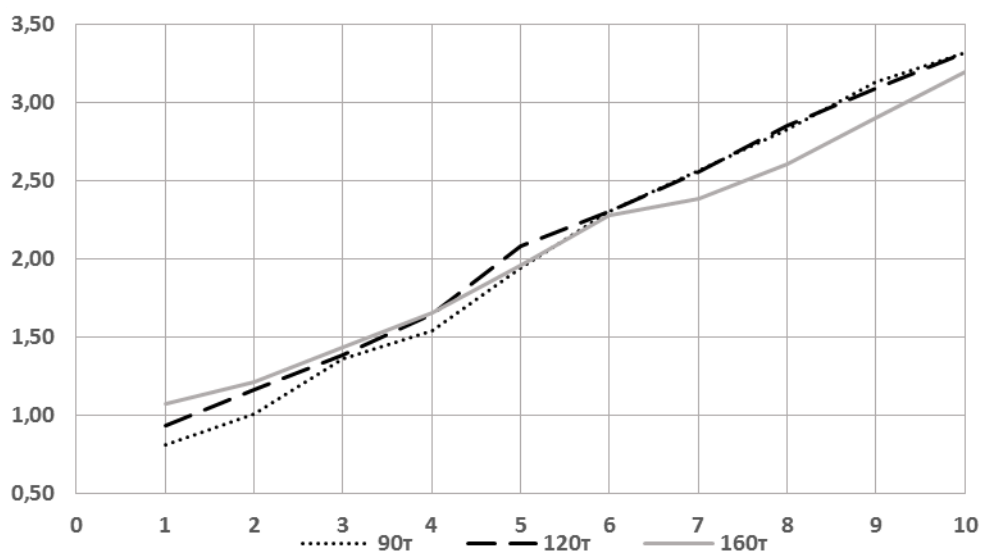


Рисунок 4 - Залежність приведених питомих витрат ($\text{USD}/\text{м}^3$ видобутої гірничої маси) на виймально-навантажувальні та транспортні роботи від відстані транспортування і типу автосамоскидів у комплексі, що використовує екскаватор ЕКГ-10

При відстані транспортування, що не перевищує 3-3,4 км, автосамоскиди найменшої вантажопідйомності (90 т) показують кращий результат.

Тобто, можна сформуванати умовну перехідну область зменшення економічної різниці у використанні різнотипних автосамоскидів, початкова границя якої відзначається відстанню 3,0-3,4 км, а кінцева – 4,8-5,5 км. В області проявляються невеликі зони з максимальною доцільністю використання автосамоскидів з вантажопідйомністю 120 т.

На ряді кар'єрів в експлуатації знаходяться ділянки технологічних доріг з шириною меншою, ніж передбачено нормативними документами. Практичний інтерес становить дослідження впливу на продуктивність комплексу відстані транспортування, типу основного обладнання та наявності доріг з ненормативною шириною.

У дослідженні впливу доріг з ненормативною шириною на продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу розглянуто дві групи варіантів:

1. Автосамоскиди БілАЗ-7513 (130 т). Нормативна ширина двосмугової до-

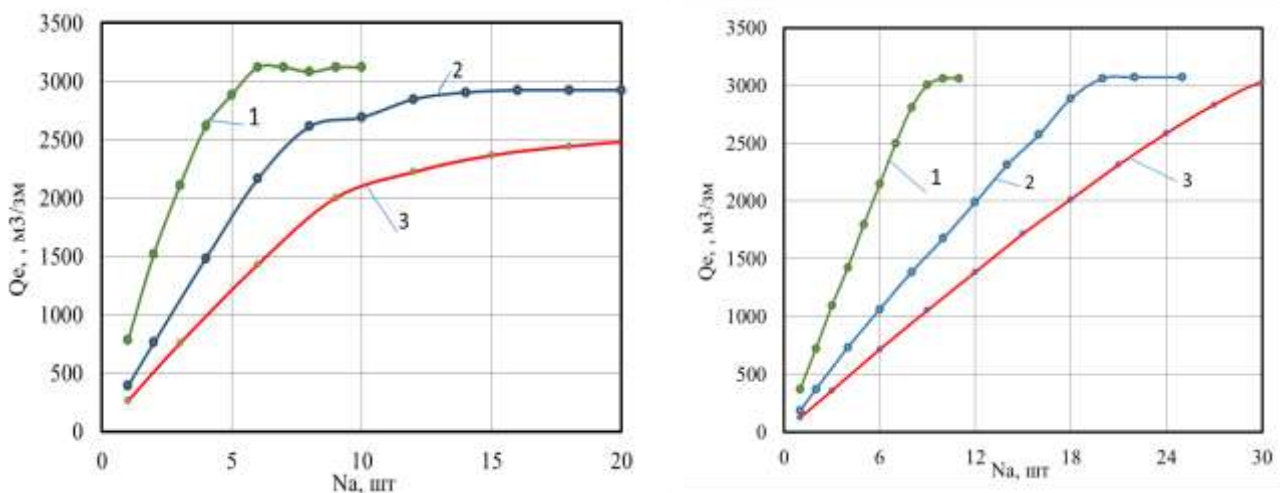
роги 30-34м, односмугової - 21м. За умовою моделювання один із з'їздів на шляху руху самоскидів має ширину, що не дозволяє організувати двосторонній рух. На даній обмежуючій ділянці рух автосамоскидів в кожному з напрямків здійснюється у порядку черги, що утворюється біля обмежуючого з'їзду з боку вантажного і порожнього напрямів.

2. Автосамоскиди БілАЗ -7555 (60 т). Нормативна ширина двосмугової дороги 25 м, односмугової – 15 м. Параметри всіх з'їздів дозволяють розташувати на них технологічну автодорогу з двостороннім рухом.

Для кожного з варіантів розглянуто три підваріанти, що розрізняються кількістю вантажопотоків, що проходять через обмежуючу ділянку траси. Розглянуті варіанти з одним, двома і трьома екскаваторами.

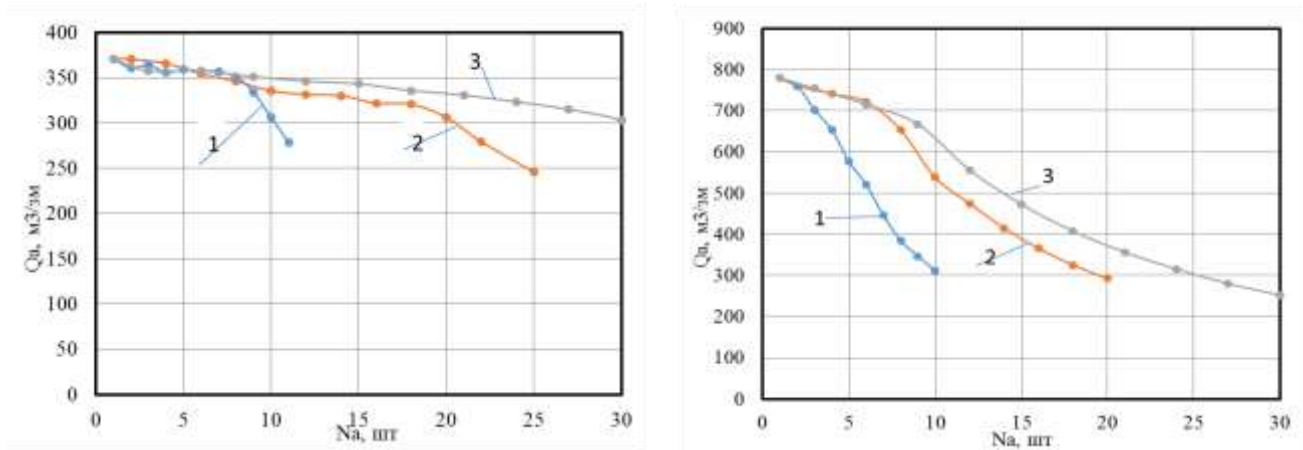
Для першого варіанту також розглядається вплив на продуктивність кількості обмежуючих з'їздів на шляху транспортування (загальна довжина ділянки обмеження руху). Розглянуті варіанти з довжиною обмежуючого з'їзду, рівною 187,5 м, 375 м, 562,5 м, що відповідає висоті підйому автосамоскиду на 15 м, 30 м і 45 м, а також -за відсутності ділянки з обмежуючими умовами.

Аналіз результатів моделювання для обох варіантів та всіх їх підваріантів показав, що у міру збільшення кількості автосамоскидів експлуатаційна продуктивність екскаватора зростає, досягаючи максимально можливого значення для даних умов. Але у міру збільшення кількості робочих вибоїв та транспортної техніки, що їх обслуговує, значно зростає вплив вузьких ділянок на шляху транспортування (автошляхи з ненормативною шириною) на загальну продуктивність комплексу та продуктивність кожної його складової ланки. Результати моделювання відображені на рис.5-6.



1,2,3 – кількість екскаваторів у комплексі

Рисунок 5 - Графік залежності середньої продуктивності екскаватора від кількості автосамоскидів, що обслуговують комплекс при: а) довжині ділянки з обмежуючими умовами 562,5 м; б) використанні автосамоскидів меншої ширини



1,2,3- кількість екскаваторів у комплексі

Рисунок 6 - Графік залежності середньої продуктивності автосамоскидів від кількості екскаваторів у комплексі при: а) довжині ділянки з обмежувачими умовами 562,5 м б) використанні автосамоскидів меншої ширини

Так при довжині ділянки з однополосним рухом 187,5 м відчутне падіння середньої експлуатаційної продуктивності екскаватора відбувається лише за умови одночасної роботи 3 екскаваторних вибоїв і складає: 90-100 м³/зм. При обмежувачих ділянках більшої довжини (375 м, 562,5 м) починає проявлятися значне падіння продуктивності екскаватора і у комплексах з двома вибоями - досягає 50 м³/зм та 170 м³/зм відповідно. А у випадку одночасної роботи 3 вибоїв падіння середньої продуктивності екскаватора у комплексі складає 7 % і 24% його можливої продуктивності при сприятливих гірничотехнічних умовах (120 м³/зм та 600 м³/зм відповідно).

Результати свідчать, що кожного разу при існуванні на шляху транспортування ділянок з умовами, обмежувачими рух, необхідно обґрунтувати раціонально допустиму довжину ділянки (як правило, до 150-250 м) та провести техніко-економічне порівняння варіантів з можливістю виключення даного впливу на продуктивність комплексу.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розроблено імітаційну модель, що дозволяє проводити оцінку впливу типу виймально-навантажувального і транспортного обладнання, відстані транспортування гірничої маси та параметрів кар'єрних доріг на роботу екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру. Встановлено, що існує потенціал у досягненні високої продуктивності екскаватора за умови використання автосамоскидів більшої вантажопідйомності, оскільки час основної роботи виймально-навантажувального обладнання зростає при зменшенні сумарної тривалості маневрових операцій транспорту у вибої під час зміни. Наочно показано, що для кожного типу екскаваторно-автомобільного комплексу існують економічно доцільні межі використання в залежності від відстані транспортування. Автосамоскиди більшої вантажопідйомності мають значний потенціал у раціональному використанні за значних відстаней транспортування.