

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Хорольский А.А., Гринев В.Г.

Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины, Днепр, Украина, khorolskiyaa@ukr.net

Введение. Процесс проектирования весьма сложен и трудоемок. Сложность процесса объясняется не только целевой функцией, но и многообразием параметров, которые следует учесть. Более того, проблема заключается в том, что параметры могут быть различны по своей природе, стадии технологического процесса и т.д. А трудоемкость процесса состоит не только в обосновании метода принятия решений, но и с экономией времени и вычислительными ресурсами. Выделим несколько принципиальных моментов, которые формируют актуальность исследования:

- многообразие методов принятия решений, которые условно можно разделить на информационные и оптимизационные [1], согласно проведенной классификации [2], на данный момент для планирования процессов горного производства существует более 80 различных модификаций используемых 23 методов принятия решений [3]; при этом, проблема, заключается в самой «философии» принятия решений при планировании производства, т.к. применение информационных методов предусматривает нахождение более «предпочтительного» решения, но не всегда это может быть экономически обоснованно, в тоже время, оптимизационные методы позволяют найти оптимальное решение по ряду параметров, но не всегда возможно обосновать в комплексе технологию, возникает проблема «узких мест»;

- наличие параметров различных по своей природе и степени влияния на технологический процесс, т.е. конечным итогом освоения месторождения полезных ископаемых, является готовая продукция в виде добытого полезного ископаемого (возможно также 1 кВт электроэнергии, 1 т металла и т.д.), но перед тем как получить конечную продукцию существует от одного десятка стадий до нескольких, начиная с освоения месторождения, выбора технологии добычи, обогащения и т.д., таким образом, на каждой стадии существует множество параметров, которые могут влиять на эффективность конкретной стадии, но при этом их целесообразно учитывать в общей модели;

- необходимость в наличие метода, который позволяет сформировать банк проектных решений, а также потребность в программной реализации;

- предложенный подход должен учитывать не только экономические, но и экологические преимущества предложенного решения [4].

В работах [2, 5] представлен анализ методов и моделей принятия решений для проектирования процесса освоения месторождений. Однако, учитывая целевую функцию и конечную цель необходимо обосновать область применения указанных подходов.

Кроме того, процесс проектирования освоения месторождений полезных ископаемых должен предусматривать:

- комплексную организацию технологии получения конечной продукции из полезного ископаемого, а для этого необходимо обосновать рациональные параметры разработки месторождений, производственные взаимосвязи и т.д.;

- учет интеграции предприятия в экономику региона, что предусматривает анализ взаимосвязи шахты, рудника, разреза и т.д. с обогатительными фабриками, электростанциями, металлургическими комбинатами, т.е. извлеченное полезное ископаемое нужно рассматривать как промежуточную цепочку в системе генерации электроэнергии, металла и т.д.;

- определение рационального объема извлечения полезного ископаемого [6];

- экономию временных и вычислительных ресурсов.

Таким образом, из выделенных четырех проблем, возникает актуальная научная задача, которая заключается в разработке научных основ оптимального проектирования процесса

природопользования. Возможность решения указанных проблем будет рассмотрена в представленном исследовании, а предлагаемые в работе методы и модели позволят, с позиции оптимального проектирования, обосновать область их применения.

Методы исследований. Прежде чем перейти к изложению основного материала необходимо остановиться на терминах, которые позволят очертить концепцию оптимального проектирования процесса природопользования.

Модель (фр. *modèle* от лат. *modulus* «мера, аналог, образец») – система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе [7]; представление некоторого реального процесса, устройства или концепции [8]. Следуя этому определению, сделаем первое допущение, что для процесса проектирования освоения месторождений полезных ископаемых стоит воспользоваться графами и сетями. Это «промежуточный» тип моделей, который сочетает в себе преимущества эвристических и натуральных моделей, а также, обладает рядом преимуществ: наглядность, упорядоченность, возможность программной реализации. Следуя понятию «модели» можно установить, что наиболее предпочтительным будет модель «принципа действия» [9], т.е. совокупности последовательности типов действий, которые ведут к желаемому функционированию системы. Наличие методов и способов определяет функционирование этой модели.

Метод – совокупность приемов и способов теоретического познания или практического освоения действительности [10]. Следуя этому определению можно утверждать, что понятие метода предусматривает наличие алгоритма получения решения. Таким образом, из определения «метод», мы подтверждаем адекватность применения графов и сетевых моделей, т.к. они учитывают функциональные взаимосвязи между объектами, что позволяет обосновать желаемые параметры функционирования системы.

Следую этим определениям [7-10] делаем второе допущение, что процесс проектирования освоения месторождений полезных ископаемых предусматривает не только наличие взаимосвязей между объектами инфраструктуры, технологическими процессами, операциями цикла производства продукции, но и уровни организации.

Уровень – степень, характеризующая качество, высоту, величину развития чего-либо [11]. Таким образом, понятие «уровень» позволяет сформировать суть оптимального проектирования, которое определяется не только конечным результатом в виде проекта эффективного освоения месторождения, но и рациональным выбором инструментов с помощью которых принимается решение [12, 13].

Таким образом, систематические исследования в данном направлении позволили перейти к решению этой проблемы. В соответствии с поставленной целью необходимо рассмотреть процесс в комплексе. Условно решение проблем можно систематизировать по звеньям технологического процесса, то есть «от забоя» до конечной продукции. Предлагается следующее разделение «на уровни», которое позволит комплексно взглянуть на проблему проектирования процесса освоения.

Уровень I «стратегический», на котором решаются вопросы с определением рационального объема производства, определением целесообразности эксплуатации предприятия, определением общего уровня производства. Решение вопросов на этом уровне позволяет сделать вывод о дальнейшей эксплуатации предприятия. Для этого могут быть применены инструменты маржинального анализа. Комплексные исследования, проведенные В. Гриневым [14, 15], П.В. Череповским [16] свидетельствуют о том, что данные инструменты действительны независимо от типа полезного ископаемого. В результате приведенных расчетов установлено, что как для угля так и для золота применения приведенного инструментария позволяет решать проблему [17]. Также, очень важно учитывать степень техногенной нагрузки на окружающую среду. Представление технологического процесса в виде сетевой модели и ранжирование технологий по степени техногенной нагрузки на окружающую среду (на основе данных экологов) позволяет предусмотреть на стадии проектирования дополнительные меры по обогащению полезных ископаемых [18]. Таким образом, рассматривается не только экономическая, но и экологическая стратегия освоения месторождения.

Уровень II «интегрированный», на котором решаются вопросы относительно функционирования предприятия в системе генерации конечной продукции (угля, кокса, металла). Успешное решение этого вопроса позволяет сформировать представление о качестве полезного ископаемого, а также взаимосвязи в структуре получения конечной продукции. Для этого может быть применен декомпозиционный подход, то есть разделение проблемы на уровни [19].

Уровень III «очистной забой», на котором решаются вопросы, связанные с выбором очистного оборудования, а также обоснованием рациональных технологических параметров. Успешное решение вопросов на этом уровне позволяют получить продукцию в виде горной массы, которая является составляющей в системе генерации электроэнергии, кокса или металла. Исследования, проведенные П.П. Николаевым [20, 21], позволили сформировать представление о подходах к выбору средств механизации и обоснованию рациональной области эксплуатации. В работах [22, 23] определены системные принципы и оценочный критерий надежности при оптимизации технологических цепочек очистного оборудования. Исследования базируются на применении теории графов. Оптимизация параметров позволяет снизить удельную себестоимость добычи и увеличить производительность забоя.

Уровень IV «технологический», на котором решаются вопросы, связанные с организацией технологических связей в рамках предприятия. Успешное решение вопросов на этом уровне позволяет снизить себестоимость, ликвидировать «узкие места» и др. В.Г. Гриневым предложено применять методы динамического программирования [24].

Итак, рассмотренное деление на уровни и предложенные методы, позволяют сделать важное обобщение, что процесс освоения месторождений полезных ископаемых базируется на учете концептуальных основ природопользования [25, 26], для реализации которых необходимо предусматривать следующие особенности проектирования этого процесса:

- В качестве критерия оптимальности предлагается философская категория «качество», которая выражает совокупность существенных признаков, особенностей и свойств, которые отличают один предмет или явление от других и придают ему определенность.

- В условиях экологически загрязняющего производства, для особо ценных полезных ископаемых (например, золото) в категории «качество» можно отнести степень негативного воздействия на окружающую среду, которое определяется на основе экспертной оценки со стороны экологов [27, 28, 29].

- Из категории «качество» следует следующее важное определение, совокупность признаков определяет сам процесс, это и есть изменение состояния запасов, то есть уголь проходит этап от добытого полезного ископаемого к электроэнергии или металлу.

- Независимо от параметра (целевой функции), который необходимо минимизировать (максимизировать) для выбора оптимального сценария производства его можно представить в виде единой структуры, а не отдельно каждый, чтобы реализовать возможность оптимизации процесса получения конечной продукции. Эффективность всего процесса зависит от совокупной эффективности заданного количества параметров на всех предыдущих этапах.

- Сведения об объеме производства определяются на основе определения и сравнения сумм, которые дает каждая дополнительная единица продукции с одной стороны в валовые доходы, а с другой – в валовые расходы.

- Каждое полученное решение будет оптимальным в рамках области рационального проектирования.

Указанные принципиальные моменты позволяют для реализации технологии оптимального проектирования природопользования применить метод динамического программирования, который основан на принципе оптимальности Р. Беллмана [30].

Результаты исследований. В соответствии с делением на уровни возникает потребность в описании методов поиска оптимальных решений. Представим в табл. 1 характеристику каждого уровня.

Таблица 1 – Характеристика уровней процессов освоения месторождений полезных ископаемых

Обозначение	Название уровня	Характеристика процесса	Целевые функции
I	стратегический	непрерывный процесс	объем извлечения полезного ископаемого, степень техногенной нагрузки
II	интегрированный	непрерывный процесс	стоимость единицы готовой продукции, качество продукции
III	очистной забой	обособленный во времени	удельная себестоимость тонны добытого полезного ископаемого, трудовые затраты и т.д.
IV	технологический	обособленный во времени	себестоимость тонны добытой продукции, общие затраты

Из таблицы 1 следует, что для принятия решений могут быть использованы методы дискретной математики, а также методы динамического программирования.

Область использования методов динамического программирования – непрерывные процессы, т.е. осуществляется переход запасов из одного состояния в другое, при этом состояние на предыдущем этапе определяет текущие и все последующие состояния.

Область применения методов дискретной математики – обособленные во времени и пространстве процессы. Например, выбор средств механизации, организация технологии крепления выработок и т.д. Необходимо дать однозначный ответ. Если предприятие не интегрировано в цепочку генерации энергии или металла, то нецелесообразно применять методы динамического программирования, т.к. процесс прерывен. Можно сформировать область использования приведенных подходов с позиции оптимального проектирования (табл. 2).

Таблица 2 – Область применения инструментов оптимизации параметров эксплуатации

Название уровня	Метод	Характеристика процесса	Критерий оптимальности	Алгоритмы
стратегический (I), интегрированный (II)	динамическое программирование	непрерывный процесс	качество продукции через изменение состояния запасов	Р. Беллмана
очистной забой (III), технологический (IV)	дискретная математика	обособленный процесс	себестоимость и др.	Дейкстры, Флойда

Рассмотрим алгоритмы динамического программирования, а также средства принятия решений.

Процесс принятия решения (поиска стратегии управления) заключается в представлении процесса в виде упорядоченной структуры – сетевой модели [31]. Вершинам соответствуют типы оборудования, варианты технологии, а расстоянию (длине) между вершинами – значение оптимизационного параметра (стоимость, временные затраты и др.). Наиболее короткий путь (иногда наиболее длинный – все зависит от целевой функции) будет соответствовать оптимальному решению. При этом связи между вершинами соответствуют реальным взаимосвязям, что исключает принятие неверного решения [32]. Принятие единого решения на каждой стадии способствует принятию верного решения и на последующих этапах, что согласуется с принципом Р. Беллмана (принцип динамического программирования)

[30]: оптимальная стратегия имеет свойство, что какими бы ни были начальное состояние и начальное решение, последующие решения должны составлять оптимальный курс действий по отношению к состоянию, полученному в результате первого решения. Иными словами, оптимальная стратегия зависит только от текущего состояния и цели, и не зависит от предыстории [33]. В работе [34] обобщен многолетний опыт эффективного применения методов динамического программирования при освоении месторождений полезных ископаемых. Институтом физики горных процессов НАН Украины разработано специализированное программное обеспечение, которое позволяет решить данную задачу [35].

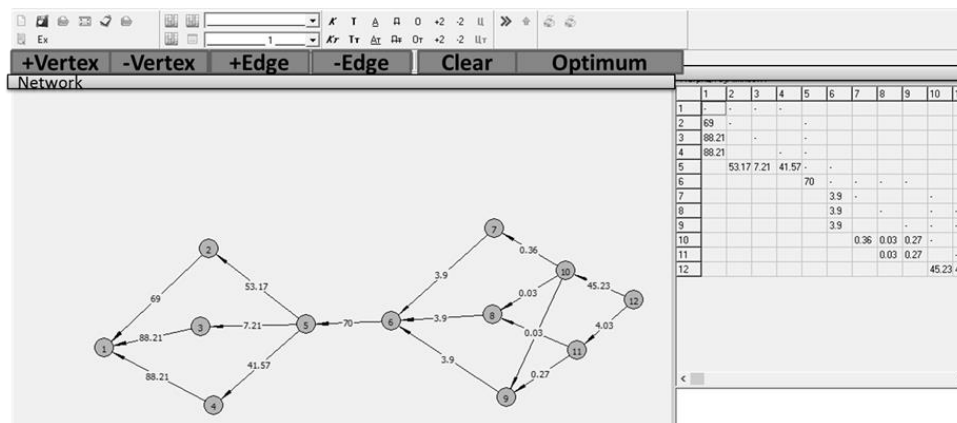


Рисунок 1 – Фрагмент рабочего окна программы «Динамического программирования альтернативного графа на минимум» [35]

Применение описанной программы позволит учесть взаимосвязи между различными состояниями запасов во времени.

Для решения задач оптимизации параметров эксплуатации можно воспользоваться методами дискретной математики – сетями и графами. Прежде всего, это обусловлено наглядностью и информативностью. Идея заключается в том, что описанные характеристики можно представить универсальным графом, т.е. упорядоченной структурой, в качестве вершин принимаем параметры, а в качестве расстояний между вершинами значения этих параметров (рис. 2).

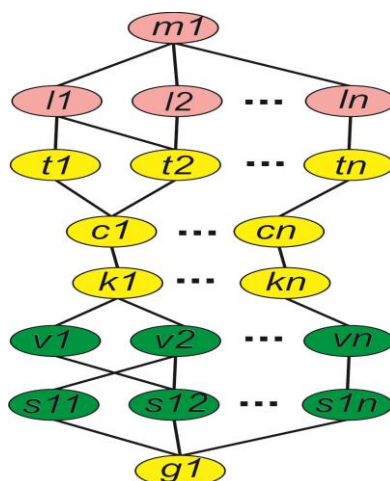


Рисунок 2 – Универсальный граф выбора альтернатив [37]

В данном графе (рис. 2) вершинам будут соответствовать следующие значения технологических параметров: m_1 – мощность пласта, $l_1 \dots l_n$ – длина очистного забоя, $t_1 \dots t_n$ – стоимостные параметры механизированной крепи, $c_1 \dots c_n$ – стоимостные параметры очистных комбайнов, $k_1 \dots k_n$ – стоимостные параметры забойных конвейеров, $v_1 \dots v_n$ – объемы добычи рассматриваемых цепочек; $s_{11} \dots s_{1n}$ – удельная себестоимость; g_1 – рациональная цепочка

компонента цепи. Для каждого набора условий эксплуатации существует отдельная модель. Кратчайший маршрут будет соответствовать оптимальной альтернативе с позиции минимизации оптимизационного параметра. Нами разработано соответствующее программное обеспечение (рис. 3) [38, 39].

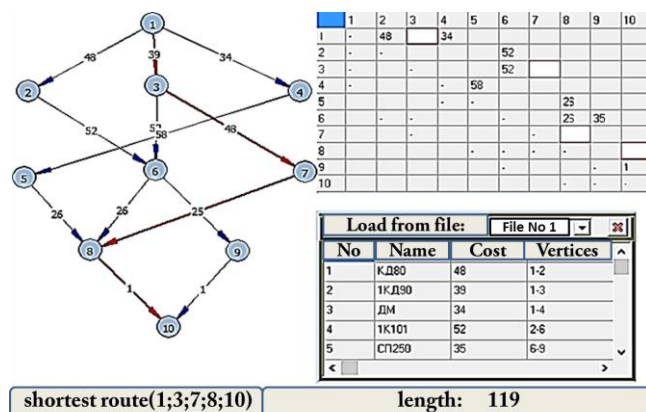


Рисунок 3 – Окно программы «Нахождения кратчайших маршрутов между всеми вершинами сетевой модели» [2]

Таким образом, с позиции оптимального проектирования обосновано область применения методов дискретной математики и динамического программирования. Характерной особенностью, которых является графовое представление производственных взаимосвязей с последующей формализацией в сетевые модели.

Выводы. В рассматриваемой работе предложен новый инновационный подход к проектированию освоения месторождений полезных ископаемых. Характерной особенностью которого, является то, что само полезное ископаемое рассматривается не «как конечный продукт», который следует извлечь, а только, как промежуточное звено в структуре генерации энергии, выплавки металла и др. Это позволяет рассматривать процесс эксплуатации через изменение состояния запасов, что в свою очередь формирует стратегию освоения. Стратегия освоения предусматривает построение сценариев (экономических, экологических) в рамках, которых решается «узкая» задача, связанная с организацией работ, оптимизацией себестоимости и др.

Список литературы:

1. Khorolskiy, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. E3S Web Of
2. Khorolskiy, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Demchenko Yu. (2019). Models and methods to make decisions while mining production scheduling. Mining of Mineral Deposits, 13(4),53-62. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.053>
3. Hrinov, V. & Khorolskiy, A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, (60), 00017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>
4. Khorolskiy, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. Procedia Environmental Science, Engineering and Management, 6(3),463-471.
5. Khorolskiy, A., & Hrinov, V. (2020). Otsinka i vybir parametriv pry rozrobtsi rodovyshch korysnykh kopalyn. Fyziko-tekhnycheskie problemy hornoho proizvodstva, (22), 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>
6. Hrinov, V., & Khorolskiy, A. (2019). Optymalne proektuvannia parametriv hirnychozbahachuvalnykh pidpriemstv dlia ratsionalnoho osvoiennia tsinnykh rodovyshch Ukrainy.

- Fiziko-tehnicheskie problemy hornogo proizvodstva, (21), 128-145. <https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.008>
7. ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering – Vocabulary IEEE Std 1233–1998 (R2002) IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications
 8. Когаловский М. Р. и др. Глоссарий по информационному обществу / Под общ. ред. Ю. Е. Хохлова. – М.: Институт развития информационного общества, 2009. – 160 с.
 9. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 376 с.
 10. Джонсон-Лэрд Ф. Процедурная семантика и психология значения // Новое в зарубежной лингвистике. – Вып. 23 (Когнитивные аспекты языка). – М.: Прогресс, 1988. – С. 234–258.
 11. Мишанкина Н. А. Метафора в науке: парадокс или норма? – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010.- 282 с.
 12. Хорольский, А.А. Использование динамического программирования для проектирования горного производства при ограниченных ресурсах / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: VI Международная научно-техническая интернет-конференция, 17–18 ноября 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/49907>
 13. Гринев В.Г., Хорольский А.А. Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых // Горно-геологический журнал. – 2017. – № 51. – С. 18–24.
 14. Хорольский А.А., Гринев В.Г. Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых // Геология и охрана недр. – 2018. – № 3 (68). – С. 68–75.
 15. Хорольський, А., Грін'юв, В., & Мамайкін, О. (2019). Інноваційні перспективи підземної експлуатації вугільних родовищ. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки, 1(83), 289-298. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-289-298](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-289-298)
 16. Гринев В.Г. Инновационные перспективы эксплуатации угольных пластов крутого падения / В.Г. Гринев, П.В. Череповский, А.И. Деуленко. – Днепропетровск: видавництво «Пороги», 2015. – 180 с.
 17. Khorolskyi, A. O., & Hrinov, V. H. (2018). Proektuvannia tekhnolohichnykh skhem hirnychoho vyrobnytstva v umovakh nevyznachenosti. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornogo proizvodstva*, 20, 132-146.
 18. Грін'юв, В.Г., Хорольський, А.О., & Каліущенко, О.П. (2019). Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин. Мінеральні ресурси України, (2), 46-50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>
 19. Грін'юв, В. Г., Хорольський, А. О., & Мамайкін, О. Р. (2019). Оцінка стану та оптимізація параметрів технологічних схем вугільних шахт. *Вісник Криворізького національного університету*, (48), 31-37.
 20. Гринев В.Г., Череповский П.В., Николаев П.П. Обоснование рациональных параметров добычи угля на шахтах с крутым падением пластов. Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. 2010. № 13. С. 142–149.
 21. Гринев В.Г., Николаев П.П., Деуленко А.И., Череповский П.В. Технологические аспекты физики горных процессов. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2013. № 13. С. 197–208.
 22. Khorolskyi, A.A., & Hrinov, V.G. (2017). Systemni pryntsyipy ta otsinochni kryterii nadiinosti pry optymizatsii tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh rodovyshch. *Visnyk Zhytomyrskoho Derzhavnoho Tekhnolohichnoho Universytetu*, 80(2), 225–233. [https://doi.org/10.26642/tn-2017\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017(80)-225-233)
 23. Хорольський, А. О., & Грін'юв, В. Г. (2018). Формування структури комплексного механізованого вибою з заданим рівнем видобутку. *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту*, 27-28.

24. Grinov, V.G., & Horolskiy, A.O. (2018). *MozhливostI effektivnogo osvoennya rudnih rodovisch iz zapasami ridkisnih i blagorodnih metaliv. Fiziko-tehnicheskie problemyi gornogo proizvodstva*, (20), 113–122.
25. Грінюв, В. Г., & Хорольський, А. О. (2020). Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (2), 19-24.
26. Хорольський А.А. Возможности создания новой технологии оптимального проектирования природопользования / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев // *Горно-геологический журнал*. – 2020. – №61. – С. 4–12.
27. Petlovanyi, M.V., Ruskykh, V.V., Zubko, S.A. (2019). Peculiarities of the underground mining of high-grade iron ores in anomalous geological conditions. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 28(4), 706-716.
28. Petlovanyi, M. (2016). Influence of configuration chambers on the formation of stress in multi-modulus mass. *Mining of Mineral Deposits*, 10(2), 48–54. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.048>
29. Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Zubko, S., Saik, P., & Sai, K. (2019). The influence of geology and ore deposit occurrence conditions on dilution indicators of extracted reserves. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 34(1), 83-91. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.8>
30. Bellman, R., & Dreyfus, S. (1965). *Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya*. Moskva: Nauka, 460.
31. Сынков, В. Г., Гринев, В. Г., & Хорольский, А. А. (2016). Применение базовых алгоритмов оптимизации для выбора очистного оборудования. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, (2), 117-124.
32. Хорольский, А. О., Гринев, В. Г., & Сынков, В. Г. (2016). Выбор комплексов горно-шахтного оборудования на основе теории графов. *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Серія: Гірництво*, (31), 57-64.
33. Хорольский, А. А., Гринев, В. Г., & Сынков, В. Г. (2016). Обоснование возможности применения классической теории графов для выбора комплексов горного оборудования. *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта*, (3), 57-64.
34. Сынков, В. Г., Гринев, В. Г., & Хорольский, А. А. (2016). Оценка уровня взаимосвязи очистного оборудования в составе механизированного комплекса. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, (1), 124-131.
35. Грінюв, В. Г., & Хорольський, А. О. (2018). Комп'ютерна програма «Програма вибору оптимальних комплектацій очисного обладнання на основі універсальних графів» («CountsSEM. v1. p2. 6_c25»). Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 74856. Зареєстр. 20.11. 2017 р.; опубл. 26.01. 2018 р. *Авторське право та суміжні права*.
36. Гринев, В. Г., & Хорольский, А. А. (2017). Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (1), 139-144.
37. Гринев, В. Г., & Хорольский, А. А. (2018). Проектирование технологических схем очистного оборудования с использованием сетевых моделей: опыт и перспективы. *Горная механика и машиностроение*, (4), 12-21.
38. Hrinov, V. H., Khorolskiy, A. O., & Mamaikin, O. R. (2019). Otsinka stanu ta optymizatsiia parametriv tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh shakht. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, 48, 31-37.
39. Гринев В.Г., Хорольский А.А. Оптимизация параметров эксплуатации очистного оборудования // *Уголь Украины*. – 2018. – №. 9. – С. 37–42.