

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ГАЛИТОВЫЕ ОТХОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ

Ч.Б. Конгар-Сюрюн<sup>1</sup>, В.В. Фараджов<sup>1</sup>, Ю.С. Тюляева<sup>1</sup>, А.М. Хайрутдинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: Cheynesh95@mail.ru

**Аннотация:** В качестве альтернативного варианта при отработке водорастворимых руд предложено применение системы разработки с искусственным поддержанием очистного пространства, позволяющей снизить вероятность возникновения техногенных катастроф. Рекомендовано использование в закладочной смеси галитовых отходов обогащения, что позволит улучшить технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия и экологическую обстановку в районе ведения горных работ. Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на выбор технологии разработки с искусственным поддержанием очистного пространства. Обозначены преимущества и недостатки использования технологии закладки. Раскрыты аспекты приготовления твердеющей закладки и вопросы улучшения ее качества путем активации компонентов. Проведен анализ проблем, возникающий при транспортировании закладочной смеси от места приготовления к месту укладки в выработанном пространстве. Рассмотрен вопрос замены специально добываемых материалов, используемых в качестве инертного заполнителя в закладочных смесях, на галитовые отходы обогащения, прошедшие активационную обработку в дезинтеграторах, что позволит снизить стоимость закладочных работ при сохранении заданных параметров закладки. Установлено, что активация галитовых отходов обогащения, используемых в закладочной смеси в качестве инертного заполнителя, и готовой смеси позволяет существенно улучшить качество закладочной смеси, ее транспортабельность и прочностные характеристики закладочного массива. Установлено, что закладочная смесь, полученная на основе активированных галитовых отходов, менее подвержена расслоению, более подвижна и однородна по составу. Разработана технологическая схема приготовления закладочной смеси на основе галитовых отходов обогащения, прошедших дезинтеграционную активационную обработку. Предложена концепция, исключающая образование отходов и предполагающая применение промежуточных продуктов в циклическом производстве.

**Ключевые слова:** активация, безотходное производство, геотехнология, дезинтегратор, закладка выработанного пространства, закладочный массив, закладочный материал, закладочные работы, закладочная смесь, массив горных пород, набор прочности, отходы горного производства, подземная разработка, породные отвалы, транспортирование, трубопровод, хвосты обогащения.

**Для цитирования:** Конгар-Сюрюн Ч.Б., Фараджов В.В., Тюляева Ю.С., Хайрутдинов А.М. Исследование влияния активационной обработки на галитовые отходы обогащения при приготовлении закладочной смеси // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 43–57. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57.

---

## Effect of activating treatment of halite flotation waste in backfill mixture preparation

Ch.B. Kongar-Syuryun<sup>1</sup>, V.V. Faradzhov<sup>1</sup>, Yu.S. Tyulyaeva<sup>1</sup>, A.M. Khayrutdinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,  
e-mail: Cheynesh95@mail.ru

---

**Abstract:** It is proposed to include backfill in water-soluble ore mining as an alternative choice to reduce the risk of manmade accidents. It is recommended to prepare backfill mixtures using halite flotation waste, which can improve both the engineering-and-economical performance of a mine and the ecological situation in the area of mining. The factors governing the choice of a technology of mining with backfill are discussed. Advantages and disadvantages of backfilling are identified. Preparation of cemented backfill mixture and its improvement using activating components are described. The problem associated with haulage of backfill mixture from preparation area to placement site is analyzed. Specially produced materials to be used as an inert aggregate in backfill mixtures can be replaced by halite flotation waste after activating treatment in disintegrators, which can cut down the backfill cost at the preserved project parameters of backfill. It is found that activation of halite flotation waste used as an inert aggregate in backfill mixture appreciably improves the quality of backfill, its flowability and strength. Backfill mixture prepared using activated halite waste is less stratifiable, better flowable and more uniform. The process flow chart is developed for preparation of backfill mixtures using halite flotation waste after activation by disintegration. The concept of the no-waste technology, with use of middlings within the cycle manufacturing is proposed.

**Key words:** activation, waste-less production, geotechnology, disintegrator, backfilling, fill mass, backfill, rock mass, development of strength, mining waste, underground mining, waste piles, haulage, pipeline, flotation tailings.

**For citation:** Kongar-Syuryun Ch. B., Faradzhov V. V., Tyulyaeva Yu. S., Khayrutdinov A. M. Effect of activating treatment of halite flotation waste in backfill mixture preparation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):43-57. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-43-57.

---

### Введение

Постоянное увеличение потребляемых ресурсов предопределяет высокие темпы развития геотехнологии и интенсификацию извлечения полезных ископаемых, что сопряжено с определенными как производственными, так и экологическими рисками. За последнее полвека при извлечении полезных ископаемых из недр Земли наблюдается увеличение частоты геотехногенных катастроф: 1986 г. — провал поверхности БКПРУ-3 «Уралкалий», Пермский край; 1999 г. — горный удар на руднике «Умбозеро» в Мурманской области; 2007 г. — провал поверхности на БКРП-1 «Уралкалий», Пермский край; 2014 г. — прорыв воды на рудник «Соликамск-2», Пермский

край; 2017 г. — прорыв воды из отработанного карьера в подземный рудник на предприятии «Мир» в Якутии; 2019 г. — обрушение на рудниках «Корбалихинский» Алтайский край, «Сарылах» в Якутии, «Ново-Кальинская» в Свердловской области и другие. Некоторые из данных катастроф привели не только к временному прекращению работы на руднике, но и вызвали его разрушение, что повлекло за собой потерю запасов месторождения [1].

Возникновение геотехногенной катастрофы, как и любой другой, происходит в результате стечения ряда неблагоприятных факторов и появления нескольких причин. Ошибки при проектировании рудника, отклонения от

проекта или ошибки при строительстве являются наиболее частыми причинами возникновения геотехногенной катастрофы. Ранее допущенные ошибки могут усугубиться при неправильной эксплуатации или попытке внести изменения в проектные работы в ходе эксплуатации рудника.

Все это свидетельствует о необходимости более детального подхода к выбору технологии разработки в момент проектирования рудников и тщательном контроле в момент строительства и эксплуатации.

Другой важнейшей проблемой является складирование пустой породы от проходческих и вскрышных работ и отходов обогащения: изымаются значительные площади сельскохозяйственных угодий, загрязняются расположенные неподалеку водоемы и изменяется уровень грунтовых вод [2]. Кроме того, породные отвалы и пляжи хвостохранилищ являются источниками пылеобразования.

В свою очередь эффективное применение техногенных отходов горно-промышленного производства непосредственно при извлечении полезного ископаемого позволит исключить негативные последствия, связанные с хранением и складированием их на поверхности [3]. Размещение отходов горно-обогатительных производств в подземных горных выработках (камерах) и пустотах создает благоприятные предпосылки для внедрения щадящих, безотходных технологий при разработке рудных месторождений [2, 3]. Такой подход позволяет практически полностью исключить затраты на сооружение и эксплуатацию хвостохранилищ и породных отвалов.

### **Геотехнология с искусственным поддержанием естественного пространства**

Применение технологии с искусственным поддержанием очистного про-

странства является одним из способов снижения рисков возникновения геотехногенных катастроф [1, 2].

Анализ мирового опыта разработки месторождений полезных ископаемых свидетельствует, что около 1/3 горных предприятий применяют системы с искусственным поддержанием очистного пространства [1, 3, 4].

На выбор технологии с закладкой выработанного пространства влияют следующие факторы: повышение безопасности ведения подземных горных работ; увеличение глубины горных работ; улучшение полноты выемки полезных ископаемых; увеличение срока службы предприятий; отработка под охранными объектами (необходимость сохранения земной поверхности).

Применение на ряде горнодобывающих предприятий систем с твердеющей закладкой на основе дорогостоящего цементного вяжущего зачастую вызвано высокой ценностью добываемого сырья [1, 5]. Ввиду низкой ценности полезного ископаемого на угольных месторождениях технология с закладкой не получила широкого распространения. Возможности и случаи применения, способы и виды закладки на угольных месторождениях рассмотрены в работе [4]. В настоящее время от применения закладки при извлечении угля отказались.

Преимущества применения систем разработки с закладкой выработанного пространства рассмотрены в работах [1–5]. При этом переход от геотехнологии с естественным поддержанием очистного пространства к геотехнологии с закладкой не только улучшит качественно-количественные показатели извлечения полезного ископаемого, но позволит производить повторную отработку целиков, что приведет к увеличению срока существования рудника. Такое положение помимо экономического

аспекта решает социальный вопрос в регионах, где горнодобывающее предприятие является градообразующим.

Наличие большого количества преимуществ подземной геотехнологии с закладкой выработанного пространства не всегда позволяет их реализовать ввиду высокой стоимости компонентов закладочной смеси в частности и закладочных работ в целом, что удорожает добычу полезного ископаемого и увеличивает себестоимость добываемого сырья. Полная реализация преимуществ технологии с закладкой предопределяет ряд направлений исследовательской деятельности: поиск и разработка недорогих вяжущих компонентов; совершенствование закладочной смеси и компонентов, входящих в ее состав; совершенствование технологических процессов закладочных работ, что позволит снизить себестоимость закладочных работ при сохранении необходимой высокой степени безопасного ведения горных работ.

При извлечении полезных ископаемых с применением систем с искусственным поддержанием очистного пространства наиболее часто используют закладочную смесь, которая является композитным материалом, способным твердеть в горношахтных условиях. Данная смесь имеет в своем составе: вяжущий материал; инертный наполнитель; воду затворения и химические добавки [6]. Зачастую инертный наполнитель — это специально добываемые или строительные материалы: песок; щебень и т.п. Но перспективными для применения в качестве инертного наполнителя являются промежуточные продукты горного и промышленного производства: шлаки; хвосты обогатительных фабрик; золотшлаки ТЭЦ и другие. Необходимо учитывать ряд экономических, экологических и других ограничений при применении отходов горного и

промышленного производства в закладочной смеси [7, 8].

Факторы, влияющие на выбор состава твердеющей закладочной смеси для различных систем разработки, рассмотрены в работах [9, 10]. При этом необходимо учесть, что определение оптимальных реологических свойств твердеющей смеси обеспечивают [11 – 14]:

- устойчивое транспортирование по трассе закладочного трубопровода;
- отсутствие расслоения на всех этапах закладочных работ;
- равномерное растекание по камере;
- необходимую глубину проникновения в породу при использовании комбинированного способа закладки камер.

Активации закладочного раствора и отдельных его ингредиентов ведет к увеличению прочностных характеристик и улучшению однородности искусственного массива, позволяет использовать новые материалы в составе закладочной смеси, в том числе отходы производства [14 – 16].

### **Активация как способ улучшения качества закладочной смеси**

При создании закладочных смесей в настоящее время занимаются вопросами разработки принципиально новых материалов [5, 14, 17, 18]. Создание нового композитного закладочного материала подразумевает изменение его структуры путем изменения внутреннего устройства материала за счет формирования новых или вторичных кристаллических структур [22], что повышает прочностные характеристики омоноличенного массива. На данном этапе наиболее простым и наиболее дешевым способом, позволяющим изменить свойства материала, является активационная обработка компонентов закладочной смеси или готовой смеси в целом [5].

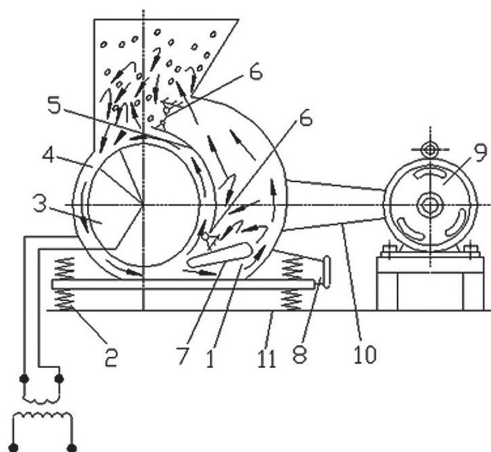


Рис. 1. Дезинтегратор: 1 – корпус; 2 – упругие опоры; 3 – ротор; 4 – дебаланс; 5 – откидной щиток; 6 – шарниры; 7 – рассекатель; 8 – разгрузочное устройство; 9 – электродвигатель; 10 – клиноременная передача; 11 – станина

Fig. 1. Disintegrator: 1 – housing; 2 – elastic support; 3 – rotor; 4 – unbalance; 5 – flapper; 6 – hinges; 7 – divider; 8 – discharger; 9 – electric motor; 10 – V-belt transmission; 11 – frame

Под активацией необходимо понимать один из способов обработки компонентов закладочной смеси в отдельности или готовой закладочной смеси, в результате которого свойства компо-

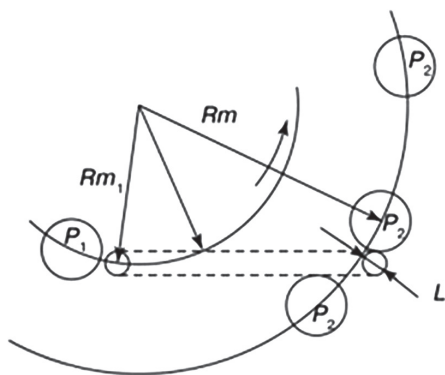


Рис. 2. Движение материала в рабочем органе:  $R_m$ ,  $R_{m_1}$  – радиусы круга пальцев;  $L$  – диаметр частицы материала;  $P_1$ ,  $P_2$  – центры соседних пальцев круга

Fig. 2. Material flow in disintegrator:  $R_m$ ,  $R_{m_1}$  – radii of disintegrator finger rows;  $L$  – particle diameter;  $P_1$ ,  $P_2$  – centers of neighbor fingers in row

нентов используются наиболее полно [15]. Цели, задачи и способы активации наиболее полно изучены и раскрыты в работах [14, 16, 19–22].

Одним из перспективных способов активации является механическая активация в дезинтеграторах [5] (рис. 1).

Обработку в дезинтеграторах галитовые отходы обогащения проходят перед их смешением с другими ингредиентами закладочной смеси.

Ввиду неравномерного перераспределения скоростей в рабочем органе дезинтегратора возникают большие внутренние напряжения (рис. 2), которые позволяют исключить в дальнейшем образование гидратных связей на поверхности зерен инертного заполнителя. Закладочная смесь, полученная на основе активированных галитовых отходов, менее подвержена расслоению, так как труднее «отдает» воду, более подвижна

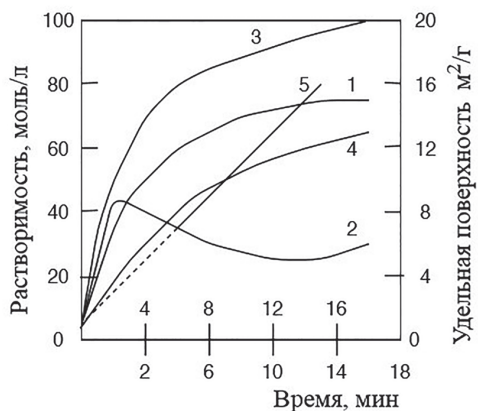


Рис. 3. Влияние продолжительности активации галитовых отходов обогащения на: 1 – растворимость; 2 – удельная поверхность неагрегированных порошков; 3 – удельная поверхность агрегированных порошков; 4 – аморфизация; 5 – сравнение роста удельной поверхности и растворимости

Fig. 3. Influence exerted by duration of activation of halite flotation waste on: 1 – solubility; 2 – specific surface of nondissociated powder; 3 – specific surface of dissociated powder; 4 – amorphization; 5 – increase of specific surface and solubility

Таблица 1

**Кинетика набора прочности закладки на основе галитовых отходов с активацией и без активации с различным содержанием компонентов**  
**Kinetics of development of strength in backfill made of halite waste with and without activation and at different contents of components**

Номер состава	Содержание компонентов, масс. %			Отношение насыщенного раствора к твердому	Прочность образцов при одноосном сжатии, МПа			
	отходы	активированные отходы	цемент		продолжительность твердения, сут.			
					7	28	60	90
1	—	99	1	0,125	0,125	1,5	2,1	2,3
1a	99	—	1	0,125	0,1	1,2	1,7	1,8
2	—	98	2	0,125	0,19	2,0	2,75	3,1
2a	98	—	2	0,125	0,15	1,6	2,2	2,4
3	—	100	—	0,15	—	0,13	0,3	0,35
3a	100	—	—	0,15	—	0,1	0,25	0,25

и однородна по составу (рис. 3). Применение галитовых отходов обогащения, прошедших дезинтеграционную активацию, в закладке позволяет повысить прочность омоноличенного массива на 25–30% или сократить расход цемента на 40–50% при сохранении его прежних прочностных характеристик (табл. 1, рис. 4).

Движение закладочной смеси с низкими реологическими свойствами по

трубопроводу затрудняется, вызывает образование «пробок» и преждевременное застывание смеси в трубопроводе [1, 4, 13, 16, 23, 24].

При транспортировании закладочной смеси с низкими реологическими свойствами предлагается использование гидродинамического активатора [25]. Принцип действия гидродинамического активатора основан на создании механических возмущений в движущейся

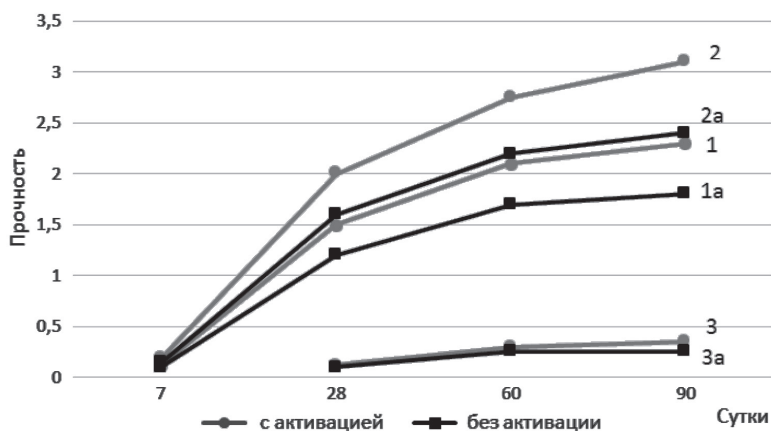


Рис. 4. Кинетика набора прочности закладки с различным содержанием вяжущего компонента и инертного заполнителя (отходы обогащения): вяжуще/отходы: 1 – 1/99; 2 – 2/98; 3 – 0/100

Fig. 4. Kinetics of development of strength in backfill at different contents of binder and inert aggregate (flotation waste): binder/waste: 1 – 1/99; 2 – 2/98; 3 – 0/100



закладочной смеси с образованием зон переменных скоростей и давлений, которые создаются энергией встраиваемого привода.

При движении по трубопроводу закладочная смесь проходит через гидродинамический активатор и активационную обработку, что позволяет создать большую однородность, повышенную текучесть и пластичность. Смеси, обладающие хорошей пластичностью и текучестью, в момент укладки наиболее полно заполняют выработанное пространство. Изменчивость давления и скорости движущейся закладочной смеси в неподвижных каналах позволяют обеспечить разрушение образовавшихся гидратных пленок, что позволит впоследствии увеличить скорость затвердевания закладочной смеси и прочность закладочного массива.

Для уменьшения расслаиваемости закладочной смеси при ее транспортировании по трубопроводу от места приготовления к месту укладки перспективна активация смесей в установках вибросамотечного транспорта [26–28]. В данных установках движение твердеющей закладочной смеси происходит за счет гидростатического давления, создаваемого в вертикальном стае, а вибрация способствует уменьшению сопротивления движению смеси по горизонтальному участку. Диспергированные частицы (глина, вяжущие и др.) при содержании в смеси 10–20%, взаимодействуя с водой, образуют структурные связи. При движении закладочной смеси в трубопроводе установки вибротранспорта под воздействием вибрации структурные связи разрушаются, и дисперсная среда переходит в тиксотропно-разжиженное состояние.

Основной поток смеси и внутренние стенки трубы разделены разжиженным пристенным слоем [28], который наименее абразивный, что уменьшает из-

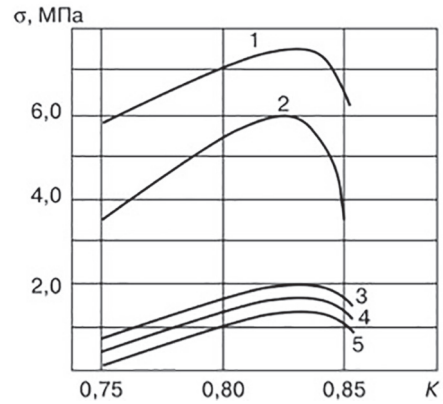


Рис. 5. Зависимость прочности смеси от концентрации твердого вещества (К) и способа доставки смеси: 1, 2 – вибросамотечный и самотечный способы при содержании глины 10% от массы заполнителя; 3 – вибросамотечный при содержании глины 30%; 4 и 5 – самотечный при содержании глины 30 и 40% соответственно

Fig. 5. Backfill strength as function of solid concentration (C) and backfill feed mode at different percentage of clay relative to aggregate mass: 1, 2 – vibratory gravity and gravity flows, clay content 10%; 3 – vibratory gravity flow, clay content 30%; 4, 5 – gravity flow, clay contents 30 and 40%, respectively

нос труб и увеличивает срок службы трубопровода.

Прочность искусственного массива существенно зависит от количества воды и глины (рис. 5). Максимальная прочность закладки достигается при концентрации  $K = 0,8-0,85$  и вибросамотечном способе транспортирования. Применение вибросамотечного транспорта позволяет доставить в отработанное пространство однородную закладочную смесь. Это исключает неравномерное распределение закладочного материала в момент его укладки, неоднородность закладочного массива после затвердевания смеси и образование разупрочненных зон, что позволяет создавать более прочный искусственный массив.

Достаточно эффективным способом активации является использование химических добавок, позволяющих регу-

лизовать сроки схватывания, подвижность закладочной смеси, прочностные характеристики омоноличенного массива и обеспечить полноту, однородность и лучшую укладываемость смеси при заполнении выработанного пространства. Анализ опыта применения химических добавок, их качественно-количественные характеристики, закономерности влияния на закладку достаточно полно рассмотрены в работах [20–22].

Ранее проведенные исследования [14, 16] показали эффективность применения химических добавок при использовании в закладке отходов в качестве инертного заполнителя, в том числе отходов водорастворимых руд [21, 22].

Однако следует признать, что выводы о возможности и эффективности применения химических добавок при использовании в качестве инертного заполнителя галитовых отходов обогащения, прошедших дезинтеграционную обработку, можно будет сделать после проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях для конкретного горнопромышленного предприятия.

#### **Технологическая схема приготовления закладочной смеси**

Технологическая схема приготовления закладочной смеси на основе галитовых отходов обогащения, прошедших дезинтеграционную активацию, включает в себя три основные линии: подачи отходов, подачи вяжущего, подачи насыщенного раствора и одну дополнительную: линию подачи активирующей добавки. Не смотря на то, что применение активирующих добавок не рассматривали в настоящем исследовании, но ввиду достаточно высокой эффективности ее применения [14, 16, 21, 22], линию подачи активирующей добавки включили в технологическую схему.

Приготовление твердеющей закладочной смеси на основе галитовых отходов включает в себя следующие операции (рис. 6):

- подачу галитовых отходов в накопительную емкость закладочного комплекса;
- подачу галитовых отходов в расходную емкость;
- активационную обработку галитовых отходов;
- подачу галитовых отходов после активационной обработки на емкость дозатора;
- доставку вяжущего цементовозами на закладочный комплекс и прием в силосы;
- подачу вяжущего в расходный бункер;
- доставку по трубопроводу с обоганительной фабрики насыщенного раствора или его приготовление;
- подачу насыщенного раствора в расходный бункер;
- доставку и складирование активирующей добавки на площадку комплекса;
- подачу активирующей добавки в расходный бункер;
- дозирование насыщенного раствора и активирующей добавки и их перемешивание в смесительном отделении;
- дозирование вяжущего и заполнителя и подача их конвейером в смесительный барабан;
- подачу затворителя (насыщенного раствора и активирующей добавки) по трубопроводу в смесительный барабан;
- перемешивание компонентов и приготовление закладочной смеси;
- подачу готовой закладочной смеси в закладочный трубопровод через распределительное устройство;
- технологический контроль за приготовлением закладочной смеси.

Технология приготовления закладочных смесей зависит от выбранного состава, поэтому закладочные установки



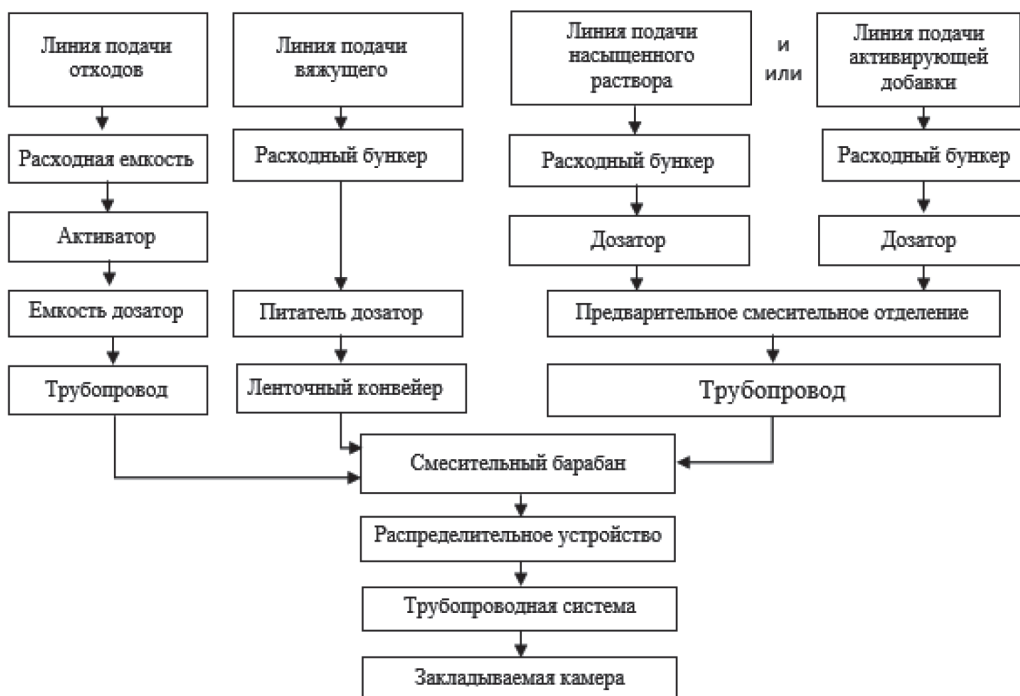


Рис. 6. Технологическая схема приготовления закладочной смеси  
 Fig. 6. Flow chart of backfill mixture preparation

должны обеспечивать возможность варьирования объемами дозирования компонентов смеси.

### Концепция безотходного горного производства

Перед человечеством стоит огромная проблема: ухудшение экологии в результате жизнедеятельности человека, в особенности при добыче полезного ископаемого [1–3, 5, 16, 22]. Утилизация отходов горного производства ввиду их большого объема и специфических особенностей практически невозможна. Использование промышленных отходов [7–11] наряду с отходами горного производства [1–3, 5, 16, 19–22, 24] является важнейшим экологическим аспектом во всем мире.

При этом необходимо очень строго подходить к использованию отходов производства, например хвостов обога-

щения, ввиду их возможного влияния в длительном времени на закладочный массив. Все факторы, влияющие на искусственный массив и процессы, которые могут начать происходить в закладочном массиве, невозможно смоделировать и проэкспериментировать в период исследований. Способы и методы контроля искусственного массива в натуре описаны в работе [29, 30].

С развитием науки, техники и технологии улучшаются качественные показатели обогащения, что подтверждает анализ химического состава хвостов обогащения, взятых с хвостохранилищ (до 2000 г. формирования) и непосредственно с производственной линии обогащения (табл. 2) на предприятии «Уралкалий».

Следовательно, для закладочных работ без дополнительной переработки можно использовать текущие хвосты га-

Таблица 2

**Химический состав галитовых отходов обогащения калийной руды**  
**Chemistry of halite flotation waste of potash processing**

Отходы обогащения		Компоненты	KCl	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Нерастворимый остаток	Br <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O крист.
галургические	лежалые	массовая доля, %	3,35	92,66	0,07	1,91	1,9	0,03	0,08
	текущие		1,91	94,3	0,07	1,914	1,7	0,026	0,08
флотационные	лежалые		9,96	82,64	1,1	4,488	1,7	0,032	0,08
	текущие		4,88	87,78	1,1	4,331	1,8	0,029	0,08

лургического способа обогащения. При использовании лежалых хвостов галургического способа обогащения и хвостов флотационного способа обогащения необходимо произвести их дополнительное обогащение. Его можно производить на мощностях обогатительной фабрики, освободившихся в результате уменьшения объемов добычи предприятия ввиду выхода из эксплуатации БКРП-1 «Уралкалий».

Одной из основных задач комплексного освоения недр является создание безотходного горного производства [31].

Утилизация в закладку отходов обогащения исключит необходимость их хранения на поверхности, что существенно

снизит влияние горного производства на экологическую обстановку региона. При оценке экономической эффективности использования отходов горно-обогатительного производства в закладочной смеси необходимо учесть повышение экономических показателей горнодобывающего производства, вызванных уменьшением затрат на инертный наполнитель; на создание и поддержание хвостохранилищ; на экологические отчисления, а также степень снижения вредного экологического воздействия на окружающую среду.

Применение отходов обогащения в качестве одного из компонентов твердеющих смесей позволяет реализовать

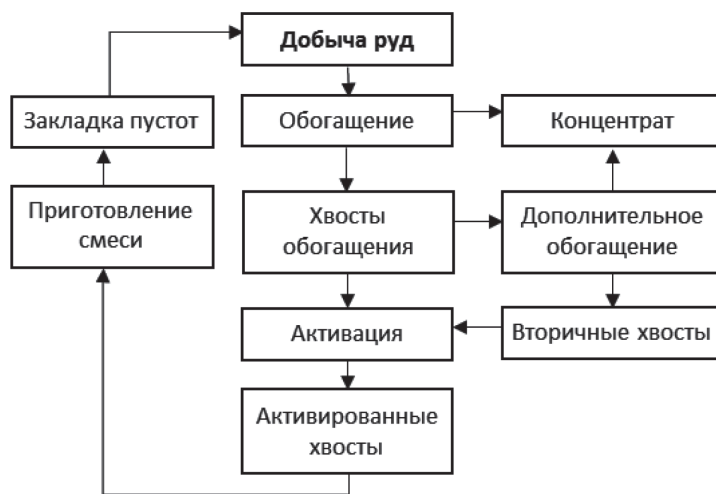


Рис. 7. Схема безотходного горного производства с комплексной утилизацией отходов добычи и переработки

Fig. 7. Operation diagram of mining with integrated recycling of mining and processing waste

концепцию производства продукции, исключая образование отходов и предполагающую использование промежуточных продуктов в замкнутом цикле основного и вспомогательного производства (рис. 7).

### **Выводы**

Применение различных способов активации закладочной смеси при ее транспортировании (использование гидродинамического активатора или установки вибротранспорта) позволяет контролировать ее качество на протяжении всего периода подачи, исключить расслоение и преждевременное затвердевание. Отсутствие гидратных пленок в закладочной смеси увеличивает скорость ее затвердевания после укладки и прочность омоноличенного массива.

Использование галитовых отходов обогащения, прошедших активационную обработку в дезинтеграторах, повышает прочность закладочного мас-

сива на 25–30% или сокращает расход цемента на 40–50% при сохранении прочностных характеристик закладочного массива. Применение отходов обогащения в качестве инертного заполнителя в закладочной смеси позволяет их утилизировать, что приводит к снижению расходов на закладку, следовательно, уменьшению себестоимости добываемой руды и дает возможность реализовать принцип организации горного производства, предусматривающий применение промежуточных продуктов в циклическом производстве и исключая образование отходов.

Идея безотходного производства дает возможность реализовать концепцию устойчивого развития региона, что не только вызовет улучшение экономических показателей горнодобывающего предприятия в настоящее время, но впоследствии, возможно, приведет к высокому мультипликативному экономическому эффекту.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хайрутдинов М. М. Пути совершенствования систем разработки с закладкой выработанного пространства // Горный журнал. — 2007. — № 11. — С. 40–43.
2. Хайрутдинов А. М., Тюляева Ю. С. Извлечение полезного ископаемого на небесных телах. Предпосылки, технологические аспекты и правовые основы / Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. — М.: ИПКОН РАН, 2019. — С. 280–283.
3. Хайрутдинов М. М. Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду // Горный журнал. — 2009. — № 2. — С. 64–66.
4. Хайрутдинов М. М., Шаймердянов Э. К. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 1. — С. 240–250.
5. Тюляева Ю. С. Применение галитовых отходов в закладочной смеси после активационной обработки в дезинтеграторах, как один из способов использования промежуточных продуктов в замкнутом цикле производства / Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник материалов 15-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 29–30.10.2019 г. Минск–Тула–Донецк: в 4 т. Т. 1. — Минск: БНТУ, 2019. — С. 211–219.
6. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей. — Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 1990.

7. Rybak J., Schabowicz K. Survey of vibrations generated in course of geotechnical works / NDE for Safety: 40th International Conference and NDT Exhibition: Proceedings, Pilsen Czech Republic. 2010, Brno University of Technology, pp. 237 – 246.

8. Papan D., Valaskova V., Drusa M. Numerical and experimental case study of blasting works effect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 44. No 5. Article 052052. DOI: 10.1088/1755-1315/44/5/052052.

9. Wyjadłowski M. Methodology of dynamic monitoring of structures in the vicinity of hydrotechnical works – selected case studies // Studia. Geotechnica et Mechanica. 2017. Vol. 39. No 4. Pp. 121 – 129. DOI: 10.1515/sgem-2017-0042.

10. Herbut A., Rybak J. Guidelines and recommendations for vibration control in the case of rapid impulse compaction / Advances and trends in engineering sciences and technologies II. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2017. Pp. 761 – 766. DOI: 10.1201/9781315393827-129.

11. Brząkała W., Baca M. The measurement and control of building vibrations in course of sheet pile wall and Franki pile driving / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2017. 2017. Vol. 17. No 12. Pp. 929 – 936. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.118.

12. Хайрутдинов М. М., Иванников А. Л., Арад В., Лонг В. Хуанг Проблемы транспорта закладочной смеси к месту укладки / Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Т. 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 282 – 287.

13. Ермолович Е. А., Ермолович О. В. Исследования реологических характеристик закладочной гидросмеси отходов обогащения железистых кварцитов ОАО «Комбинат КМАРУДА» // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. – 2015. – № 9 (206). – С. 143 – 146.

14. Ермолович О. В., Ермолович Е. А. Композиционные закладочные материалы с добавкой из механоактивированных отходов обогащения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 24 – 30.

15. Wojtowicz A., Michalek J., Ubysz A. Range of dynamic impact of geotechnical works on reinforced concrete structures // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. Article 03026. DOI: 10.1051/e3sconf/20199703026.

16. Khayrutdinov M., Ivannikov A. The use of mining waste for backfill as one of sustainable mining activities / Proceedings of the International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017). Hanoi, Vietnam. 2017. Pp. 715 – 717.

17. Brząkała W. Strength modelling of geomaterials with random systems of structural joints // Probabilistic Engineering Mechanics. 2011. Vol. 26. No 2. Pp. 321 – 330.

18. Bagińska I., Kawa M., Janecki W. Estimation of spatial variability of lignite mine dumping ground soil properties using CPTu results // Studia Geotechnica et Mechanica. 2016. Vol. 38. No 1. Pp. 3 – 13. DOI: 10.1515/sgem-2016-0001.

19. Ермолович Е. А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. – 2010. – № 9 (80). – С. 156 – 158.

20. Хайрутдинов М. М. Технология закладки высокоплотными смесями (на основе хвостов обогащения) при подземной разработке руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 11. – С. 276 – 278.

21. Хайрутдинов М. М., Вотяков М. В. Разработка составов твердеющих закладочных смесей из отходов переработки руд калийных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 10. – С. 220 – 222.

22. Вотяков М. В. Повышение полноты извлечения запасов калийных руд на основе закладки выработанного пространства галитовых отходов: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГГУ, 2009. – 89 с.

23. Herbut A., Khairutdinov M. M., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 362. Article 012131. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012131.

24. Ivannikov A. L., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J., Tyulyaeva Y. The reuse of mining and construction waste for backfill as one of the sustainable activities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 362. Article 012130. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012130.

25. Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Трубопроводный транспорт литых твердеющих закладочных смесей с пониженным водосодержанием // Вестник Кузбасского государственного технического университета — 2016. — № 2. — С. 99—104.

26. Dobrzycki P., Kongar-Syuryun C, Khairutdinov A. Vibration reduction techniques for Rapid Impulse Compaction (RIC) // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. Article 012202. DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012202.

27. Дмитрак Ю. В. Эффективность вибротранспортирования материалов // Научный вестник ЮНМ. — 2017. — № 4. — С. 24—28.

28. Ляшенко В. И., Франчук В. П. Повышение эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта // Известия вузов. Горный журнал. — 2017. — № 4. — С. 92—100.

29. Gorska K., Muszyński Z., Rybak J. Displacement monitoring and sensitivity analysis in the observational method // Studia Geotechnica et Mechanica. 2013. Vol. 35. No 3. Pp. 25—43.

30. Jerzy B., Wojciech P., Wyjadłowski M. Effect of partial mining of shaft protection pillar in terms of reliability index // Georisk. 2015. Vol. 9. No 4. Pp. 242—249.

31. Каплунов Д. Р., Мельник В. В., Рильникова М. В. Комплексное освоение недр: Учебное пособие. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. — 332 с. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Khayrutdinov M. M. Ways to improve development systems with laying the developed space. *Gornyi Zhurnal*. 2007, no 11, pp. 40—43. [In Russ].

2. Khayrutdinov A. M., Tyulyaeva Yu. S. Extraction of minerals on celestial bodies. Background, technological aspects and legal framework. *Problemy osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh: Materialy 14 Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov* [Problems of subsoil development in the XXI century through the eyes of young people: materials of the 14th International scientific school of young scientists and specialists], Moscow, IPKON RAN, 2019, pp. 280—283. [In Russ].

3. Khayrutdinov M. M. The use of mining waste as a filling material to reduce the harmful effects on the environment. *Gornyi Zhurnal*. 2009, no 2, pp. 64—66. [In Russ].

4. Khayrutdinov M. M., Shaimerdyanov E. K. Underground geotechnology with stowage to mined-out areas: disadvantages and improvement feasibilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no 1, pp. 240—250. [In Russ].

5. Tyulyaeva Yu. S. The use of halite waste in the filling mixture after activation processing in disintegrators, as one of the ways to use intermediate products in a closed production cycle. *Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki: sbornik materialov 15-oy Mezhdunarodnoy konferentsii po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki* [Socio-economic and environmental problems of mining, construction and energy: proceedings of the 15th International conference on mining, construction and energy], Minsk, BNTU, 2019. pp. 211—219.

6. *Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu kachestva zakladochnykh smesei* [Methodological recommendations for quality control of backfilling mixtures], Apatity, GI KNTs RAN, 1990. [In Russ].

7. Rybak J., Schabowicz K. Survey of vibrations generated in course of geotechnical works. *NDE for Safety: 40th International Conference and NDT Exhibition: Proceedings*, Pilsen Czech Republic. 2010, Brno University of Technology, pp. 237 – 246.

8. Papan D., Valaskova V., Drusa M. Numerical and experimental case study of blasting works effect. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 44. No 5. Article 052052. DOI: 10.1088/1755-1315/44/5/052052.

9. Wyjadłowski M. Methodology of dynamic monitoring of structures in the vicinity of hydrotechnical works – selected case studies. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2017. Vol. 39. No 4. Pp. 121 – 129. DOI: 10.1515/sgem-2017-0042.

10. Herbut A., Rybak J. Guidelines and recommendations for vibration control in the case of rapid impulse compaction. *Advances and trends in engineering sciences and technologies II*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2017. Pp. 761 – 766. DOI: 10.1201/9781315393827-129.

11. Brząkała W., Baca M. The measurement and control of building vibrations in course of sheet pile wall and Franki pile driving. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2017*. 2017. Vol. 17. No 12. Pp. 929 – 936. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.118.

12. Khayrutdinov M. M., Ivannikov A. L., Arad V., Long V. Khuang Problems transporting the filling mixture to the place of laying. *Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki: 13-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya po problemam gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki* [Socio-economic and environmental problems of mining, construction and energy: 13th international conference on mining, construction and energy], Tula, Izd-vo TulGU, 2017, pp. 282 – 287. [In Russ].

13. Ermolovich E. A., Ermolovich O. V. Studies of the rheological characteristics of the filling slurry of ferrous quartzite enrichment waste from KMARUDA Combine OJSC. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2015, no 9 (206), pp. 143 – 146. [In Russ].

14. Ermolovich O. V., Ermolovich E. A. Composite filling materials with the addition of mechanically activated enrichment waste. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2016, no 3, pp. 24 – 30. [In Russ].

15. Wojtowicz A., Michalek J., Ubysz A. Range of dynamic impact of geotechnical works on reinforced concrete structures. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. Article 03026. DOI: 10.1051/e3sconf/20199703026.

16. Khayrutdinov M., Ivannikov A. The use of mining waste for backfill as one of sustainable mining activities. *Proceedings of the International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017)*. Hanoi, Vietnam. 2017. Pp. 715 – 717.

17. Brząkała W. Strength modelling of geomaterials with random systems of structural joints. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2011. Vol. 26. No 2. Pp. 321 – 330

18. Bagińska I., Kawa M., Janecki W. Estimation of spatial variability of lignite mine dumping ground soil properties using CPTu results. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2016. Vol. 38. No 1. Pp. 3 – 13. DOI: 10.1515/sgem-2016-0001.

19. Ermolovich E. A. Cementless filling mixture based on industrial waste. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2010, no 9 (80), pp. 156 – 158. [In Russ].

20. Khayrutdinov M. M. Backfilling technology with high-density mixtures (based on enrichment tailings) in underground mining of ores. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008, no 11, pp. 276 – 278. [In Russ].

21. Khayrutdinov M. M., Votyakov M. V. Development of compositions for hardening filling mixtures from wastes from processing ore of potash enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007, no 10, pp. 220 – 222. [In Russ].

22. Votyakov M. V. *Povyshenie polnoty izvlecheniya zapasov kaliinykh rud na osnove zakladki vyrabotannogo prostranstva galitovykh otkhodov* [Increasing the completeness of the extraction of potash ore reserves based on the laying of the developed space of halite waste], Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2009, 89 p.



23. Herbut A., Khairutdinov M. M., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J. The surface wave attenuation as the effect of vibratory compaction of building embankments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 362. Article 012131. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012131.

24. Ivannikov A. L., Kongar-Syuryun Ch., Rybak J., Tyulyaeva Y. The reuse of mining and construction waste for backfill as one of the sustainable activities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 362. Article 012130. DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012130.

25. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. Pipeline transport of cast hardening filling mixtures with low water content. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016, no 2, pp. 99 – 104. [In Russ].

26. Dobrzycki P., Kongar-Syuryun C, Khairutdinov A. Vibration reduction techniques for Rapid Impulse Compaction (RIC). *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1425. Article 012202. DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012202.

27. Dmitrak Yu. V. Efficiency of vibro transportation of materials. *Nauchnyy vestnik Yuzhnoy instituta menedzhmenta*. 2017, no 4, pp. 24 – 28.

28. Lyashenko V. I., Franchuk V. P. Improving the activation efficiency of the components of the hardening filling mixture in the installations of vibratory pipeline transport. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2017, no 4, pp. 92 – 100. [In Russ].

29. Gorska K., Muszyński Z., Rybak J. Displacement monitoring and sensitivity analysis in the observational method. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2013. Vol. 35. No 3. Pp. 25 – 43.

30. Jerzy B., Wojciech P., Wyjadkowski M. Effect of partial mining of shaft protection pillar in terms of reliability index. *Georisk*. 2015. Vol. 9. No 4. Pp. 242 – 249.

31. Kaplunov D. R., Mel'nik V. V., Rylnikova M. V. *Kompleksnoe osvoenie nedr: Uchebnoe posobie* [Comprehensive depth exploitation: training manual], Tula, Izd-vo TulGU, 2016, 332 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Конгар-Сюрюн Чейнеш Буяновна<sup>1</sup> – студент 1 курса магистратуры,  
e-mail: Cheynesh95@mail.ru,

Фараджов Васиф Вагифович<sup>1</sup> – руководитель управления  
международной академической мобильности (УМAM),  
e-mail: vasif.faradzhov@yandex.ru,

Тюляева Юлия Сергеевна<sup>1</sup> – студент 1 курса магистратуры,  
e-mail: tyulyaevayu@gmail.com,

Хайрутдинов Альберт М.<sup>1</sup> – студент, 1 курса магистратуры,  
e-mail: khayrutdinov.albert99@gmail.com,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Конгар-Сюрюн Ч.Б., e-mail: Cheynesh95@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ch.B. Kongar-Syuryun<sup>1</sup>, Student, e-mail: Cheynesh95@mail.ru,

V.V. Faradzhov<sup>1</sup>, Head of International Academic  
Mobility Department, e-mail: vasif.faradzhov@yandex.ru,

Yu.S. Tyulyaeva<sup>1</sup>, Student, e-mail: tyulyaevayu@gmail.com,

A.M. Khayrutdinov<sup>1</sup>, Student, e-mail: khayrutdinov.albert99@gmail.com,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** Ch.B. Kongar-Syuryun, e-mail: Cheynesh95@mail.ru.

Получена редакцией 20.02.2020; получена после рецензии 18.07.2020; принята к печати 10.12.2020.

Received by the editors 20.02.2020; received after the review 18.07.2020; accepted for printing 10.12.2020.

