

На правах рукописи



САДЫКОВ Артур Алексович

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ, ПРЕДОТВРАЩАЮЩЕЙ
ЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В ЗАБОЕ**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная,
открытая и строительная)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула – 2020

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский политехнический университет» (МПУ) на кафедре техники и технологии горного и нефтегазового производства.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ДЕРЕВЯШКИН Игорь Владимирович.

Официальные оппоненты:

ФЕДОТЕНКО Виктор Сергеевич, доктор технических наук, ФГБУН
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика
Н. В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва / ученый секретарь;

ПРОТАСОВ Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово / профессор кафедры открытых горных ра-
бот.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский государственный гео-
логоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ),
Москва.

Защита диссертации состоится «23» сентября 2020 г. в 16 час 00 мин на
заседании диссертационного совета Д 212.271.04 при Тульском государ-
ственном университете по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, 90, 6-й уч.
корпус, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТулГУ (г. Тула,
просп. Ленина, 92) и на сайте <http://www.tsu.tula.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные
печатью организации, просим высылать по адресу: 300012, г. Тула, пр. Лени-
на, 92, Ученый совет ТулГУ, факс: (4872) 35-81-81.

Автореферат разослан «21» июля 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Галина Викторовна Стась

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Янтарь добывают во многих странах мира, однако единственное в мире промышленное предприятие по добыче янтаря – Калининградский янтарный комбинат (КЯК). Он находится в России в поселке Янтарном Калининградской области. В настоящее время разрабатывается Приморское месторождение янтаря, которое располагается на побережье Балтийского моря в 50 км от Калининграда. Оно обеспечивает почти 90 % мировой добычи янтаря.

Янтарь содержится в глауконито-слюдисто-кварцевых песках с прослоями янтареносного алеврита и тёмных глин со средней мощностью около 7 м. Этот пласт называется «голубая земля». Янтарь – достаточно хрупкий минерал, поэтому на предприятии при существующей технологии добычи происходит дробление кусков янтаря, которое резко снижает рыночную стоимость товарной продукции предприятия.

Данный аспект добычи янтаря недостаточно исследован и освещен в литературных источниках.

Вышеизложенное позволяет считать, что обоснование промышленной технологии добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое, является актуальной научной задачей.

Цель работы заключается в обосновании оборудования гидрокомплекса и рациональных параметров технологии промышленной добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое.

Идея работы заключается в том, что предотвращение дробления янтаря при его промышленной добыче достигается за счет обоснования рабочего участка струи гидромонитора, а также путем извлечения его крупных фракций в забое.

Методы исследований. В работе использован комплекс методов: обобщение материалов ранее выполненных работ; экспертный анализ; анализ опыта гидромеханизации при разработке вскрышных пород на угольных разрезах; методы прикладной математики; технико-экономический анализ с использованием стоимостных параметров.

Основные научные положения, сформулированные в диссертации.

1 Установлено влияние рабочего давления воды перед насадкой гидромонитора и её диаметра на расстояние до забоя с учетом прочностных свойств размываемой породы и янтаря, позволяющее определить рациональное значение расстояния, при котором обеспечивается высокая эффективность процесса размыва, но исключается дробление янтаря.

2 Установлена зависимость изменения величины пути, необходимого для всплытия янтаря в пульповодной канаве и его попадания в обезвоживающий элеватор, от размера извлекаемой фракции, группы разрабатываемой породы, величины давления воды на насадке гидромонитора и ее диаметра.

3 Установлена зависимость для расчета производительности гидрокомплекса, которая позволяет определить параметры технологии, предотвраща-

ющей дробление янтаря в забое при его промышленной добыче, для различных горнотехнических условий, а также величину издержек в зависимости от фракционного состава извлекаемого янтаря и его рыночной стоимости.

Новизна основных научных результатов.

1 Разработан графоаналитический метод определения диапазона изменения расстояния от гидромонитора до забоя (рабочего участка струи гидромонитора) от осевого динамического давления гидромониторной струи с учетом прочностных свойств вмещающих пород и янтаря при соблюдении условий безопасного ведения добычных работ.

2 Определена система уравнений, описывающая производительность гидрокомплекса при включении обезвоживающего элеватора с перфорированными ковшами по извлечению крупных кусков янтаря при их всплытии в пульповодной канаве и учитывающая продолжительность простоев от изменения величины пути всплытия, которая зависит от размера извлекаемых фракций янтаря.

Обоснованность и достоверность теоретических положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректной постановкой задач исследований, а также использованием широкого диапазона апробированных научных методов исследований, включая применение основополагающих положений механики, гидравлики и гидромеханизации.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики (алгоритма) расчета параметров технологии промышленной добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое для различных горнотехнических условий, позволяющей определять величину издержек в зависимости от фракционного состава извлекаемого янтаря и его рыночной стоимости.

Извлечение наиболее ценных и дорогостоящих фракций янтаря дает возможность ежегодно извлекать янтаря на 920 млн руб. больше при сравнении с действующей технологией.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на VII съезде гидромеханизаторов России в 2015 г (г. Москва); на Международном симпозиуме «Неделя горняка» в МГГУ в 2016 г.; на кафедре геотехнологии освоения недр НИТУ МИСиС в 2015–2018 гг. и на кафедре техники и технологии горного и нефтегазового производства Московского политехнического университета в 2019 г.

Личный вклад автора: проведен анализ состояния вопроса по теме диссертации; сформулированы цель и задачи исследований; разработан графоаналитический метод определения диапазона изменения расстояния от гидромонитора до забоя; обоснованы схемные решения применения обезвоживающего элеватора; разработана физико-математическая модель, позволяющая рассчитать путь всплытия янтаря; установлена зависимость изменения производительности гидрокомплекса, учитывающая изменение пути всплытия; сформулированы научные и практические результаты работы.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 11 статей, в том числе 9 работ – в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 118 страницах печатного текста, состоит из 4 глав, содержит 21 таблицу, 27 рисунков, список литературы из 117 наименований.

Автор выражает благодарность коллективам кафедр геотехнологий освоения недр НИТУ «МИСиС» и техники и технологии горного и нефтегазового производства МПУ, научному руководителю при обучении в аспирантуре канд. техн. наук, доц. Д. В. Пастихину и научному руководителю д-ру техн. наук, проф. И. В. Деревяшкину за рекомендации, высказанные в ходе подготовки диссертационной работы, а также д-ру техн. наук Е. А. Кононенко и канд. техн. наук В. С. Пигулевскому за ценные советы и помощь при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследованиями вопросов добычи янтаря и совершенствования принятых технологий его добычи на карьере КЯК занимались многие известные горные инженеры и ученые: Н. Г. Малухин, В. П. Дробаденко, С. В. Тимошенко, А. Л. Вильмис, О. А. Луконина, Д. Н. Ребриков, А. В. Тимошкин, И. А. Кузмич, В. Г. Мерзляков, М. И. Рутберг, В. И. Шелоганов, Е. А. Кононенко, И. В. Деревяшкин и др. При этом не затрагивались вопросы сохранения наиболее ценных и дорогостоящих фракций янтаря.

Современное состояние знаний по рассматриваемой проблеме, цель и идея работы обусловили необходимость постановки и решения следующих задач.

1 Анализ результатов научных исследований промышленной технологии добычи янтаря, характеристик вмещающих пород и извлекаемого ресурса, опыта работы существующих технических средств и технологий для разработки и извлечения подобных ресурсов.

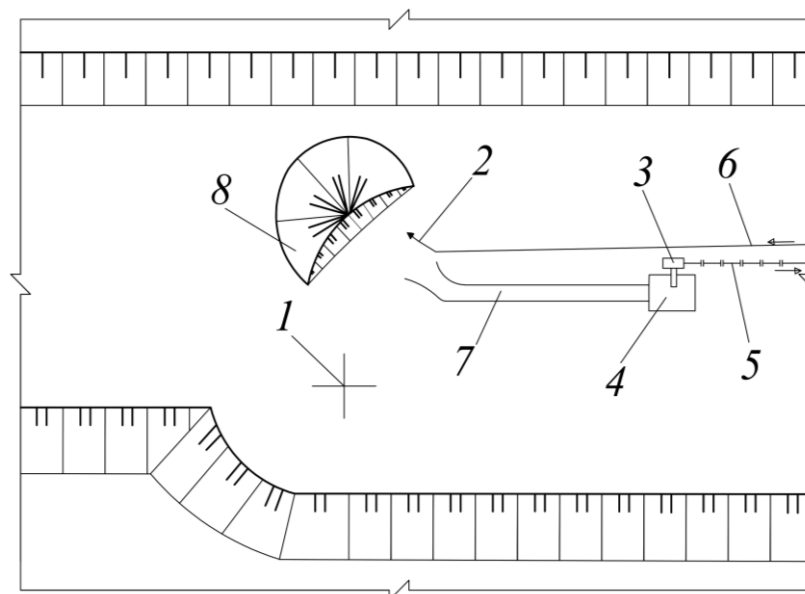
2 На основании специфики работы гидромонитора при добыче янтаря установить факторы и закономерности изменения параметров эффективного размыва «голубой земли», исключаящие разрушение крупных фракций янтаря;

3 Обосновать методологический подход и способ извлечения крупных классов янтаря в забое при его промышленной добыче с учетом параметров процесса самотечного транспорта и факторов, определяющих возможность попадания извлекаемой фракции в обезвоживающий элеватор и его основные параметры;

4 Исследовать влияние горнотехнических условий и параметров технических средств на годовую производительность комплекса для промыш-

ленной добычи янтаря, предотвращающего его измельчение в забое, и разработать методику выбора его рациональных параметров.

На карьере (КЯК) с целью добычи полезного ископаемого разрабатывается пласт «голубой земли». Экскаватор ЭШ-6/45 разрабатывает его на полную мощность с размещением янтареносной породы в конусе навала на кровле пласта. Размыв навала производится гидромонитором ГМН-250. Гидросмесь, которая образуется в результате размыва навала, самотеком по пульповодной канаве стекает в забойный зумпф, а землесос ЗГМ-2М осуществляет её доставку на узел обогащения. Технологическая схема показана на рисунке 1.



1 – экскаватор; 2 – гидромонитор; 3 – землесос; 4 – зумпф; 5 – пульпопровод;
6 – водовод; 7 – пульповодная канава; 8 – навал

Рисунок 1 – Технологическая схема

Принятая технология добычи обуславливает разрушение полезного ископаемого ковшем экскаватора при извлечении его из массива в результате размыва навала гидромонитором, дробления в землесосе и истирания в пульповоде длиной 1000–1600 м. При этом происходит дробление наиболее крупных самых ценных и дорогостоящих кусков янтаря. Наибольшие потери качества янтаря происходят в рабочем колесе землесоса ЗГМ-2М, проходные сечения в котором составляют 0,180 м. С целью исключения попадания крупных кусков янтаря в систему гидротранспорта на карьере производят их вылов сачком из потока гидросмеси, причем нередко с нарушением правил безопасности.

Следовательно, одной из главных задач совершенствования технологических процессов добычи янтаря является баланс параметров применяемого оборудования – гидромониторов и прочностных свойств полезного ископаемого и вмещающих пород. Требуется определить такие параметры гидромониторного размыва, которые позволяют эффективно разрабатывать полезное ископаемое, но не дробить янтарь.

Наибольшее влияние на эффективность работы гидромониторов оказывают гидродинамические характеристики струи, которые во многом зависят от ее параметров на выходе из насадки. При этом качество гидромониторной струи определяется ее компактностью, которая, в свою очередь, оценивается такими гидродинамическими параметрами, как диаметр струи, осевое динамическое давление, сила удара о преграду и среднее удельное давление на забой.

Главным гидродинамическим параметром струи гидромонитора, определяющим ее разрушающую способность, является осевое динамическое давление p_m . На основании проведенных ранее исследований А. Д. Алексеевым, И. А. Кузьмичом, Ю. А. Гольдиным, А. А. Тимме, И. С. Куклиным, К. М. Штукатуровым, В. Г. Лешковым, С. С. Шавловским было установлено, что величина осевого динамического давления прежде всего зависит от длины начального участка его струи.

В данном случае необходимо учитывать специфику работы гидромонитора при добыче янтаря и факторы, которыми можно регулировать воздействие струи на массив с учетом горнотехнических условий. Такими факторами являются: тип гидромонитора, расстояние до забоя, рабочий напор воды перед насадкой и диаметр насадки.

С учетом формулы осевого динамического давления, установленной С. С. Шавловским, эмпирических коэффициентов, зависящих от типа гидромонитора, давления воды на выходе из насадки гидромонитора выражение для определения осевого динамического давления в зависимости от расстояния от насадки до плоскости контакта с забоем примет вид

$$p_m = \rho_0 \varphi^2 g H_n \sqrt{\frac{d_n (A - B Re)}{l}}, \quad (1)$$

где ρ_0 – плотность воды, кг/м³; $\varphi = 0,92 - 0,96$ – коэффициент скорости; g – ускорение свободного падения, м/с²; H_n – рабочий напор воды перед насадкой гидромонитора, МПа; d_n – диаметр насадки гидромонитора, м; A и B – эмпирические коэффициенты (зависят от типа гидромонитора); Re – число Рейнольдса для струи на выходе из насадки гидромонитора; l – расстояние от насадки гидромонитора до плоскости забоя в определенный момент времени, м.

Величина l – расстояние от насадки гидромонитора до забоя (или просто – от гидромонитора до забоя) – является наиболее удобным параметром. Он позволяет управлять величиной осевого динамического давления для обеспечения искомого баланса параметров применяемого оборудования и прочностных свойств разрабатываемых пород. При этом эффективно высоконапорными струями размывается «голубая земля», но исключается дробление наиболее ценных крупных кусков янтаря. В связи с этим необходимо обосновать величину рабочего участка струи гидромонитора. Известно, что минимальная величина расстояния от гидромонитора до забоя определяется условиями безопасности

$$l_{\min} = \varepsilon \cdot H_y, \quad (2)$$

где ε – коэффициент приближения гидромонитора к забою; H_y – высота разрабатываемого уступа, м.

Максимальная эффективностью размыва –

$$I_{\max} = I_{\text{раб}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{раб}}$ – рабочий участок струи гидромонитора, м.

Известно, что разрушение пород при их гидромониторном размыве происходит при условии

$$\rho_m = (0,5 \div 1,2) \cdot Z_{\text{сж}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{сж}}$ – временное сопротивление сжатию, МПа.

Известно также, что для натурального янтаря существует диапазон изменения величины $Z_{\text{сж}}$ – 1,732 до 3,764 МПа. С целью гарантированного исключения разрушения кусков янтаря при размыве принимаем меньшее значение «абсолютной» величины твердости, т. е. 1,732 МПа. Подставив численное значение этой величины в зависимость (4), получим величину максимально (предельно допустимого) осевого динамического давления, при котором исключается возможность разрушения кусков янтаря

$$\rho_{m \max} = 0,5 \cdot 1,732 = 0,866 \text{ МПа.}$$

В соответствии с единой классификацией горных пород «голубая земля» может быть отнесена к породам второй категории. При этом следует учитывать, что при предварительном механическом рыхлении пород перед размывом их категория снижается на две единицы, следовательно, величина временного сопротивления разрушению «голубой земли» составляет 0,981 МПа. Таким образом, подставив численное значение этой величины в зависимость (4), мы получим величину минимально допустимого осевого динамического давления $\rho_{m \min}$, при котором достигается нормативная эффективность размыва массива горных пород

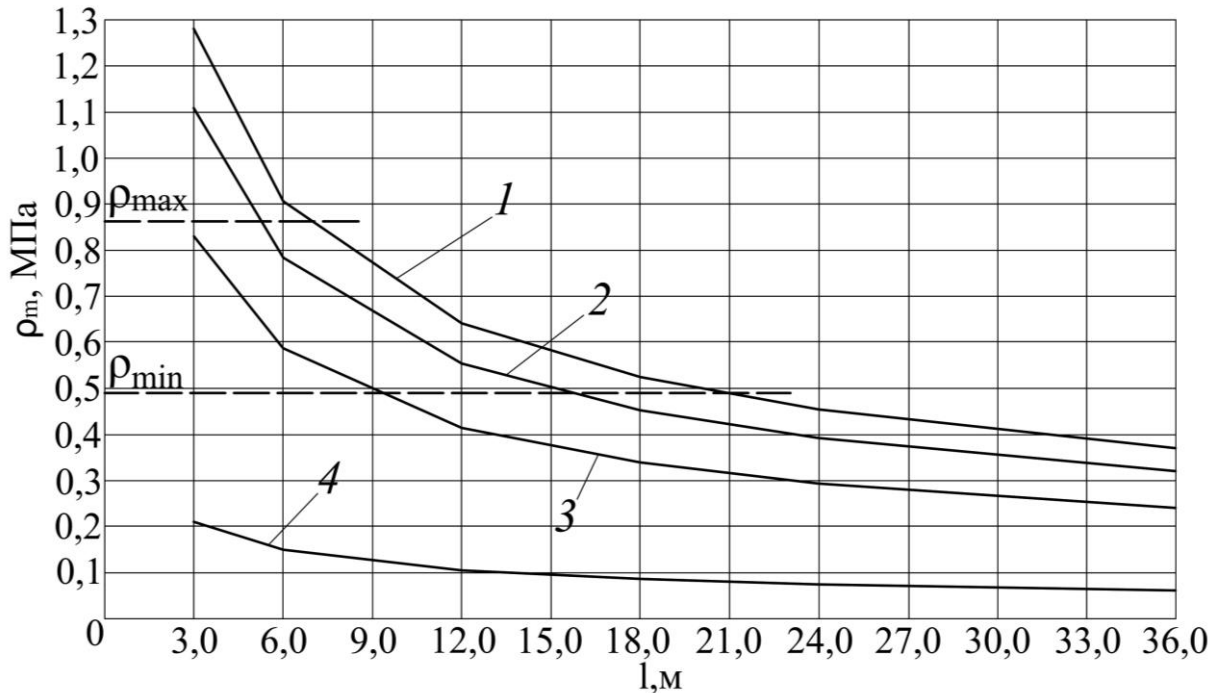
$$\rho_{m \min} = 0,5 \cdot 0,981 = 0,491 \text{ МПа.}$$

В результате были установлены зависимости изменения осевого динамического давления гидромониторных струй от величины рабочего напора воды перед насадкой гидромонитора, её диаметра и расстояния от гидромонитора до забоя, которые позволяют эффективно разрабатывать полезное ископаемое («голубую землю») и исключают дробление янтаря. На рисунке 2 представлен пример этой зависимости для гидромонитора ГМД-250М со значением давления воды перед насадкой 1,4 МПа и различными её диаметрами.

Затем необходимо обеспечить специфические требования добычи янтаря, т.е. определить такие параметры гидромониторного размыва, которые позволяют эффективно разрабатывать полезное ископаемое, но не дробить янтарь.

Нанесем установленные значения величины $\rho_{m \min}$ и $\rho_{m \max}$ на графики в виде горизонтальных линий (см. рисунок 2). В результате их пересечения с графическими зависимостями изменения осевого динамического давления гидромониторных струй становится возможным установить диапазон изменения расстояния от гидромонитора до забоя, при котором обеспечивается искомый баланс параметров для работы гидромонитора ГМД-250М в случае

разработки навала разрыхленных пород. Например, при работе гидромонитора ГМД-250М с давлением воды 1,4 МПа и насадкой 90 мм диапазон расстояния от гидромонитора до забоя, при котором эффективно размывается «голубая земля», но исключается дробление наиболее ценных крупных кусков янтаря, составляет от 6,5 до 20,8 м. Таким же способом можно установить диапазон расстояния от гидромонитора до забоя, который позволяет эффективно разрабатывать полезное ископаемое, но не дробить янтарь для других параметров гидромониторов, рабочего давления воды перед их насадкой и её диаметра.



1 – при $d_n = 90$ мм; 2 – при $d_n = 100$ мм; 3 – при $d_n = 110$ мм; 4 – при $d_n = 120$ мм

Рисунок 2 – Графики изменения величины осевого динамического давления гидромониторных струй в зависимости от расстояния гидромонитора ГМД-250М до забоя при $H_n = 1,4$ МПа

Реализовать идею работы в части извлечения крупных фракций янтаря в забое представляется возможным следующими способами: вылавливанием сачком из пульповодной канавы, включением в технологическую цепочку обезвоживающего элеватора или обогащением янтаря на забойной обогатительной установке. Принцип выбора способа реализации должен основываться на критериях безопасности и эффективности.

Далее необходимо принять решение по составу гидрокомплекса.

Под обоснованием параметров оборудования и технологии понимается тип основных горно-транспортных машин и механизмов и параметры технологических схем с учетом горно-технических условий (факторов).

Основными процессами исследуемой технологии являются: выемка полезного ископаемого; рыхление в навал; пульпоприготовление, самотечный гидротранспорт, извлечение крупных фракций янтаря элеватором, гидротранспорт напорный на обогатительную установку. Все процессы необхо-

димом увязать по месту работ и времени, согласовать производительность отдельных машин и механизмов.

Все вышеописанные шаги, приведенные на рисунке 3, позволят обосновать состав гидрокомплекса, параметры оборудования и технологическую схему.

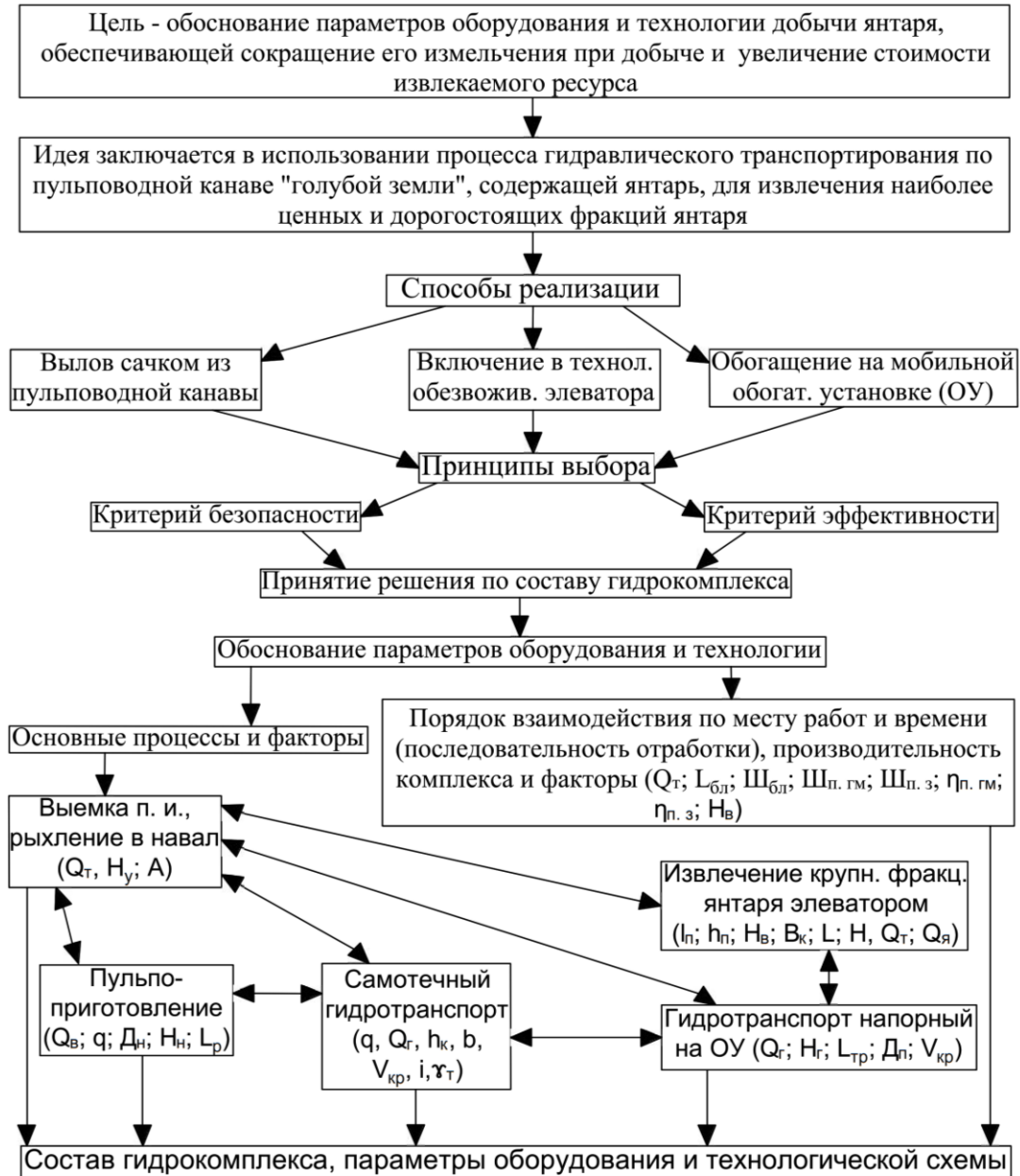
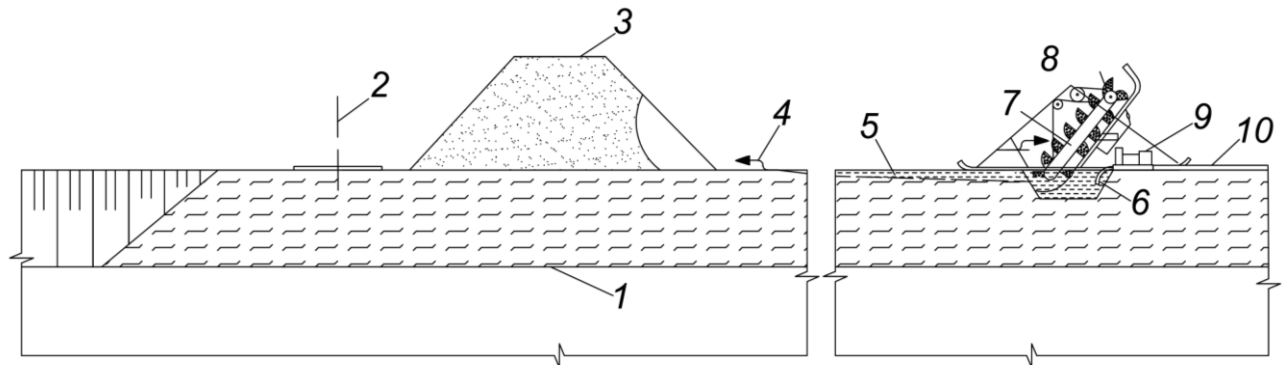


Рисунок 3 – Методологический подход к обоснованию способа извлечения крупных классов янтаря в забое при его промышленной добыче

Для предотвращения разрушения янтаря в результате его дробления в землесосе и истирания в пульповоде целесообразно предложить модификацию существующей технологии, в которой реализуется принцип его извлечения из пульповодной канавы, по которой гидросмесь янтароносной породы транспортируется в зумпф землесосной станции с применением обезвоживающего элеватора. Принципиальная схема установки для извлечения крупных кусков янтаря в забое приведена на рисунке 4.

Основополагающим условием извлечения кусков янтаря определенной (заданной) крупности обезвоживающим элеватором (ОЭ) является обеспечение их перемещения к поверхности потока при соблюдении необходимого пути всплытия. На этом пути происходит их отмыв от вмещающих пород.



1 – порода, содержащая янтарь; 2 – ось экскаватора; 3 – конус навала разрыхленной «голубой земли»; 4 – гидромонитор; 5 – пульповодная канава с уклоном i к забойному зумпфу землесоса; 6 – забойный зумпф; 7 – обезвоживающий элеватор; 8 – перфорированный ковш; 9 – землесос; 10 – пульповод

Рисунок 4 – Принципиальная схема установки для извлечения крупных кусков янтаря в забое

Для попадания в ковш элеватора кусок янтаря в конце пути всплытия должен находиться в потоке на глубине, не превышающей величину высоты ковша ОЭ.

Путь всплытия определяет минимально допустимое приближение забоя гидромонитора к зумпфу землесосной станции, которая обеспечивает перемещение кусков янтаря в верхнюю часть потока. Из нее всплывший кусок попадает не в зумпф забойной землесосной станции (а затем во всас землесоса и в его рабочее колесо), а в ОЭ с перфорированными ковшами (см. рисунок 4). Извлеченный ОЭ янтарь накапливается в бункере, который по мере его заполнения выгружается в приемные емкости для дальнейшего его перемещения на склад или переработку.

Исходными данными для расчета ОЭ являются: производительность, которая обычно задается условиями технологического процесса, физико-механические свойства перемещаемого груза, высота подъема, режим и условия работы. Основными параметрами ковша при извлечении крупных классов янтаря в забое являются его геометрические размеры (ширина, вылет и высота), которые определяют производительность ОЭ и возможность его применения. Ширина ковша должна обеспечить попадание потока гидросмеси «голубой земли», которая содержит куски янтаря, в ковш обезвоживающего элеватора, следовательно, этот параметр должен определяться шириной потока пульповодной канавы. Ширина потока, в свою очередь, зависит от производительности гидромонитора, размывающего навал «голубой земли», напора воды на насадке гидромонитора и физико-механических свойств разрабатываемых пород, которые взаимосвязаны с величиной подачи забойного землесоса.

Согласно произведенным расчетам ОЭ, для условий разработки КЯК рекомендуется включение в технологическую цепочку цепного тихоходного элеватора с расставленными специальными ковшами (ЦГТ). Параметры ковшей: ширина 1000 мм, длина 435 мм и высота 615 мм. Для обезвоживания предусматривается перфорация ковшей. Размер отверстий соответствует крупности выделяемого материала и составляет 25 мм, 50 мм и 100 мм.

При описании динамики движения куска янтаря в потоке гидросмеси были сделаны следующие предположения:

- куски янтаря имеют изометрическую форму (не игольчатую и не пластинчатую). Рассчитывая геометрические параметры, принимается, что кусок имеет форму шара;

- концентрация кусков янтаря в гидросмеси такова, что при движении вероятность столкновения кусков мала. Поэтому рассчитывается движение одного куска в гидросмеси;

- рассчитывается движение только тех кусков, плотность которых меньше плотности гидросмеси;

- рассматривается движение куска с момента отрыва от дна (лотка);

- ввиду незначительной величины уклона пульповодной канавы ~ 2...3 %, принято горизонтальное движение гидросмеси.

Формула для определения пути, пройденного куском янтаря за время всплытия

$$S_B = U \left(t_{BC} - \tau \ln \left(\frac{t_{BC}}{\tau} + 1 \right) \right), \quad (5)$$

где U – скорость гидросмеси в пульповодной канаве, м/с; t_{BC} – время всплытия куска янтаря, с; τ – время релаксации, с.

Время всплытия куска янтаря вычисляется из уравнения

$$h_K = L \ln \left(\frac{e^{\frac{t_{BC}}{\tau}} + 1}{2} \right) - V_{max} t_{BC}, \quad (6)$$

где h_K – глубина гидросмеси в пульповодной канаве, м; L – перемещение янтаря относительно гидросмеси, м; V_{max} – максимальная скорость частицы относительно жидкости при подъеме вверх, м/с.

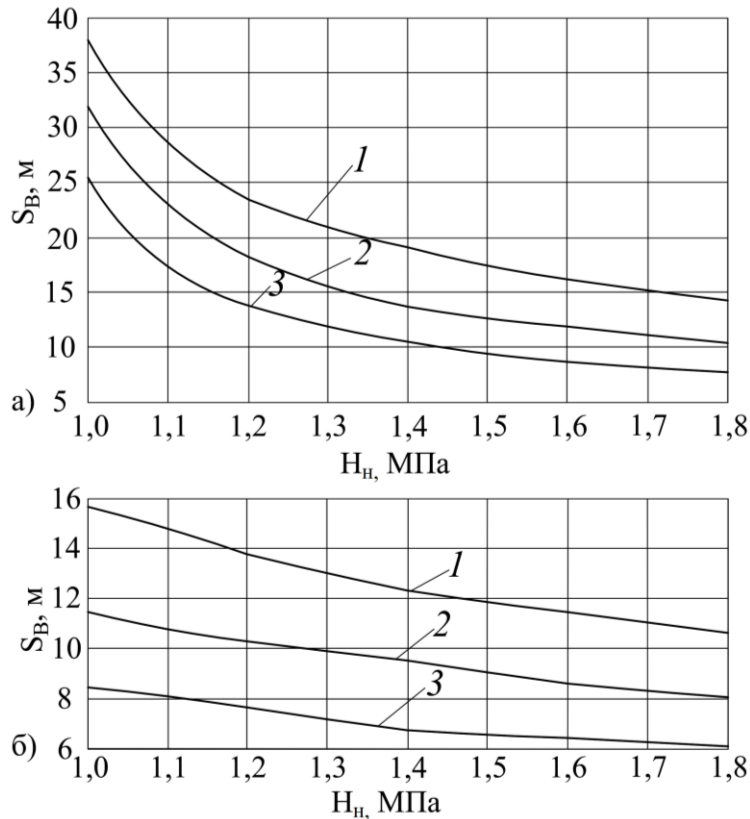
Время релаксации

$$\tau = \frac{4d\rho_T}{3C\rho_r U}, \quad (7)$$

где d – диаметр куска янтаря, м; ρ_T – плотность куска янтаря, кг/м³; C – коэффициент вязкого трения; ρ_r – плотность гидросмеси, кг/м³.

В результате расчета установлены зависимости пути всплытия кусков янтаря размером 25, 50 и 100 мм от типа (группы) разрабатываемых пород, давления на насадке гидромонитора и степени загрязнения, указанные на рисунке 5.

Величина необходимого пути для всплытия кусков янтаря в пульповодной канаве определяет количество передвижек забойной землесосной станции и тем самым влияет на годовую производительность гидрокомплекса.



а – при IV группе пород и плотности янтаря – 1100 кг/м³; б – при IV группе пород и плотности янтаря – 1130 кг/м³: 1 – при +25 мм, 2 – при +50 мм, 3 – при +100 мм
Рисунок 5 – Зависимости пути всплытия фракций янтаря от давления на насадке гидромонитора и степени загрязнения янтаря

Определена система уравнений, описывающая производительность гидрокомплекса при включении обезвоживающего элеватора с перфорированными ковшами по извлечению крупных кусков янтаря при их всплытии в пульповодной канаве

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\Gamma} = Q_{\Gamma} \cdot T \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}, \text{ м}^3/\text{год}; \\ \eta_{\Gamma} = 1 - \frac{n_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma} + n_{\text{з}} \cdot T_{\text{з}}}{T}; \\ n_{\text{з}} = \frac{Q_{\Pi}}{C_0 \cdot V_{\text{з}}}; \\ n_{\Gamma} = \frac{(l_6 - S_B)}{S} \cdot n_{\text{з}}, \end{array} \right. \quad (8)$$

где Q_{Γ} – техническая производительность экскаватора, м³/ч; T – фонд рабочего времени за сезон, ч; η_{Γ} – коэффициент использования экскаватора во времени; η_{Γ} – коэффициент, учитывающий технологическое использование гидрокомплекса; n_{Γ} – количество передвижек гидромонитора за сезон; T_{Γ} – время передвижки гидромонитора, ч; $n_{\text{з}}$ – число передвижек забойного землесоса (зумпфа) за сезон; $T_{\text{з}}$ – время передвижки забойного землесоса (зумпфа), ч; Q_{Π} – годовой объем добычи янтаря, кг; C_0 – среднее содержание янтаря, кг/м³; $V_{\text{з}}$ – объем блока (на забойный зумпф), м³; $l_3 = l_6 - S_B$, м – шаг передвижки забойного землесоса (зумпфа); l_6 – длина блока, м; S_B – путь всплытия; м; S – шаг передвижки гидромонитора, м.

$$n_3 = \frac{Q_{\text{п}}}{C_0 \cdot (l_6 - S_B) \cdot A \cdot H_y}, \quad (9)$$

где A – ширина заходки драглайна, м; H_y – высота уступа (забоя), м.

$$n_{\Gamma} = \frac{(l_6 - S_B)}{S} \cdot \frac{Q_{\text{п}}}{C_0 \cdot (l_6 - S_B) \cdot A \cdot H_y}. \quad (10)$$

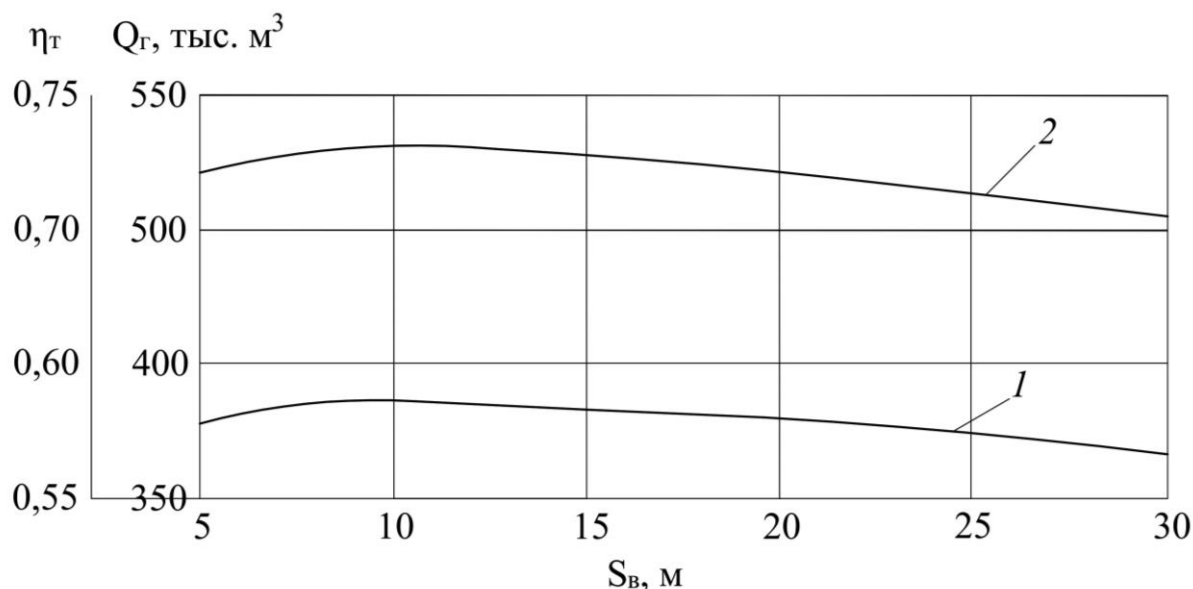
Решая систему уравнений (8), получим формулу для расчета годовой производительности гидрокомплекса

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{т}} \cdot n_{\Gamma} \cdot \left[T - \frac{Q_{\text{п}} [T_{\Gamma} \cdot (l_6 - S_B)] + T_3 \cdot S}{S \cdot (l_6 - S_B) \cdot A \cdot H_y \cdot C_0} \right]. \quad (11)$$

График изменения производительности гидрокомплекса и коэффициента технической готовности от величины пути всплытия представлен на рисунке 6.

Для выбора оптимальных параметров применяемой технологии на заключительном этапе исследований необходимо экономически обосновать размер кусков янтаря, которые требуется извлекать по предлагаемой технологии в забое и в соответствии с параметрами технологической схемы.

Установленные в процессе исследования аналитические зависимости для расчета пути всплытия янтаря и производительности гидрокомплекса позволяют реализовать алгоритм выбора параметров принятой физико-технической технологии. Блок-схема алгоритма выбора параметров предлагаемой технологии приведена на рисунке 7.



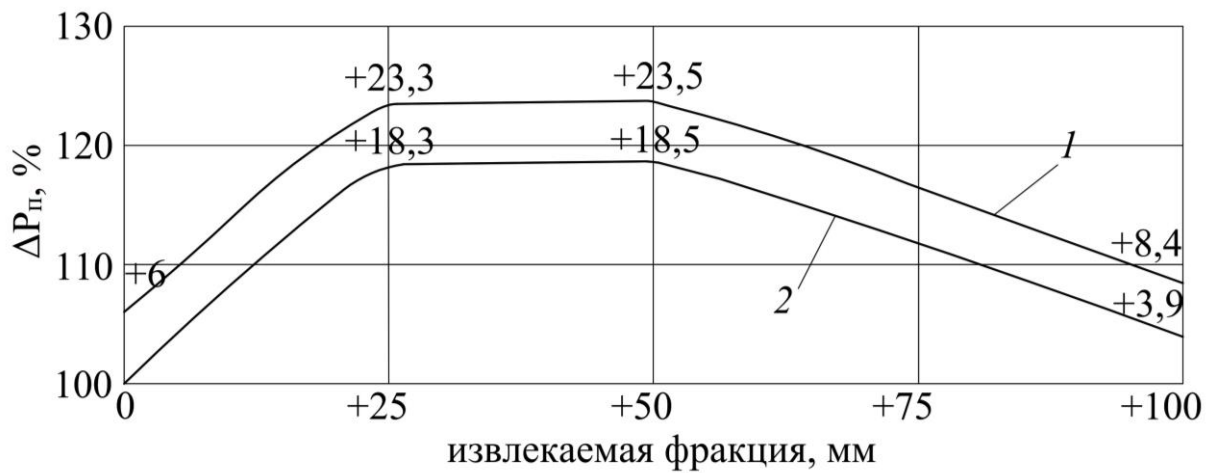
1 – при $E = 8 \text{ м}^3$; 2 – при $E = 11 \text{ м}^3$

Рисунок 6 – Зависимость производительности от пути всплытия и объема ковша E

Эксплуатационные затраты определялись в соответствии с локальными сметами на разработку пород экскаватором и транспортировку грунта гидромониторно-землесосным комплексом (с выделением и без выделения крупных кусков янтаря). В качестве критерия эффективности принято отношение стоимости извлекаемых запасов полезного ископаемого к сумме издержек на их добычу. График изменения рентабельности представлен на рисунке 8.



Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма выбора параметров технологии при включении аппарата по извлечению наиболее крупных и ценных фракций янтаря



1 – при E = 8 м³; 2 – при E = 11 м³
 Рисунок 8 – График изменения рентабельности

Результаты экономических расчетов показывают:

– наибольшее значение величины отношения стоимости извлекаемых запасов полезного ископаемого к сумме издержек на их добычу при экскаваторе с ковшом 8 м³ составляет 151,7 при выделении фракции +50 мм, пути всплытия 12,4 м, напоре на насадке 1,4 МПа для IV группы пород. Этот вариант рекомендуется для использования на Калининградском янтарном комбинате;

– по сравнению с традиционной технологией добычи предлагаемая технология позволяет извлекать на 0,85 % больше фракций +100 мм и на 1,8% больше фракций 50-100 мм.

Проведенные расчеты позволяют выбрать наиболее эффективные варианты и рекомендовать для условий карьера КЯК следующие технологические параметры работы гидрокомплекса: использование экскаватора с ковшом 8 м³, напор на насадке гидромонитора 1,4 МПа, группа пород IV. При этом экономическая эффективность предлагаемого комплекса по сравнению с действующим составит 920 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований решена задача обоснования рациональных параметров технологии промышленной добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое, что имеет значение для ее расчета и проектирования.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем.

1 Установлено влияние напора воды перед насадкой гидромонитора и её диаметра на расстояние до забоя с учетом прочностных свойств размываемой породы и янтаря, позволяющее определять величину рабочего участка струи гидромонитора, при котором обеспечивается высокая эффективность процесса размыва, но исключается дробление янтаря.

2 Сформирован методологический подход к выбору вариантов технических решений по извлечению крупных классов янтаря в забое при его промышленной добыче.

3 Разработана физико-математическая модель всплытия кусков янтаря в гидросмеси перед его извлечением, которая учитывает размер извлекаемой фракции, группу разрабатываемой породы, величину давления на насадке гидромонитора, а также технические возможности оборудования.

4 Установлена система уравнений, описывающая производительность гидрокомплекса при включении обезвоживающего элеватора с перфорированными ковшами по извлечению крупных фракций янтаря в забое, учитывающая величину рабочего участка струи гидромонитора, параметры применяемого оборудования и продолжительность простоев от изменения пути всплытия при извлечении различных фракций янтаря.

5 Разработана методика (алгоритм) выбора параметров технологии промышленной добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое для различных горнотехнических условий и параметров применяемого оборудования, позволяющая определять величину издержек в зависимости от фракционного состава извлекаемого янтаря и его рыночной стоимости.

6 Извлечение наиболее ценных и дорогостоящих фракций янтаря дает возможность ежегодно извлекать его на 920 млн руб. больше при сравнении с действующей технологией.

7 Максимальное значение отношения стоимости извлекаемых запасов полезного ископаемого к сумме издержек на их добычу 151,7 достигается при применении экскаватора с ковшом 8 м³, выделении фракции +50 мм, пути всплытия 12,4 м, давлении воды на насадке 1,4 МПа для IV группы пород. Этот вариант рекомендуется для использования на Калининградском янтарном комбинате.

8 Методические рекомендации по обоснованию рациональных параметров промышленной добычи янтаря, предотвращающей его измельчение в забое, переданы организации «Экопроекткарьер» для реализации в проекте реконструкции карьера КЯК.

Основные научные и практические результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

В изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ

1 Кононенко Е. А., Садыков А. А. Гидромеханизированная технология на карьере Калининградского янтарного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. Вып. S11. С. 105-113.

2 Кононенко Е. А., Садыков А. А. Основные направления совершенствования технологии добычи янтаря на карьере Калининградского янтарного // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. Вып. 8. С. 86-91.

3 Деревяшкин И. В., Кононенко Е. А., Садыков А. А. Направления совершенствования системы водоснабжения карьера Калининградского янтарного комбината // Современные наукоемкие технологии. 2015. Вып. 12-2. С. 225-229.

4 Кононенко Е. А., Садыков А. А. Реконструкция предприятия обеспечит безопасность хвостохранилища Калининградского янтарного комбината // Гидротехническое строительство. 2016. Вып. № 2. С. 61-64.

5 Садыков А. А. Обоснование организационно-технических решений и стратегии реконструкции карьера Калининградского янтарного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. Вып. 11. С. 418-425.

6 Деревяшкин И. В., Кононенко Е. А., Садыков А. А. Эффективная система водоснабжения – основа успеха реконструкции карьера Калининградского янтарного комбината // Энергосбережение и водоподготовка. 2016. Вып. 4 (102). С. 56-60.

7 Садыков А. А., Пастихин Д. В., Пигулевский В. С., Кононенко Е. А. К вопросу совершенствования технологии добычи янтаря на карьере Калининградского янтарного комбината // Маркшейдерия и недропользование. 2018. Вып. 5 (97). С. 42-46.

8 Садыков А. А. Параметры процесса гидромониторного размыва, исключаяющие дробление янтаря на карьере Калининградского янтарного комбината // Недропользование XXI век. 2019. Вып. 4. С. 70-75.

9 Садыков А. А., Деревяшкин И. В. Научное обоснование способа промышленной добычи янтаря, предотвращающего его измельчение в забое // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. Вып. 11. С. 81–93.

В других изданиях РИНЦ

10 Деревяшкин И. В., Садыков А. А. Основные технологические процессы, их проблемы и решения на Калининградском янтарном комбинате // Технический оппонент. 2018. Вып. 1. С. 58-67.

11 Садыков А. А. Технология снижения измельчения янтаря при промышленной добыче // Технический оппонент. 2018. Вып. 1. С. 73-80.

Подписано в печать 15.07.20
Формат 60 × 90 1/16 Тираж 100 экз.
Усл. печ. л. 1.25 п.л. Заказ №10984

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в типографии
Издательского Дома НИТУ «МИСиС»
119049, Москва, Ленинский пр-т, 4
тел.: +7 (495) 638-44-16, +7 (495) 638-44-43