

На правах рукописи



Нафиков Равиль Зиннурович

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДРАЖНОЙ РАЗРАБОТКИ
РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск, 2021

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: *Кисляков Виктор Евгеньевич*
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: *Авдеев Павел Борисович*
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный
университет», горный факультет, декан

Старцев Василий Андреевич
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет», доцент кафедры
горного дела

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Северо-Восточный
федеральный университет имени
М.К. Аммосова», г. Якутск

Защита диссертации состоится «29» апреля 2021 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 219.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бондина Светлана Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Активный спрос на золото сохраняет потребность в разработке производственной стратегии развития предприятий горнодобывающей промышленности в соответствии с достижениями научно-технического прогресса. Большая часть золота в России поступает из рудных месторождений, однако добыча из россыпей не менее эффективна.

Наиболее высокие технико-экономические показатели при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых имеет дражный способ, который обладает рядом достоинств, таких как высокая производительность, минимальная себестоимость, возможность реализации в сложных гидрогеологических условиях.

Интенсивная эксплуатация россыпных месторождений привела к тому, что в настоящее время большинство из них истощены, а существующие технологии не могут решить главную проблему россыпной золотодобычи – естественное сокращение и ухудшение сырьевой базы. Вместе с тем освоение новых месторождений связано с большими капитальными затратами и длительным сроком окупаемости вложений.

Значительная часть россыпных месторождений России, обрабатываемых дражным способом, расположена на Крайнем Севере, в неблагоприятных климатических условиях. В длительный период отрицательных температур эксплуатационные затраты резко возрастают, а производительность драги снижается, что существенно ограничивает добычный сезон, который может составлять всего 160-180 дней.

Таким образом, разработка и обоснование технологии добычи полезных ископаемых дражным способом в условиях Крайнего Севера остается актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы. Проблема продления добычного сезона при разработке россыпных месторождений рассматривалась учеными в разное время. Наибольший вклад в развитие теоретических положений внесли труды В.Г. Лешкова, Е.А. Бессонова, С.М. Шорохова, И.М. Ялтанца, Ю.А. Попова, Д.В. Рощупкина, Г.А. Нурока, Б.А. Волнина, В.А. Мелентьева и др. Однако практика показывает, что все предложенные решения не получили широкого применения из-за значительных затрат, трудоемкости работ и ущерба окружающей среде.

Целью настоящего исследования служит обоснование технологических решений, обеспечивающих увеличение годовой производственной мощности драг при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера.

Идея работы заключается в том, чтобы повысить годовую производственную мощность драг путем увеличения продолжительности добычного сезона за счет изолирования дражного разреза от воздействия отрицательных температур.

Основные задачи исследования.

1. Обзор и систематизация мирового опыта по продлению добычного сезона при разработке россыпных месторождений полезных ископаемых.
2. Изучение температурного режима в изолированном дражном разрезе и влияния на него различных источников тепlopоступления.
3. Разработка математических моделей определения размеров изолирующей конструкции для драг разных типоразмеров.
4. Определение продолжительности добычного сезона при использовании предлагаемой технологии разработки месторождений.
5. Техничко-экономическая оценка предлагаемого технологического решения в конкретных горнотехнических условиях.

Научная новизна.

1. Разработана математическая модель теплового баланса в изолированном дражном разрезе.
2. Установлена степень влияния источников тепловыделения на изменение температуры воздуха внутри изолирующей конструкции.
3. Разработана математическая модель определения площади изолирующей конструкции в зависимости от типа драги.
4. Выявлены закономерности изменения оптимальной ширины одинарного дражного забоя от затрат на изолирование разреза и содержания золота в песках.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Выполнена систематизация способов продления добычного сезона при разработке россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера.

Разработаны принципиально новые технические решения, основанные на изолировании дражного разреза от воздействия отрицательных температур (патенты РФ № 2614337, 2655331).

Предложена методика определения размеров изолирующей конструкции для драг разных типоразмеров.

Определена продолжительность добычного сезона при разработке россыпных месторождений с использованием изолирующей конструкции.

Разработаны технологические решения по продлению добычного сезона путем изолирования дражного разреза, принятые к внедрению на объекте ООО АС «Дражник» при разработке проектной документации.

Результаты исследований рекомендуется использовать при планировании горных работ на разрабатываемых и проектируемых россыпных месторождениях полезных ископаемых, а также в учебном процессе на кафедре «Открытые горные работы» Сибирского федерального университета при подготовке специалистов по направлению «Горное дело».

Методология и методы исследований. При выполнении работы использовался комплекс методов, включающий: анализ и обобщение сведений, содержащихся в научно-технической, патентной и специальной литературе, аналитические исследования, технико-экономический анализ. Проведены экспериментальные лабораторные исследования, математическое и физическое

моделирование, графический и графоаналитический методы обработки данных с применением программных пакетов Microsoft Office, AutoCAD.

Положения, выносимые на защиту.

1. Температурный режим в изолированном дражном разрезе, способствующий эффективной разработке россыпных месторождений в межсезонный период, зависит от климатических условий района, параметров разреза, типа драги, свойств изолирующего материала и описывается многофакторным уравнением нелинейного вида.

2. Оптимальная ширина одинарного дражного забоя при изолировании разреза, обеспечивающая максимальную экономическую эффективность, описывается степенным уравнением и зависит от типа драги, стоимости изолирующей конструкции и содержания золота в песках.

3. Научно доказано, что изолирование дражного разреза от воздействия отрицательных температур позволяет увеличить продолжительность добычного сезона, что обеспечивает повышение годовой производственной мощности дражного оборудования на 16-38% в зависимости от типа драги.

Степень достоверности работы подтверждена сходимостью результатов теоретических исследований с экспериментальными данными и доверительной вероятностью, а также значительным объемом статистических данных.

Апробация результатов работы. Материалы диссертационной работы были представлены на следующих конференциях и семинарах: Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты», г. Кемерово, 2016 г.; Международный интеллектуальный конкурс студентов и аспирантов «University Stars – 2016», г. Москва, 2016 г.; VI и VIII Международные научно-технические конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 2017, 2019 гг.; Всероссийская научно-практическая конференция «Интеграция мировой науки в условиях кризиса: теоретические подходы и практические результаты», 2019 г.; XVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны – 2020», Красноярск, 2020 г.; на семинарах кафедры «Открытые горные работы» ИГДГиГ СФУ (Красноярск, 2016-2020 гг.).

Исследования проводились при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки для проектов прикладных научных исследований и экспериментальных разработок, выполняемых магистрантами и аспирантами в целях обеспечения устойчивого развития Арктики и территорий Крайнего Севера.

Личный вклад автора заключается в выполнении теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая постановку их цели и задач, в анализе и обобщении экспериментальных результатов, в разработке новых технических и технологических решений, в создании методик определения температурного режима в изолированном дражном разрезе и расчета оптимальной ширины

одинарного дражного забоя, в определении размеров изолирующей конструкции, а также продолжительности добычного сезона при разработке россыпных месторождений дражным способом в условиях Крайнего Севера.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 19 научных работ, из них 7 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 1 входит в международную базу данных Scopus. Получено 5 патентов РФ на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения и 1 приложения. Содержит 120 библиографических источников, 27 таблиц, 75 рисунков и 63 формулы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации предлагаемого технологического решения.

В первой главе рассмотрены и систематизированы способы продления добычного сезона при разработке обводненных месторождений полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера. Предложен принципиально новый способ продления сезона при дражной разработке месторождений, основанный на изолировании разреза от воздействия отрицательных температур.

Во второй главе рассмотрен температурный режим в изолированном пространстве дражного разреза, а также влияющие на него источники тепловыделения. Разработана математическая модель, позволяющая определять температуру воздуха в изолированном разрезе. Представлены результаты эксперимента, доказывающие высокую достоверность полученной модели. Приведены данные по продолжительности добычного сезона с применением предлагаемой технологии для драг разных типоразмеров.

В третьей главе показана методика расчета параметров изолирующей конструкции для драг разных типоразмеров. Рассмотрены возможность передвижки конструкции и нагрузки, действующие на нее.

Четвертая глава содержит методику определения оптимальной ширины одинарного дражного забоя и технико-экономическую оценку предлагаемой технологии на примере месторождения россыпного золота в долине р. Калами.

Основные результаты проведенных исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

В настоящее время одним из перспективных направлений в горнодобывающей промышленности страны является добыча золота, значительные запасы которого содержатся в россыпных месторождениях. Условия залегания таких месторождений позволяют эффективно применять относительно простые технологии. При разработке россыпей высокие технико-экономические показатели имеет дражный способ, которым могут отрабатываться обводненные континентальные месторождения, а также техногенные накопления золота, платины и других полезных ископаемых.

Продолжительность добычного сезона драги во многом определяется климатическими условиями района. В период отрицательных температур происходит намерзание породы на черпаки и черпаковую раму, что ведет к снижению производительности дражного оборудования. В связи с этим продолжительность добычного сезона в условиях Крайнего Севера может составлять всего 160-180 дней.

Сегодня известен целый ряд способов, позволяющих продлить добычной сезон при разработке россыпных месторождений драгами, однако на практике широкого распространения они не получили. Это связано, в первую очередь, с трудоемкостью работ, с высокими экономическими и энергетическими затратами, а также с экологическим ущербом.

В качестве наиболее перспективного способа продления добычного сезона предложено изолирование дражного разреза от воздействия отрицательных температур конструкцией ангарного типа, выполненной из современных строительных материалов. В результате изучения их технических характеристик был выбран сотовый поликарбонат, монтаж которого следует осуществлять с помощью металлического каркаса (рис. 1).

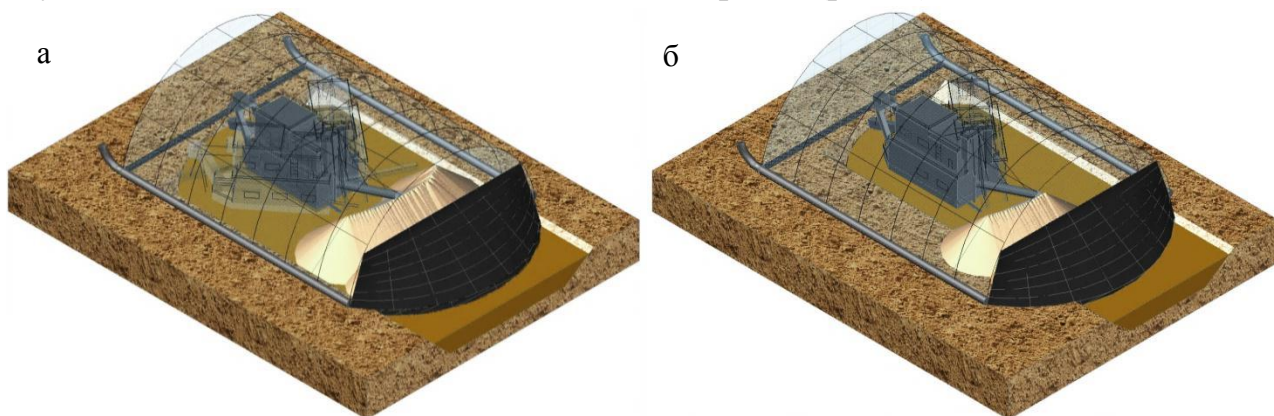


Рисунок 1 – Схемы изолирования дражного разреза ангаром при разработке месторождения:
а – прямым забоем; б – косым забоем

Уравнение теплового баланса в дражном ангаре будет иметь вид:

$$Q_{\text{в}} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{тех}} = Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{в}}$ – теплопоступление от воды в дражном разрезе, Дж; $Q_{\text{с}}$ – теплопоступление в процессе инсоляции (облучение прямыми солнечными лучами), Дж; $Q_{\text{тех}}$ – тепловыделение при технологических процессах, Дж; $Q_{\text{п}}$ – потери тепловой энергии, Дж.

Теплопоступление от поверхности воды определяется из выражения, Дж:

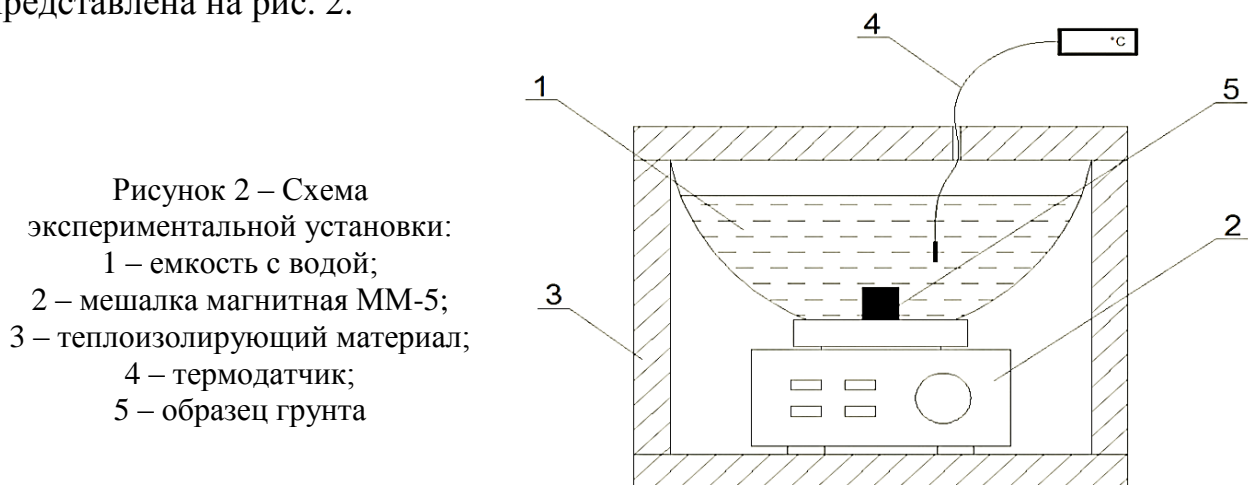
$$Q_{\text{в}} = 3600 \cdot \alpha_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{в}} + 273)^4 \cdot S_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент излучения энергии воды; σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·°С⁴); $T_{\text{в}}$ – температура воды в дражном разрезе, °С; $S_{\text{в}}$ – площадь поверхности воды в дражном разрезе, м²; $t_{\text{в}}$ – расчетная продолжительность тепловыделения воды, ч.

На температуру воды в дражном разрезе будет влиять его объем, температура окружающего воздуха, параметры грунтовых вод и вынимаемой породы.

Воздействие параметров грунта, вынимаемого драгой, на изменение температуры воды в дражном разрезе было определено экспериментально. Для этого с соблюдением равенства критериев теплового и геометрического подобия выполнена установка в масштабе 1:1000. В качестве моделируемого объекта принят разрез, разработка которого осуществляется драгой с емкостью черпаков 150 л. Основной частью установки является емкость с водой объемом 0,002 м³, в которую устанавливают термодатчик для определения средней температуры воды. Ее равномерное распределение по всему объему путем непрерывного перемешивания достигается с помощью магнитной мешалки.

Для исключения погрешностей в измерениях установка изолирована от внешней среды материалом с низкой теплопроводностью. В качестве такого материала был выбран пенопласт. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.



Эксперименты проводили следующим образом. В емкость с водой помещали мерзлый грунт кубической формы и затем измеряли температуру воды в течение определенного времени. Шаг фиксации был принят равным одной минуте. Опыт заканчивали, когда температура воды переставала меняться или менялась незначительно. Затем производили замену воды и повторяли измерения с новым образцом грунта.

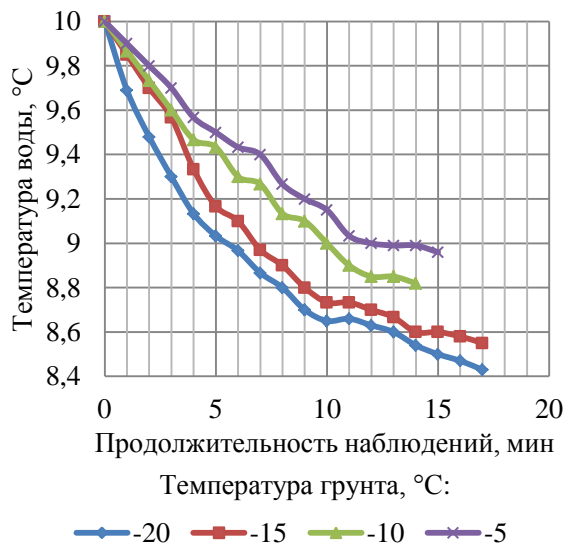
Было проведено три этапа исследований. Первый этап выполнен при начальной температуре воды 10 °С. Длина сторон образцов грунта кубической формы принята 1, 2, 3 и 4 см. Для образцов разных размеров проводили 4 серии измерений (принимая их начальную температуру -20, -15, -10, -5 °С). Полученные результаты представлены графически на рис. 3.

Второй и третий этапы проведены аналогично, но с начальной температурой воды 7 и 4 °С соответственно.

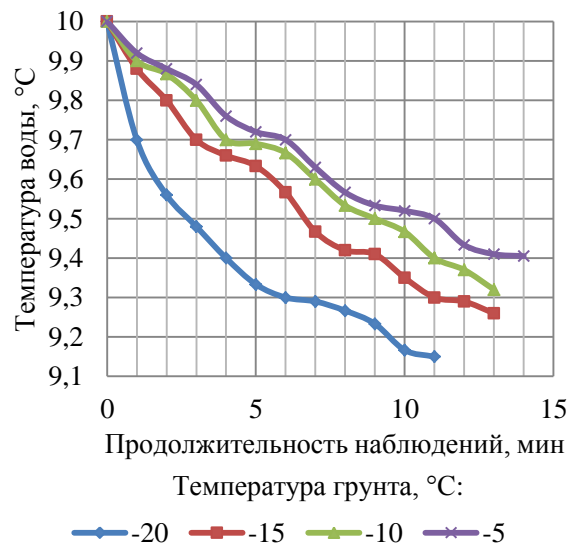
Далее с помощью программной среды Microsoft Excel была получена формула определения температуры воды с учетом параметров вынимаемого грунта, °С:

$$T_b = 0,3 + T_{в.н} - 12,1 \cdot P_r + 0,014 \cdot T_r - 0,174 \cdot t_r, \quad (3)$$

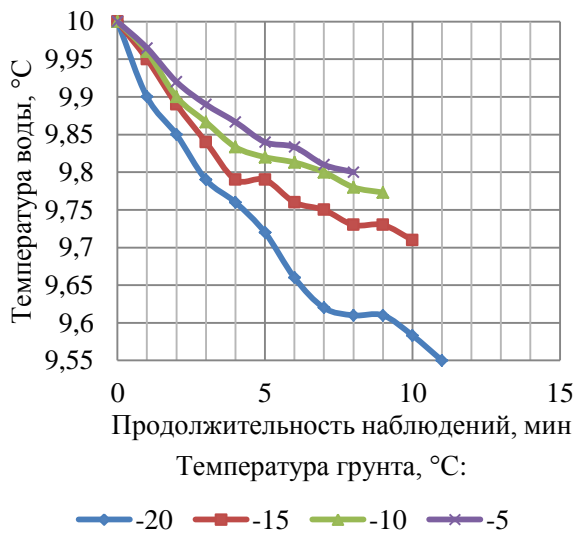
где $T_{в.н}$ – начальная температура воды, °С; P_r – отношение объема вынимаемых грунтов к объему воды в разрезе, м³/м³; T_r – средняя температура вынимаемых грунтов, °С; t_r – расчетное время, ч.



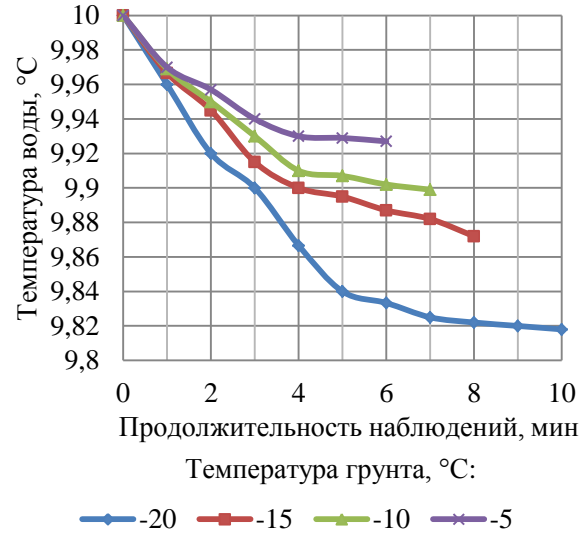
а



б



в



г

Рисунок 3 – Изменение температуры воды в установке в зависимости от времени измерения при наличии образцов грунта кубической формы с длиной сторон (см): а – 4, б – 3, в – 2, г – 1

Значительное влияние на температурный режим в дражном ангаре будет оказывать инсоляция, оцениваемая по ряду показателей, таких как время года, географическое местоположение дражного разреза, площадь облучения и др.

Теплопоступление в процессе инсоляции определяется по формуле, Дж:

$$Q_c = 3600 \cdot \gamma \cdot \alpha_c \cdot S_{o.a} \cdot t_c, \quad (4)$$

где γ – солнечная постоянная, Вт/м²; α_c – коэффициент светопропускания изолирующего материала; $S_{o.a}$ – площадь основания ангара, м²; t_c – средняя продолжительность инсоляции за расчетный период, ч.

Также на температурный режим внутри дражного ангара воздействует тепловыделение при технологических процессах, а именно от работы двигателей, осветительных приборов и отопительных агрегатов.

В ходе расчетов было установлено, что такие источники тепловыделения, как двигатели и осветительные приборы, в совокупности составляют менее 3,7%, поэтому в дальнейшем этими источниками можно пренебречь.

Отопление драг осуществляется паровой и электронагревательной системами. Они могут использоваться как совместно, так и независимо друг от друга. Тепловыделение от отопительных агрегатов, определяется из выражения, Дж:

$$Q_{от} = 3600 \cdot P_{от} \cdot t_{от}, \quad (5)$$

где $P_{от}$ – суммарная мощность отопительных агрегатов, Вт; $t_{от}$ – продолжительность работы отопительных агрегатов, ч.

Наряду с теплопоступлениями следует также учитывать и потери энергии. Потери через стенки ангара определяются по формуле Фурье, Дж:

$$Q_{п} = -3600 \cdot \lambda_a \cdot \frac{T_{о.в} - T_a}{h_a} \cdot S_a \cdot t_{п}, \quad (6)$$

где λ_a – коэффициент теплопроводности изолирующего материала, Вт/(м·°С); $T_{о.в}$ – температура окружающего воздуха, °С; T_a – температура воздуха в дражном ангаре, °С; h_a – толщина изолирующего материала, м; S_a – площадь поверхности ангара, м²; $t_{п}$ – расчетная продолжительность тепловыделения, ч.

Потери тепловой энергии будут происходить также и через возможные зазоры. Для дальнейших расчетов введем коэффициент тепловых потерь через зазоры, который принимаем равным 0,9 для всех типов ангаров.

Таким образом, температуру воздуха внутри дражного ангара можно выразить следующим образом, °С:

$$T_a = \frac{0,9 \cdot h_a \cdot (Q_{в} + Q_{с} + Q_{тех})}{\lambda_a \cdot S_a \cdot t_{п}} + T_{о.в}. \quad (7)$$

Для определения достоверности теоретических расчетов был проведен эксперимент с помощью установки, схема которой представлена на рис. 4.

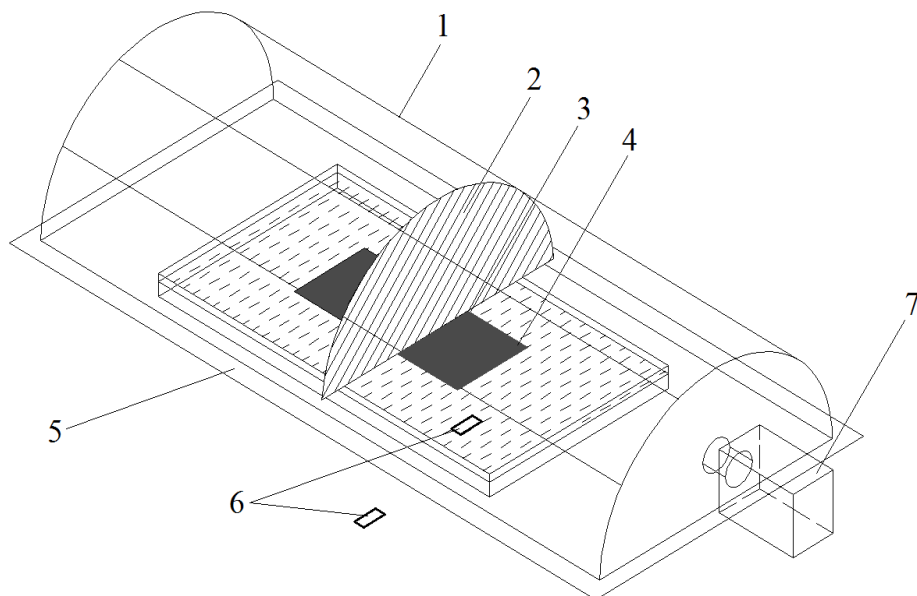


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки:

- 1 – поликарбонат;
- 2 – экран из фольги;
- 3 – модель драги;
- 4 – емкость с водой;
- 5 – основание;
- 6 – термодатчики;
- 7 – инфракрасная камера

Установка выполнена для условий 250-литровой драги. При моделировании соблюдено геометрическое подобие элементов в системах натурального и модельного образца, а также равенство критериев теплового подобия. Масштаб принят 1:100, размеры установки при этом составили: максимальная высота – 270 мм, ширина основания – 520 мм, длина – 1250 мм.

Стенки выполнены из прозрачного сотового поликарбоната толщиной 8 мм, коэффициент светопропускания которого составляет 0,92. Ангар устанавливают на твердое основание, все зазоры герметизируют. В торцевой части выполняют отверстие для установки инфракрасной камеры. Камера предназначена для съемки распределения температурных полей, а также для определения средней температуры воздуха внутри дражного ангара.

В центральной части ангара устанавливают экран из фольги для возможности фиксации распределения температурных полей. Под экраном размещают емкость с водой объемом 0,01 м³. В емкость и снаружи конструкции устанавливают термодатчики, позволяющие производить замеры температуры воды и окружающего воздуха.

Эксперимент проводили в пять этапов: при температуре окружающего воздуха -11, -9, -7, -5, -3 °С. В ходе каждого этапа в ангар устанавливали емкость с водой. Температура воды, при которой начинали производить фиксацию температурных полей, принята равной 20 °С. Далее съемку осуществляли при температуре воды 18, 16, 14 и 12 °С. При этом для устранения погрешностей в измерениях начальную температуру воды принимали выше, чем требовалось в эксперименте, чтобы на начало замеров температура воздуха в установке распределилась естественным образом.

Для визуализации снимков инфракрасной камеры было использовано программное обеспечение Guide IrAnalyser. Пример распределения температурных полей в экспериментальной установке представлен на рис. 5.

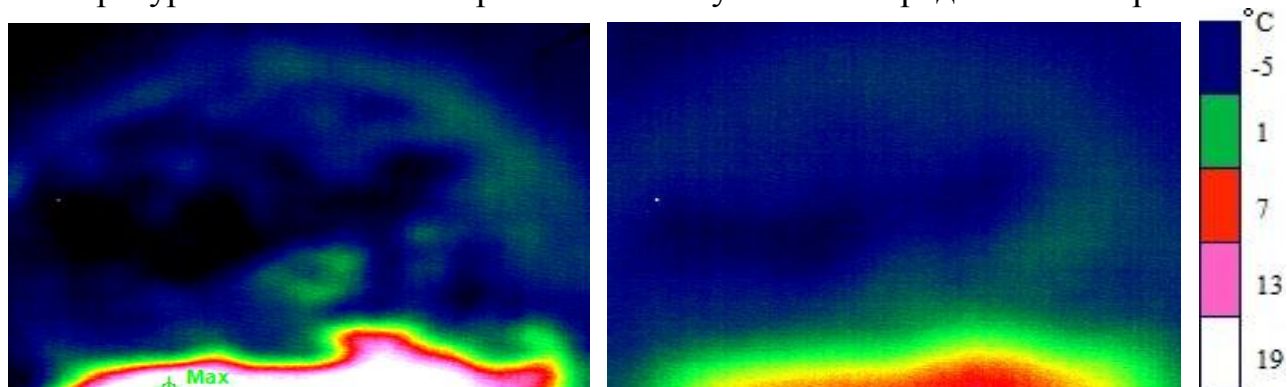


Рисунок 5 – Пример распределения температурных полей в дражном ангаре

Для определения средней температуры в ангаре в программной среде Guide IrAnalyser полученные поля на снимках разбиваются изотермами, ограничивающими поля с одинаковой температурой.

Далее снимки с нанесенными на них изотермами экспортируются в программную среду AutoCAD. С помощью данного программного обеспечения определяются площади температурных полей. По полученным данным была рассчитана средняя температура воздуха в ангаре для различных условий. Расчеты проводились по следующей формуле, °С:

$$T_a = \frac{T_1 \cdot S_1 + \dots + T_n \cdot S_n}{S}, \quad (8)$$

где T_1 – температура 1-го поля, °С; S_1 – площадь 1-го поля, см²; S – суммарная площадь полей, см²; n – количество температурных полей.

При дальнейшей обработке экспериментальных данных получена математическая модель, позволяющая определять температуру воздуха внутри дражного ангара в определенный момент времени, учитывающая температуру воды и окружающего воздуха, °С:

$$T_a = (0,03 \cdot T_{o.v} + 0,3) \cdot T_v + (1,5 \cdot T_{o.v} + 7,1). \quad (9)$$

Результаты расчета по формуле (9) совпадают со значениями, рассчитанными по формуле (7) с погрешностью менее 10%. Таким образом, в результате выполненного эксперимента можно сделать вывод, что формула, выведенная теоретически, позволяет с высокой точностью определять температуру воздуха внутри дражного ангара в течение года.

Вышеизложенное является доказательством первого научного положения, выносимого на защиту, а именно: температурный режим в изолированном дражном разрезе, способствующий эффективной разработке россыпных месторождений в межсезонный период, зависит от климатических условий района, параметров разреза, типа драги, свойств изолирующего материала и описывается многофакторным уравнением нелинейного вида.

Для драг разных типоразмеров существуют значения оптимальных углов маневрирования и соответствующие им значения ширины одинарного забоя, установленные опытным путем. Однако, применяя предлагаемую технологию, необходимо учитывать затраты на ангар, их изменение при различных углах маневрирования драги и содержаниях золота в песках, поэтому расчет оптимальной ширины одинарного дражного забоя произведен по представленной ниже методике.

Графоаналитическим методом в программной среде AutoCAD были определены размеры и площадь ангаров исходя из конструктивных параметров драг при различных углах маневрирования. С помощью полученных данных рассчитаны стоимость ангара и ежегодные затраты на его передвижку (рис. 6, 7). Стоимость ангара включает в себя затраты на поликарбонат, металлический каркас, салазки и монтаж конструкции.

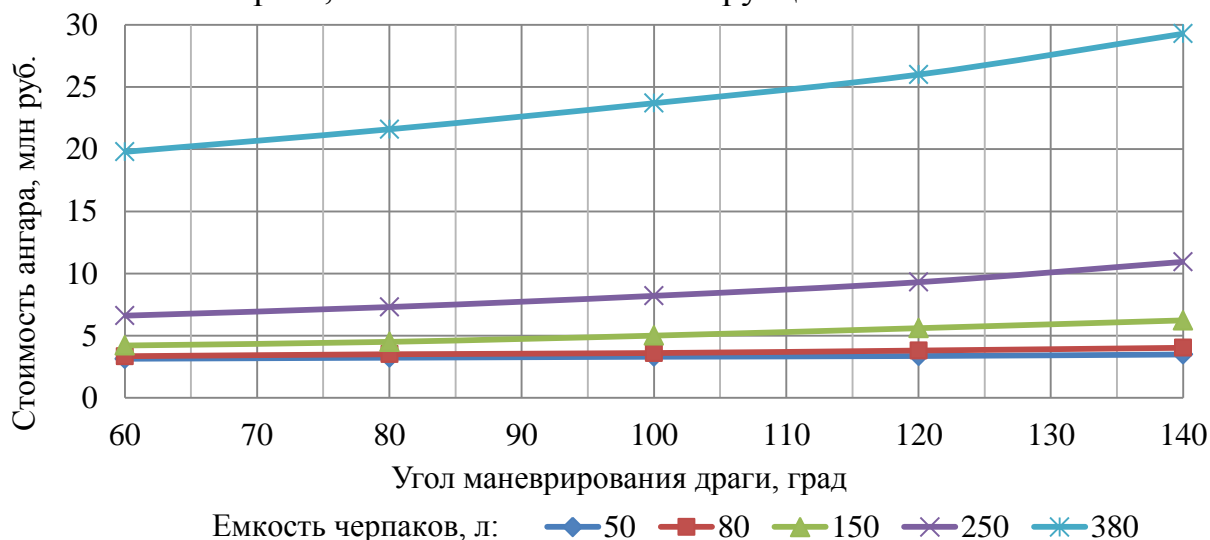


Рисунок 6 – Изменение стоимости ангара в зависимости от типа драги и угла маневрирования

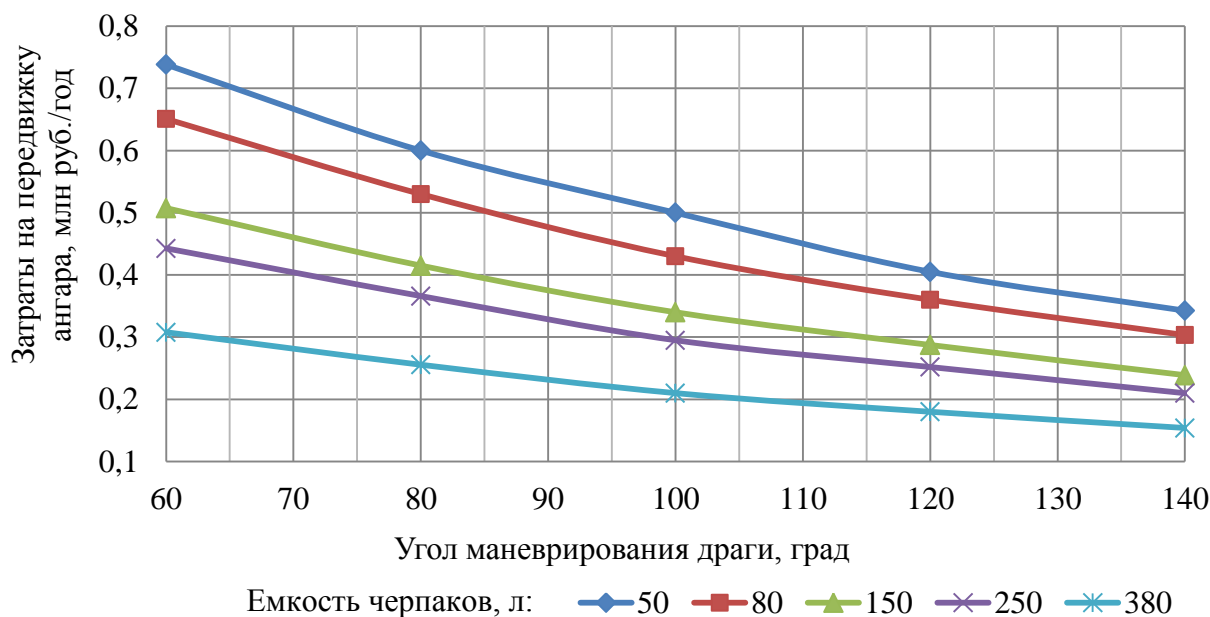


Рисунок 7 – Ежегодные затраты на передвижку ангара при различных углах маневрирования драг

Далее была определена разница чистой прибыли при предлагаемой и традиционной технологиях для драг разных типоразмеров при различных углах маневрирования и содержаниях золота в песках. В качестве примера на рис. 8 показана прибыль при работе драги 250Д с применением предлагаемой технологии, а также (горизонтальными линиями) – затраты на ангар. Представленные результаты рассчитаны при содержании золота в песках $0,1 \text{ г/м}^3$.

В результате построения графиков были получены уравнения вида $C = m \cdot T$, где C – прибыль при применении предлагаемой технологии, млн руб.; m – коэффициент, зависящий от типа драги и угла маневрирования; T – срок окупаемости инвестиций при предлагаемой технологии, лет.

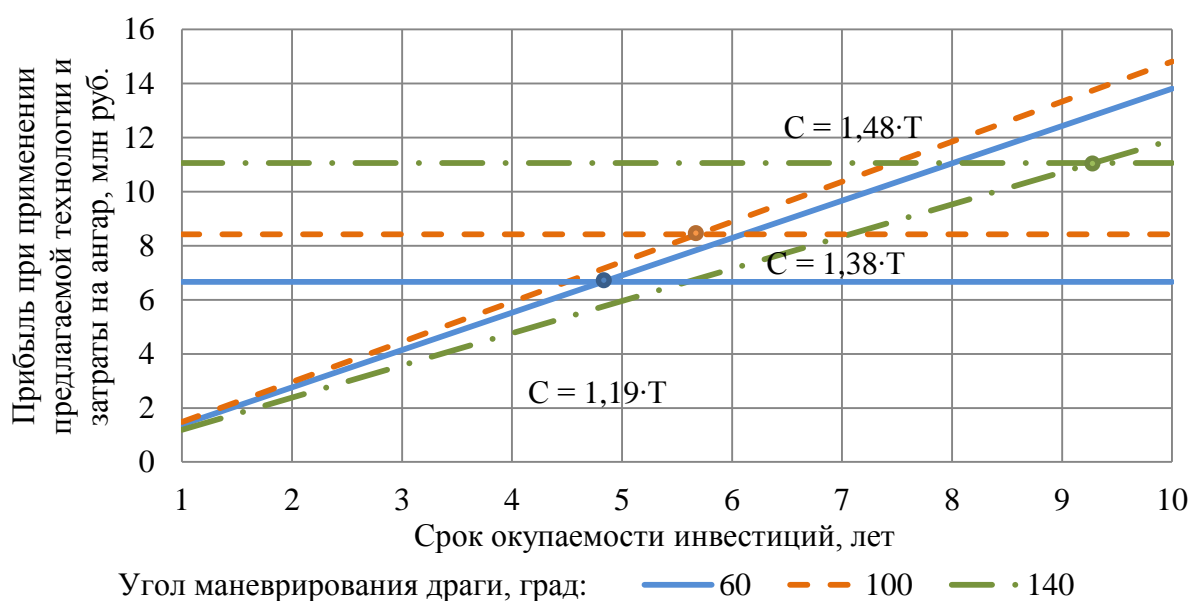


Рисунок 8 – Прибыль и затраты на ангар для драги 250Д при содержании золота в песках $0,1 \text{ г/м}^3$

Зная прибыль и коэффициент m , был найден срок окупаемости инвестиций при различных углах маневрирования драги. По полученным значениям построена линия, уравнение которой наиболее точно описывает их расположение на графике (рис. 9). Точка с наименьшим сроком окупаемости будет наивыгоднейшим значением, а соответствующий угол маневрирования драги – оптимальным.

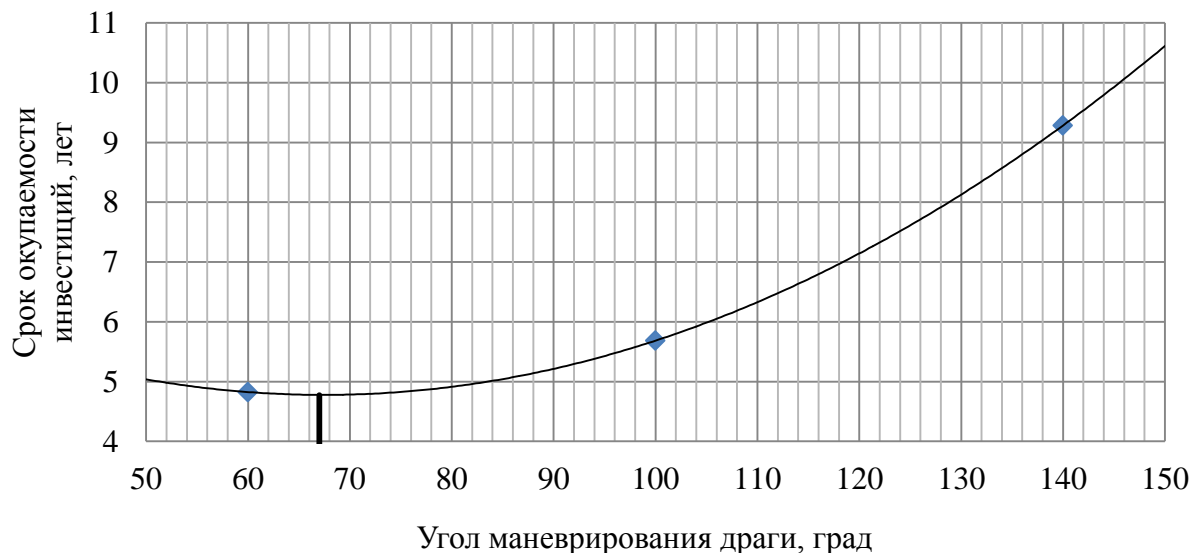


Рисунок 9 – Зависимость срока окупаемости инвестиций для драги 250Д от угла маневрирования при содержании золота в песках $0,1 \text{ г/м}^3$

Таким образом, оптимальный угол разработки месторождения с содержанием золота в песках $0,1 \text{ г/м}^3$ драгой 250Д при применении предлагаемой технологии составит 67 градусов. Значения оптимальных углов при других условиях представлены на рис. 10.

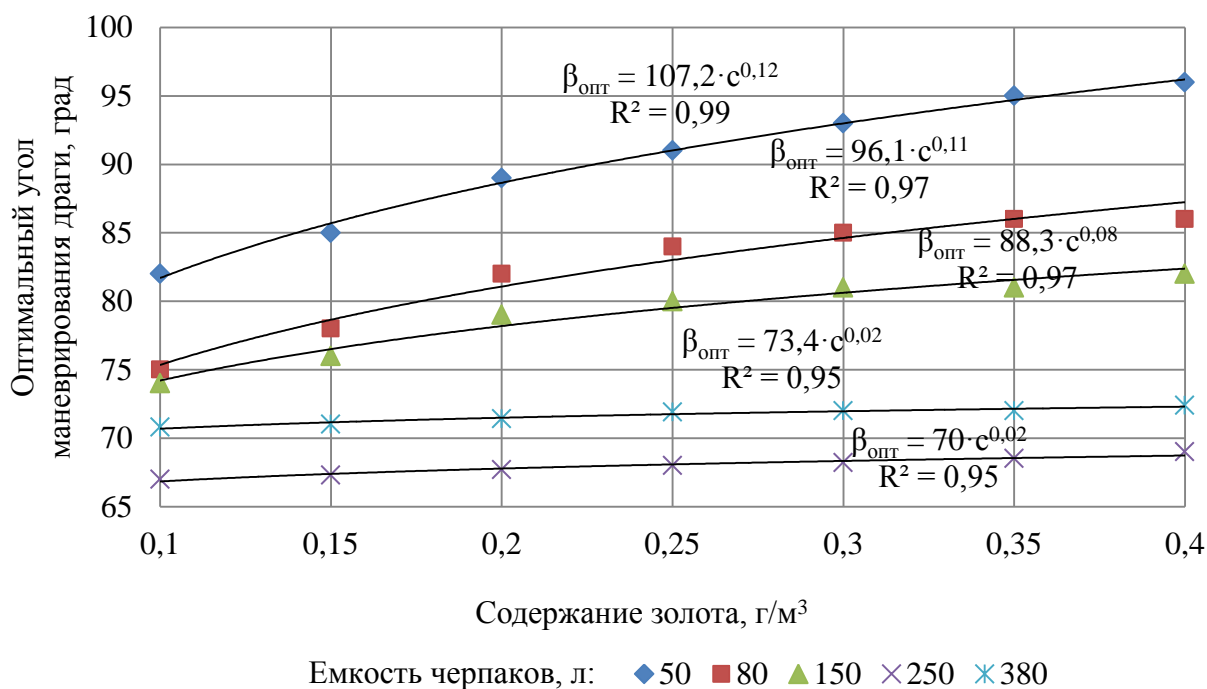


Рисунок 10 – Значения оптимальных углов маневрирования в зависимости от типа драги и содержания золота в песках

С помощью полученных значений углов маневрирования по известным уравнениям произведен расчет оптимальной ширины одинарного дражного забоя. Расчетные данные, а также полученные уравнения представлены на рис. 11.

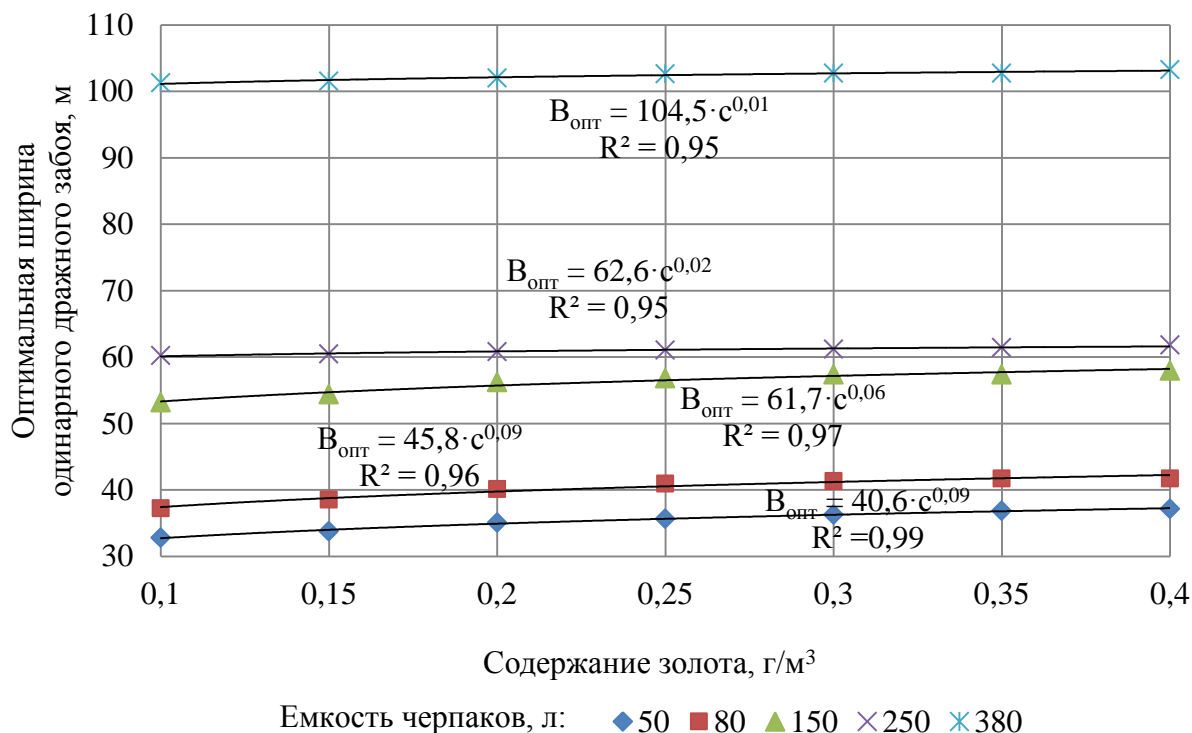


Рисунок 11 – Значения оптимальной ширины одинарного дражного забоя в зависимости от типа драги и содержания золота в песках

Вышеизложенное является доказательством второго научного положения, выносимого на защиту, а именно: оптимальная ширина одинарного дражного забоя при изолировании разреза, обеспечивающая максимальную экономическую эффективность, описывается степенным уравнением и зависит от типа драги, стоимости изолирующей конструкции и содержания золота в песках.

На примере условного месторождения, расположенного на территории Крайнего Севера, определена годовая динамика температуры воздуха внутри дражного ангара. Разработка при этом осуществляется драгой 250Д. В качестве изолирующего материала для ангара принят поликарбонат толщиной 10 мм. Результаты расчета представлены на рис. 12.

Монтаж ангара рекомендуется производить осенью, когда среднесуточная температура окружающего воздуха устанавливается ниже среднесуточной температуры воды в дражном разрезе. Это позволяет с максимальной эффективностью использовать тепловыделение от воды разреза в дражном ангаре.

Демонтаж ангара необходимо производить при наступлении устойчивой положительной температуры окружающего воздуха либо когда ее среднесуточное значение превысит температуру воздуха внутри дражного ангара.

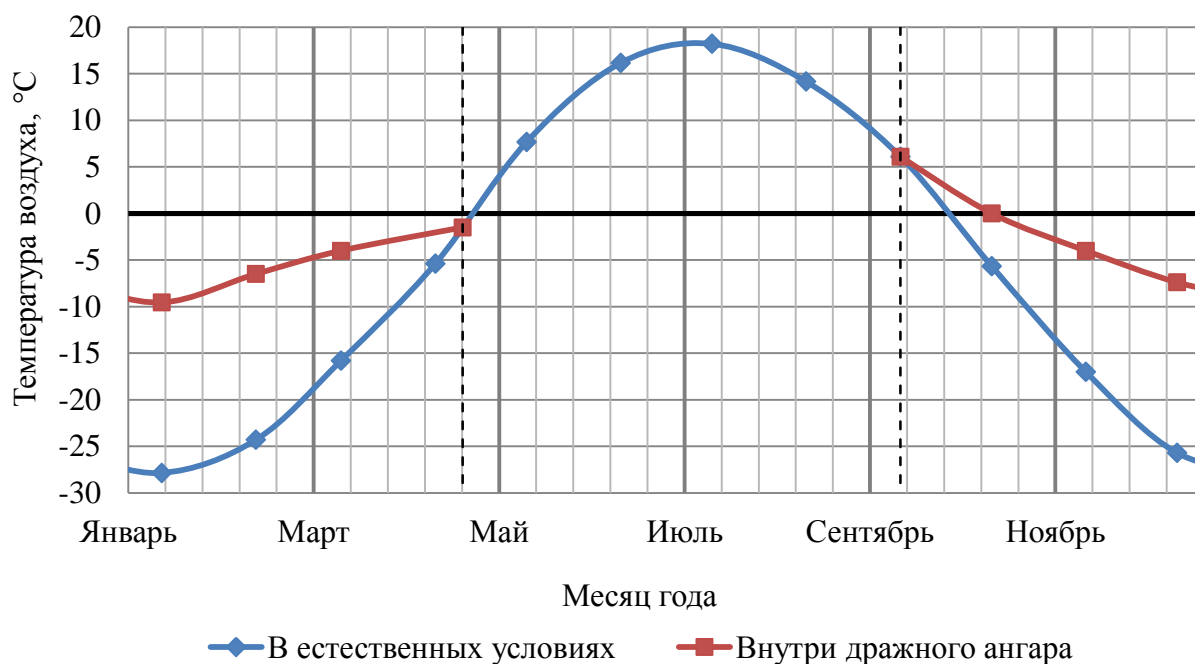


Рисунок 12 – Годовая динамика температуры воздуха

Далее было определено изменение продолжительности добычного сезона при внедрении предлагаемой технологии. Добычным сезоном во всех случаях ограничен периодом, при котором суточная производительность драги больше, чем минимально допустимая. В результате расчетов установлено, что с применением предлагаемой технологии продолжительность добычного сезона увеличится на 130 дней (рис. 13).

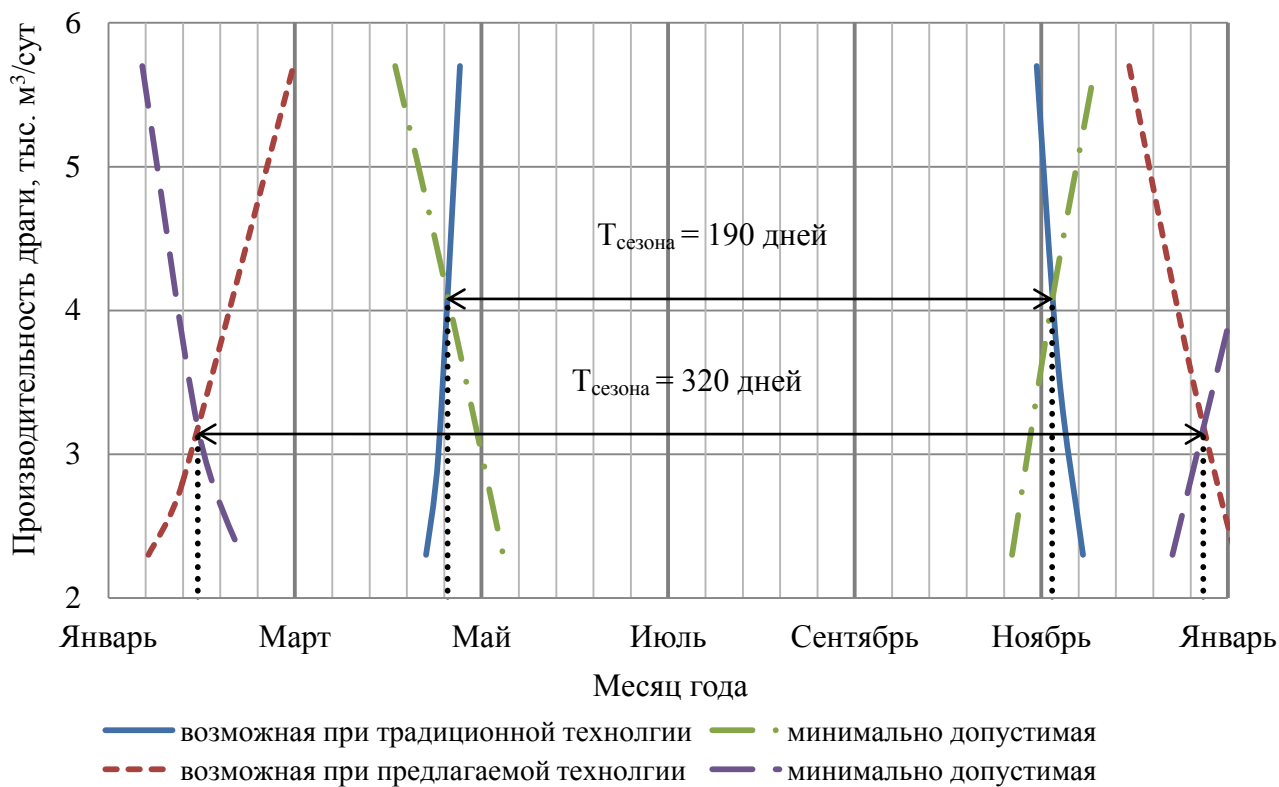


Рисунок 13 – Определение рациональной продолжительности добычного сезона

Зная динамику температуры воздуха в дражном ангаре и продолжительность добычного сезона в условиях Крайнего Севера, определено изменение годовой производственной мощности драг разных типоразмеров при разной толщине стенок ангара (рис. 14).

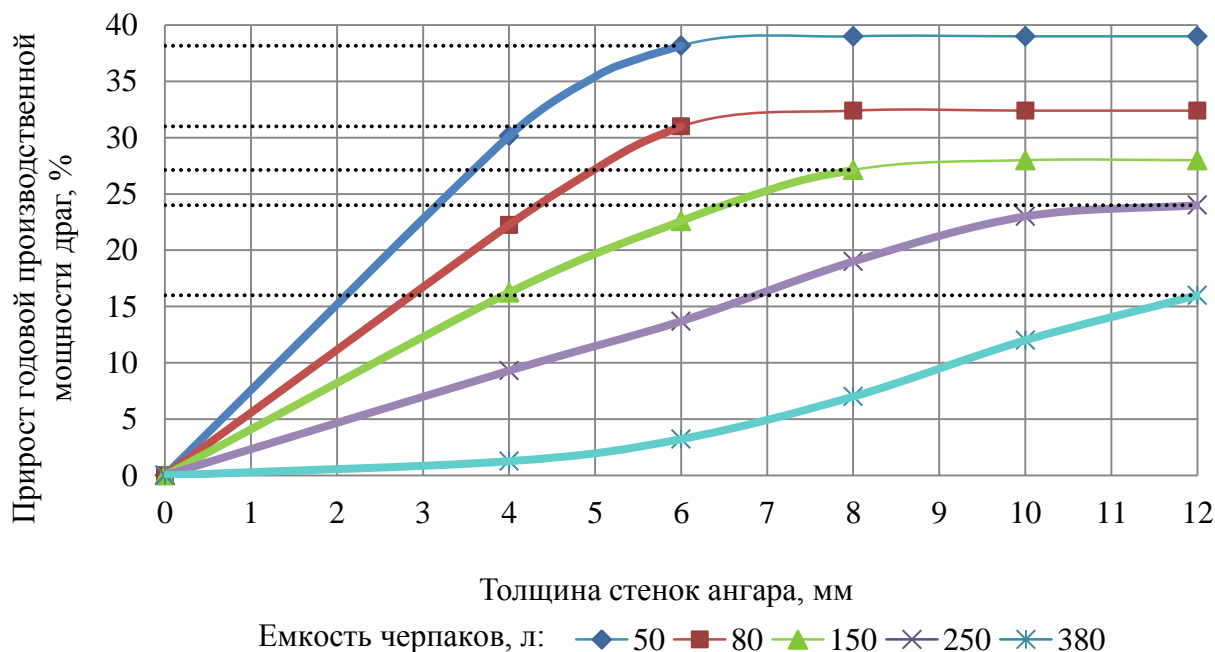


Рисунок 14 – Изменение годовой производственной мощности драг

По представленному графику видно, что при использовании предлагаемой технологии годовая производственная мощность драг значительно возрастает.

Вышеизложенное является доказательством третьего научного положения, выносимого на защиту, а именно: научно доказано, что изолирование дражного разреза от воздействия отрицательных температур позволяет увеличить продолжительность добычного сезона, что обеспечивает повышение годовой производственной мощности дражного оборудования на 16-38% в зависимости от типа драги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача повышения годовой производственной мощности драг в условиях Крайнего Севера путем продления добычного сезона с обоснованными техническими и технологическими параметрами, что имеет важное значение для развития горнодобывающей отрасли России.

1. Выполнена систематизация способов продления добычного сезона при дражной разработке россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера, главными составляющими которой являются майноподдержание и майнообразование. Предложен принципиально новый способ продления добычного сезона, основанный на изолировании дражного разреза от воздействия отрицательных температур.

2. На базе экспериментальных данных разработана математическая модель определения температуры воды в дражном разрезе в зависимости от параметров вынимаемых грунтов. Погрешность модели составила менее 5%.

3. Разработано уравнение теплового баланса, позволяющее спрогнозировать температуру воздуха внутри дражного ангара. Экспериментально подтверждена достоверность теоретических расчетов. Изучено распределение температурных полей в дражном ангаре при различных условиях.

4. С помощью полученной математической модели обоснована продолжительность добычного сезона драги при использовании предлагаемой технологии. Выявлено, что изолирование дражного разреза позволяет осуществлять круглогодичную разработку россыпных месторождений. Произведены расчеты годовой производственной мощности драг разных типоразмеров, результаты которых отражают ее значительный рост.

5. Разработана методика расчета размеров ангаров, позволяющих безопасно осуществлять добычу полезных ископаемых драгами разных типоразмеров. Графоаналитическим способом определены площади изолирующих конструкций. Кроме того, показана возможность передвижки ангаров и рассчитаны действующие на них нагрузки, суммарное значение которых не превысило предельно допустимых значений.

6. Предложены новые технические решения при применении предлагаемой технологии. Приведена методика определения длины блока, обрабатываемого драгой в зимний период. Рассмотрена возможность использования существующих способов выемки пород и систем дражной разработки россыпных месторождений при изолировании разреза.

7. Для предложенной технологии сформирована методика определения оптимальной ширины одинарного дражного забоя, значение которой зависит от типа драги и содержания золота в песках. При этом учтены производительность драг, затраты на ангар и его передвижку, а также срок окупаемости предприятия с применением предлагаемой технологии разработки россыпных месторождений.

8. Представлена экономическая оценка эффективности предлагаемого технологического решения на примере месторождения россыпного золота в долине р. Калами. Внедрение данного решения позволит увеличить прибыль предприятия на 98,5 млн руб., что подтверждает его экономическую целесообразность.

Результаты исследований могут быть использованы на россыпных месторождениях, расположенных в условиях Крайнего Севера, разработка которых осуществляется дражным способом. Это позволит продлить добычный сезон и значительно повысить годовую производственную мощность дражного оборудования.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и приравненные к ним публикации:

1. **Нафиков, Р.З.** Параметры изолирующей конструкции при дражной разработке в условиях отрицательных температур / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Известия Тульск. гос. ун-та. Науки о Земле. – 2016. – Вып. 2. – С. 95-101 (Web of Science).
2. **Нафиков, Р.З.** Повышение производительности драг в условиях отрицательной температуры / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков, П.В. Катышев // Вестник Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2017. – Т. 15. – № 4. – С. 4-9.
3. **Нафиков, Р.З.** Исследование теплообмена в изолированном пространстве дражного разреза / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков, В.Н. Вокин, А.А. Бахтигузин // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 8. – С. 89-93.
4. **Нафиков, Р.З.** Систематизация способов продления дражного сезона / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Маркшейдерия и недропользование. – 2017. – № 4. – С. 13-16.
5. **Нафиков, Р.З.** Продление рабочего сезона драги / Р.З. Нафиков, В.Е. Кисляков // Горный информационно-технический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – Т. 2. – № 12. – С. 393-399.
6. **Нафиков, Р.З.** Температурный режим воды в дражном разрезе при разработке мерзлых грунтов / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков, В.Н. Вокин, Т.А. Веретенова, А.А. Бахтигузин // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12 (часть 2). – С. 353-357.
7. **Нафиков, Р.З.** Способ дражной разработки месторождений в условиях Крайнего Севера / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Известия Тульск. гос. ун-та. Науки о Земле. – 2020. – Вып. 3. – С. 171-179 (Web of Science).
8. Патент 2598099 РФ, МПК E21C 41/30. Способ разработки обводненных россыпей драгами / В.Е. Кисляков, **Р.З. Нафиков**, Х.У. Севик; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2015134080; заявл. 13.08.2015; опубл. 20.09.2016, Бюл. № 26. – 3 с.
9. Патент 2598100 РФ, МПК E21C 41/30. Способ разработки обводненных россыпных месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **Р.З. Нафиков**, Х.У. Севик; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2015134081; заявл. 13.08.2015; опубл. 20.09.2016, Бюл. № 26. – 3 с.
10. Патент 2614175 РФ, МПК E21C 41/30, E04H 9/16. Устройство для дражной разработки месторождений в зимний период / В.Е. Кисляков, **Р.З. Нафиков**, А.А. Шершневу; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2016106463; заявл. 24.02.2016; опубл. 23.03.2017, Бюл. № 9. – 3 с.

11. Патент 2614337 РФ, МПК E21C 41/30, E04H 9/16. Способ дражной разработки обводненных россыпных месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **Р.З. Нафиков**; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2016106843; заявл. 25.02.2016; опубл. 24.03.2017, Бюл. № 9. – 4 с.

12. Патент 2655331 РФ, МПК E21C 41/30, E04H 9/16. Способ дражной разработки обводненных россыпных месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **Р.З. Нафиков**, А.А. Бахтигузин; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2017124825; заявл. 11.07.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 15. – 3 с.

13. **Nafikov, R.Z.** Substantiation of dredging technology of water-bearing deposits at subzero air temperatures / V.E. Kislyakov, R.Z. Nafikov, A.K. Kirsanov, P.V. Katyshev, N.A. Shkaruba, E.V. Zaitseva // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14. – No. 19. – P. 3417-3424 (Scopus).

В других изданиях:

14. **Нафиков, Р.З.** Способ продления дражного сезона / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр, 2016. Т. 2. – С. 28-30.

15. **Нафиков, Р.З.** Продление дражного сезона в зимний период / Р.З. Нафиков, В.Е. Кисляков // VI Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – С. 123-127.

16. **Нафиков, Р.З.** Влияние обнажаемых грунтов на температуру воды дражного разреза / Р.З. Нафиков, В.Е. Кисляков, О.Д. Аксютенко // Colloquium-journal. – Варшава, 2019. – № 6 (30) – С. 41-44.

17. **Нафиков, Р.З.** Температурный режим в дражном ангаре / В.Е. Кисляков, Р.З. Нафиков // VIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 109-114.

18. **Нафиков, Р.З.** Способ разработки обводненных россыпей драгами / Р.З. Нафиков, В.Е. Кисляков, О.Д. Аксютенко // Интеграция мировой науки в условиях кризиса: теоретические подходы и практические результаты: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Южн. ун-т ИУБиП, 2019. – С. 166-171.

19. **Нафиков, Р.З.** Дражная разработка месторождений в условиях Крайнего Севера / Р.З. Нафиков, В.Е. Кисляков // XVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив. Свободный – 2020». – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2020. – С. 1434-1437.