На правах рукописи



Журавлев Кирилл Аркадьевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Специальность 2.8.8 - Геотехнология, горные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Хабаровск - 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Хабаровском Федеральном исследовательском центре Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)

Научный руководитель: **Серый Руслан Сергеевич,** кандидат технических наук, заведующий лабораторией разработки россыпных месторождений Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук

Официальные оппоненты: **Шумилова Лидия Владимировна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и химических технологий в горном деле Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет»;

Михайленко Григорий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточного государственного университета».

Ведущая организация: Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИГДС СО РАН).

Защита диссертации состоится 16 февраля 2027 г. в 10^{00} на заседании диссертационного совета 24.1.478.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, по адресу: 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, конференц-зал. Тел./факс: (4212) 32-79-27, e-mail: adm@khfrc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, д. 51 и на сайте www.khfrc.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук _____ С.И. Корнеева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На Дальнем Востоке золотодобыча играет важную роль в экономике регионов и зачастую является единственным источником занятости населения в отдалённых северных районах. Несмотря на снижение доли россыпей в структуре золотодобычи (с 70-75 % в конце XX века до 24-26 % в настоящее время), их разработка по-прежнему актуальна. Это связано не только с природными особенностями россыпных месторождений и быстротой ввода этих месторождений в эксплуатацию, но и с ростом интереса к повторному освоению техногенных объектов и комплексному извлечению из них ценных компонентов.

В течение последних десятилетий в золотодобывающей отрасли России наблюдается устойчивая тенденция превышения объемов добычи золота из россыпных месторождений над приростом запасов по результатам геологоразведочных работ. В результате большая часть легкодоступных россыпей с высокими содержаниями уже отработана, а оставшиеся объекты характеризуются либо небольшими объемами запасов, либо расположением в труднодоступных районах со сложными климатическими условиями и отсутствием необходимой инфраструктуры.

Сложившиеся условия вынуждают недропользователей к вовлечению в эксплуатацию не только труднодоступных россыпей со сложными горно-геологическими условиями, но и техногенных месторождений. Для рассматриваемых природных и техногенных объектов характерно наличие мелкого и тонкого золота (далее - МТЗ) крупностью менее 0,25 мм. Освоение таких объектов требует применения более совершенных и энергоэффективных технологий и оборудования, обеспечивающих более полное извлечение ценных компонентов.

Наряду с отсадочными машинами, центробежными концентраторами, винтовыми сепараторами на большинстве россыпных месторождений по-прежнему широко применяются шлюзовые промывочные комплексы, отличающиеся конструктивной простотой и мобильностью. Однако при переработке песков, содержащих значительное количество мелких и тонких классов золота, эффективность таких комплексов определяется не только типом применяемого оборудования, но и эффективностью технологического режима его работы. Существенная часть потерь золота обусловлена неравномерной подачей песков, колебаниями соотношения жидкой и твёрдой фаз пульпы (Ж:Т) и неравномерным распределением потока по шлюзам. Это приводит к перегрузке шлюзов, нарушению гидродинамического режима потока пульпы и ухудшению условий улавливания мелкого и тонкого золота.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью решения научно-практической задачи обоснования параметров и режимов работы шлюзовых промывочных комплексов при неравномерной подаче золотосодержащих песков и разработки критериев выбора оборудования для освоения природных и техногенных россыпей со сложными горно-технологическими условиями.

Степень разработанности темы исследования. Научные основы разработки россыпных месторождений, подготовки и переработки золотосодержащих песков освещены в трудах В. Г. Лешкова, К. В. Соломина, Е. И. Богданова, О. В. Замятина, А. Г. Лопатина и других исследователей. Вопросы освоения природных и техногенных россыпей, оценки их ресурсного потенциала и технологических особенностей рассмотрены в работах В. С. Литвинцева, Ю. А. Мамаева, Г. С. Мирзеханова, Г. П. Пономарчука и их соавторов.

В предшествующих исследованиях рассмотрены процессы дезинтеграции, грохочения и гравитационного обогащения песков, определены основные факторы эффективности шлюзового процесса. Показано влияние крупности и состава перерабатываемого материала, удельной нагрузки по твёрдому, отношения жидкой и твёрдой фаз, скорости и глубины потока на условия извлечения золота. Разработаны

направления совершенствования промывочных комплексов, связанные с подготовкой питания, улучшением улавливающих покрытий и гидродинамических условий разделения, механизацией сполоска концентрата.

Применительно к условиям цикличной подачи песков требуется разработка количественных показателей неравномерности загрузки шлюзовых промывочных комплексов и методов их оперативного определения, позволяющих оценивать колебания отношения жидкой и твёрдой фаз пульпы во времени и различия этого отношения между шлюзами. Кроме того, необходимо разработать и обосновать количественные критерии предварительного выбора промывочного оборудования, учитывающие совокупность горно-технологических характеристик россыпи и свойств перерабатываемых песков. Эти вопросы определили направленность настоящего исследования.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованного подхода к оценке эффективности процессов подготовки золотосодержащих песков и критериев выбора технологического оборудования при освоении природных и техногенных россыпных месторождений.

Исходя из цели исследования автором определены следующие задачи:

1. Выполнить комплексный анализ современного состояния россыпной золотодобычи в России и на Дальнем Востоке с оценкой применяемых технологий переработки золотосодержащих песков;
2. Разработать подход к оценке эффективности работы драг и промывочных приборов шлюзового типа при отработке золотосодержащих россыпных месторождений;
3. Провести оценку эффективности регулирования колебаний Ж:Т в процессе подачи песков на прибор и распределения пульпы по шлюзам;
4. Разработать критерии выбора технологического оборудования при отработке месторождений со сложными горно-геологическими параметрами.
5. Выполнить технико-экономическое обоснование внедрения новой системы управления соотношением жидкой и твердой фаз пульпы, подаваемой на шлюза.

Идея исследования заключается в том, что повышение эффективности переработки золотосодержащих песков россыпных месторождений достигается комплексным согласованием типа применяемого промывочного оборудования с геолого-технологическими условиями месторождения и параметрами режима его работы - подачи песков, расхода технологической воды, распределения пульпы между шлюзами и отношения Ж:Т, что обеспечивает устойчивость технологического процесса и снижение потерь мелкого и тонкого золота.

Объект исследования. Шлюзовые промывочные комплексы, применяемые при переработке золотосодержащих песков природных и техногенных россыпных месторождений.

Предмет исследования. Закономерности изменения отношения Ж:Т при регулировании расхода технологической воды в условиях неравномерной подачи песков и равномерности загрузки шлюзов при регулировании распределения пульпы, а также критерии выбора промывочного оборудования с учётом горно-технологических свойств россыпи.

Методы исследования. Методическую основу исследования составили системный и комплексный подходы. В работе использованы анализ научно-технической литературы и производственного опыта; натурные наблюдения; объёмный метод отбора и исследования проб пульпы с определением отношения Ж:Т; хронометражные измерения и расчёт расходов пульпы и твёрдой фазы; ситовой анализ золота; сравнительные производственные эксперименты; расчётная и статистическая обработка результатов; технико-экономический анализ.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечиваются применением комплекса научных методов исследования, значительным объёмом натурных измерений, выполненных в условиях действующих горнодобывающих предприятий,

статистической обработкой полученных данных, использованием закономерностей работы технологического и насосного оборудования, повторяемостью выявленных закономерностей на различных типах шлюзовых промывочных комплексов, а также производственной апробацией разработанных технических решений на объектах россыпной золотодобычи Хабаровского края и Республики Саха (Якутия).

Защищаемые научные положения:

1. Управление количеством подаваемой воды с эффективным ее распределением в бункере, а также регулирование подачи породы за счет согласования расхода технологической воды с изменяющейся нагрузкой по твёрдой фазе позволяет обеспечивать равномерность подачи пульпы на шлюза. Управление распределением потоков пульпы с использованием делителей обеспечивает стабилизацию подачи пульпы в питании каждого шлюза.

2. Предварительное обоснование выбора промывочного оборудования для переработки песков россыпных месторождений золота должно быть основано на учете системы коэффициентов, отражающих геолого-технологическую сложность объекта и обеспечивающих ранжирование условий переработки мелкого и тонкого золота.

3. Для высокоглинистых россыпных месторождений золота повышение технико-экономической эффективности переработки песков обеспечивается применением промывочных комплексов с регулированием отношения Ж:Т на шлюзах мелкого наполнения, что за счёт стабилизации гидродинамического режима повышает извлечение мелких классов золота и обеспечивает прирост сезонной добычи.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. С использованием установленных закономерностей обоснована возможность повышения равномерности подачи песков и пульпы на шлюза мелкого наполнения за счёт совершенствования конструкции приёмно-подающего узла промывочного прибора, обеспечивающего предварительное распределение материала, снижение налипания глинистых песков и стабилизацию питания шлюзов.

2. Предложен количественный показатель устойчивости режима питания промывочного прибора ПБШ-100 (Прибор бочечный шлюзовой, производительностью 100 м^3/ч) позволяющий оценивать степень отклонения параметров подачи пульпы от среднего уровня при регулируемом и нерегулируемом режимах работы.

3. Разработан способ количественной оценки равномерности загрузки шлюзов по разбросу отношения Ж:Т между ними на основе коэффициента вариации, позволяющий использовать коэффициент загрузки шлюзов в качестве критерия эффективности распределения пульпы.

4. Получены новые экспериментальные данные и оценено влияние регулирующих элементов системы распределения пульпы на сужение диапазона изменения отношения Ж:Т по шлюзам и снижение вариации их загрузки, что способствует уменьшению потерь мелкого и тонкого золота.

5. Предложена новая система коэффициентов для количественного ранжирования геолого-технологических условий переработки песков россыпных месторождений золота и обоснования рационального выбора промывочного оборудования.

6. Установлено влияние регулирования отношения Ж:Т на шлюзах мелкого наполнения ПБШ-100 на извлечение мелкого и тонкого золота и технико-экономические показатели переработки песков высокоглинистых россыпей.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в разработке и обосновании решений по регулированию распределения пульпы между шлюзами и управлению расходом технологической воды в зависимости от нагрузки по твёрдому, обеспечивающих стабилизацию соотношения Ж:Т, снижение неравномерности загрузки шлюзов, уменьшение потерь мелкого и тонкого золота и сокращение эксплуатационных затрат при освоении природных и техногенных россыпей.

Полученные результаты могут быть использованы:

- при введении в эксплуатацию россыпных месторождений, отработка которых затруднена сложностью горно-геологического строения, а также наличием большого количества мелкого и тонкого золота;

- при модернизации существующих промывочных приборов с целью повышения извлечения золота, особенно мелкого и тонкого.

Рекомендации, разработанные в ходе исследования, будут способствовать рациональному использованию минерально-сырьевой базы региона, снижению себестоимости добычи и повышению эффективности работы горнодобывающих предприятий в усложняющихся горно-геологических условиях эксплуатации россыпных месторождений.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии методических подходов к количественной оценке неравномерности питания шлюзовых промывочных комплексов и обоснованию выбора оборудования для переработки золотосодержащих песков. Предложенные показатели позволяют раздельно характеризовать неравномерность режима питания при цикличной подаче песков и разброс отношения жидкой и твёрдой фаз пульпы между шлюзами, обеспечивая количественное сопоставление регулируемого и нерегулируемого режимов работы. Развитием существующих подходов к оценке условий переработки является применение системы коэффициентов, учитывающих геолого-технологические характеристики месторождения, глинистость песков, содержание мелких и тонких классов золота и сопутствующих тяжёлых минералов. Эта система формализует сравнительную оценку технологической сложности переработки песков и служит методической основой предварительного выбора промывочного оборудования.

Личный вклад автора:

- постановка цели исследования, формулировка основных задач, анализ современного состояния россыпной золотодобычи и обоснование необходимости совершенствования системы управления процессами подачи песков на перерабатывающий комплекс;

- анализ горно-геологических и технологических факторов, влияющих на эффективность промывки песков, включая глинистость материала, гранулометрический состав золота, наличие тяжелых минералов и особенности распределения запасов в пределах месторождения;

- оценка эффективности управления процессами подачи песков, основанная на анализе пространственной неравномерности распределения потоков пульпы на шлюзах и колебаний нагрузки подачи пульпы на шлюза между циклами подачи;

- обоснование и расчет количественных критериев оценки эффективности управления процессами подачи песков, равномерности загрузки шлюзов и стабильности соотношения жидкой и твердой фаз;

- разработка и внедрение технических решений по регулированию распределения потоков пульпы на шлюзовых промывочных приборах, обеспечивающих повышение устойчивости технологического режима и снижение неравномерности подачи золотоносных песков на шлюза;

- выполнение технико-экономической оценки предложенных решений и их обоснование при эксплуатации россыпных месторождений золота со сложными горно-геологическими условиями.

Реализация результатов работы. Основные полученные научные результаты и разработанные на их основе рекомендации использованы при разработке (эксплуатации) россыпных месторождений артелей старателей (А/С) «Восток» и «Ниман» (Хабаровский край). Внедрение результатов в артели старателей «Восток» подтверждено актом, приведённым в приложении А к диссертации. Отдельные результаты исследования апробированы и внедрены на россыпных месторождениях ООО «Голдрегион» и РПК Охотский (Хабаровский край).

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы и отдельные ее положения представлялись на научно-технических конференциях, семинарах: XVI Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (г. Хабаровск, 2022 г.), I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов «Актуальные проблемы освоения георесурсов» (г. Хабаровск, 2022 г.), IX Всероссийской научной конференции «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (г. Хабаровск, 25-29 сентября 2023 г.), XVI Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2023 г.), XXV, XXVI, XXVII и XXVIII краевых конкурсах молодых ученых (г. Хабаровск, 2023-2026 г.), XVIII Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования», проводимой Институтом горного дела Уральского отделения РАН (г. Хабаровск 2024 г.), Китайско-российской научной конференции «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (г. Харбин, Китай, 24-27 сентября 2025 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, включая 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования и включенных в международные базы научного цитирования SCOPUS и Web of Science.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 132 страницах машинописного текста, который включает: 28 рисунков, 29 таблиц, 29 формул, 1 приложение, список используемых источников из 101 наименования.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю - кандидату технических наук, заведующему лабораторией разработки россыпных месторождений Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН) Серому Руслану Сергеевичу за научное руководство, всестороннюю поддержку, ценные рекомендации и консультативную помощь на всех этапах подготовки диссертационной работы.

Автор выражает искреннюю благодарность кандидату технических наук, заместителю директора Института горного дела ДВО РАН по научной и инновационной работе, ведущему научному сотруднику лаборатории разработки россыпных месторождений Алексееву Владимиру Сергеевичу за конструктивные замечания, ценные советы и рекомендации, способствовавшие совершенствованию диссертационной работы.

За содержательное обсуждение результатов исследования, конструктивные замечания и ценные рекомендации, способствовавшие повышению научного уровня и качества диссертационной работы, автор выражает глубокую благодарность академику РАН, доктору технических наук, директору Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН Рассказову Игорю Юрьевичу; доктору технических наук, заместителю директора Института горного дела ДВО РАН по научной работе Секисову Артуру Геннадиевичу; кандидату технических наук, руководителю сектора разрушения горных пород Галимьянову Алексею Алмазовичу; кандидату технических наук, главному инженеру Института горного дела ДВО РАН Волкову Андрею Фёдоровичу; кандидату технических наук, ведущему научному сотруднику Института горного дела ДВО РАН Чебану Антону Юрьевичу.

Особую благодарность автор выражает руководству и сотрудникам артелей старателей «Восток», «Ниман», «Альфа» и «Заря» за содействие в организации и проведении экспериментальных исследований в производственных условиях, предоставление необходимой производственной информации, а также помощь в апробации и практическом внедрении полученных результатов исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ современного состояния золотодобычи и применяемых технологий подготовки золотосодержащих песков. Показано, что в условиях сокращения доли легкоосваиваемых россыпей и роста значения природно-техногенных объектов повышение эффективности добычи связано с совершенствованием не только добычных схем, но и процессов дезинтеграции, грохочения, подачи и распределения пульпы на обогатительном оборудовании.

Рассмотрены гидроэлеваторные и землесосные промывочные приборы, пластинчатые и вибрационные грохоты, скруббер-бутары, шлюзовые промывочные комплексы и развитые схемы гравитационного обогащения. Установлено, что наиболее универсальными для сложных условий переработки являются бочечно-шлюзовые комплексы со шлюзами мелкого наполнения, поскольку они обеспечивают высокую степень дезинтеграции, возможность грохочения по рациональной крупности и технологическую основу для регулирования водного режима.



Рисунок 1 - Динамика добычи россыпного золота, числа предприятий и цены золота в россыпной золотодобыче*

* С 2022 г. официальные данные не предоставляются. Данные представлены по заключениям различных экспертов.

Анализ литературных данных и производственной практики показал, что повышение извлечения мелкого и тонкого золота на шлюзовых приборах связано с совершенствованием гидродинамического режима разделения, ограничением крупности питания, увеличением площади улавливания, совершенствованием улавливающих покрытий, механизацией сполоска концентрата и стабилизацией подачи пульпы. В связи с этим дальнейшее исследование сосредоточено на управлении Ж:Т и равномерности распределения потока по шлюзам.

Во второй главе разработан подход к оценке эффективности работы шлюзовых промывочных приборов и исследованы режимы действующих комплексов. Предложено оценивать работу шлюзов не только по валовой производительности, но и по параметрам, непосредственно определяющим условия улавливания золота: расходу пульпы, расходу

твердой фазы, удельной нагрузке по твердому, отношению Ж:Т, скорости и глубине потока, а также равномерности распределения пульпы по шлюзам.

В целях предварительной оценки эффективности работы драг № 45 (р. Олга, Хабаровский край) и № 4 (р. Агда, Хабаровский край) проведены измерения отношения жидкой и твердой фаз пульпы, поступающей на шлюза мелкого наполнения (далее - ШМН), выполнена общая оценка работы данных драг, включающая анализ факторов, влияющих на производительность драги: характер золотосодержащих песков и вскрышных пород, извлекаемых драгами и поступающих для дезинтеграции в дражную бочку и далее на ШМН.

Проведенные измерения и расчеты технологического оборудования, применяемого на добычных участках при отработке полигонов золотосодержащих песков, показали, что на ШМН драг происходит неравномерное поступление и распределение пульпы, что в свою очередь обусловлено следующим рядом факторов:

- неравномерной подачей горной массы из забоя (различная загруженность черпаков);
- работой шлюзов в условиях минимальной подачи или прекращения подачи горной массы на промывку при проходке мерзлых грунтов, подэфеливании драги, поломках либо отсутствии в необходимом количестве землеройной техники и др.;
- поступлением на промывку различных по гранулометрическому составу пород (торфы, пески, эфели, мёрзлые, а также коренные породы из приплотиковой части).

Перечисленные факторы значительно влияют на эффективность подготовки пульпы на ШМН и, как следствие, на объём добычи полезного ископаемого.

На основании времени наполнения пульпой отсечки, скорости потока пульпы на ШМН рассчитан объем выхода пульпы ($Q_{пульпа}$) на ШМН на драге № 45 (рисунки 2-5).

Расчетный объем выхода пульпы ($Q_{пульпа}$) на ШМН составляет 62,1-73,6 м³/ч (рисунок 2).

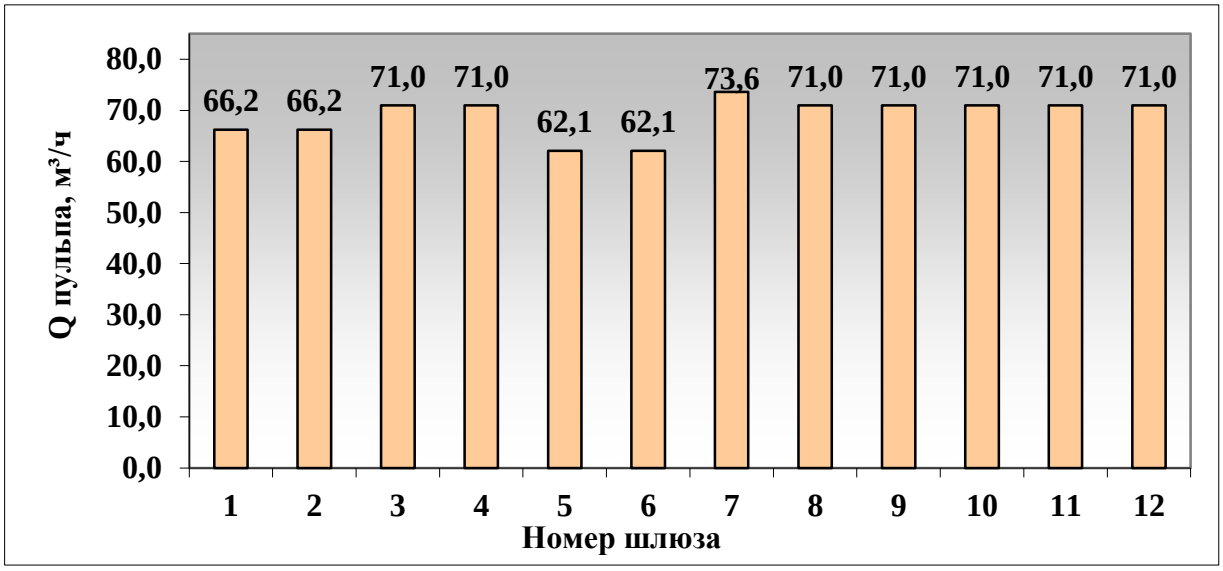


Рисунок 2 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (правая сторона) драги № 45

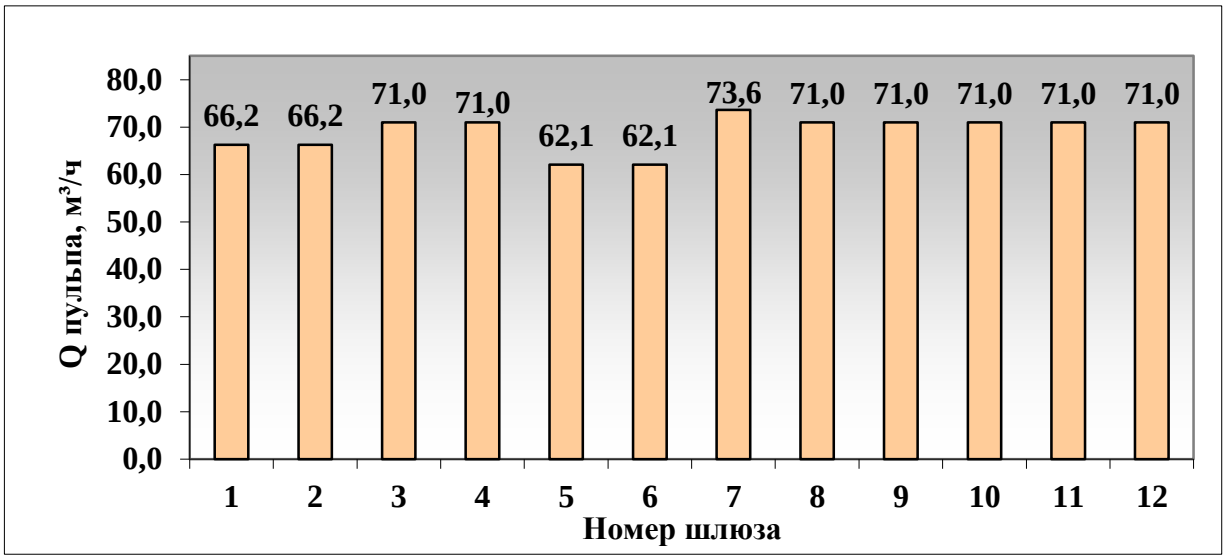


Рисунок 3 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (левая сторона) драги № 45

Один и тот же расход пульпы (рисунок 3) может соответствовать различным значениям $Q_{породы}$ вследствие изменения концентрации твёрдого; поэтому после определения $Q_{пульпы}$ необходимо дополнительно измерить концентрацию твёрдой фазы и определить $Q_{породы}$.

Ниже представлены диаграммы распределения нагрузки по горной массе ($Q_{порода}$) на ШМН от 1 до 12 шлюза драги № 45.

Расход твёрдой фазы определялся через объёмную концентрацию твёрдого в пульпе. Объёмная доля твёрдого C_v вычислялась как отношение среднего объёма осадка твёрдой фазы, полученного по трём замерам, к объёму пульпы.

Подобным образом данное значение вычислялось и для драги № 4.

На рисунках 4 и 5 отчетливо видно, что на правой стороне ШМН загруженность породой выше значения 2 м³/ч характерна всего для 3 шлюзов (№ 1, 2, 12), на левой стороне - для 4 шлюзов (№1, 2, 3, 4) из 12. Остальные шлюзы работают с меньшей нагрузкой по твёрдой фазе.

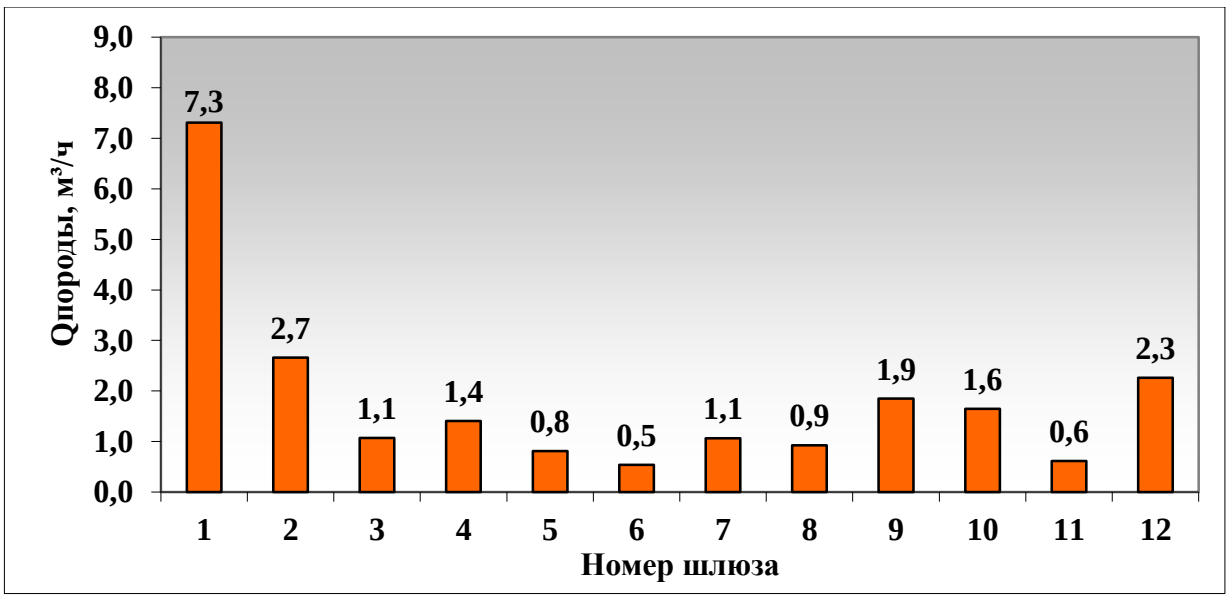


Рисунок 4 - Выход горной массы на ШМН (правая сторона) драги №45

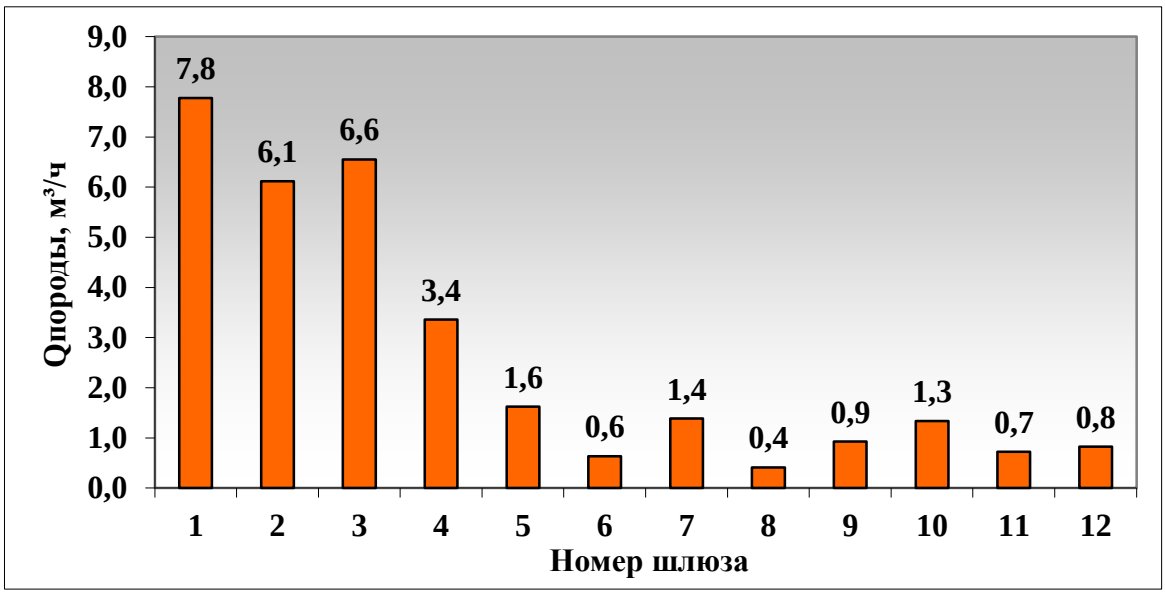


Рисунок 5 - Выход горной массы на ШМН (левая сторона) драги № 45

Отношение Ж:Т является интегральным показателем режима работы шлюза, поскольку обобщает влияние расхода пульпы и концентрации твёрдой фазы и характеризует структуру двухфазного потока в целом.

При относительно равномерном распределении пульпы на шлюзах, на рисунках 6 и 7 прослеживается явная тенденция резкого увеличения значения жидкой фазы в пульпе драги № 45, поступающей на ШМН, начиная с 3-4 шлюза и до 12. Причем на некоторых шлюзах значения доходят до 100 и выше.

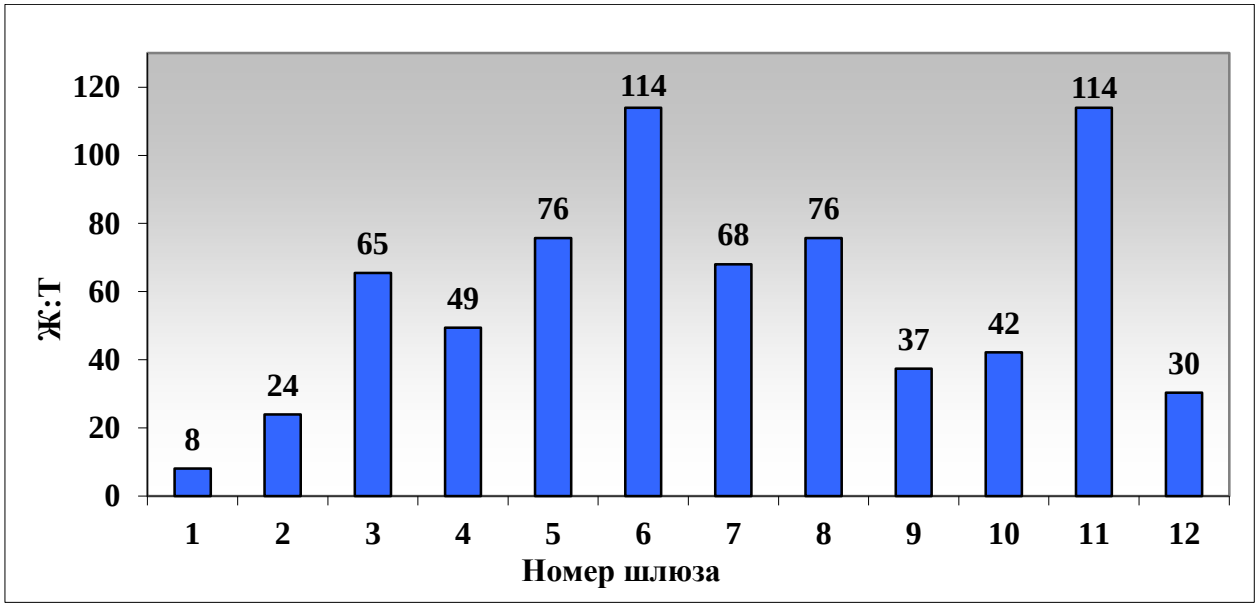


Рисунок 6 - Отношение Ж:Т (к одной части твердой фазы), правая сторона ШМН драги № 45

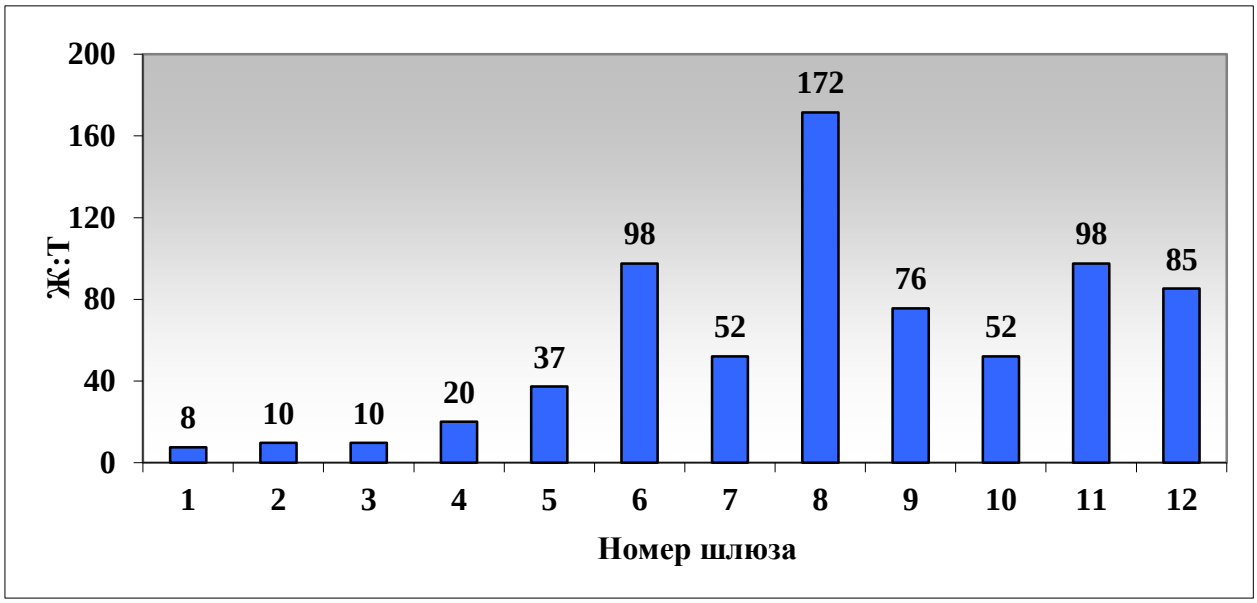


Рисунок 7 - Отношение Ж:Т (к одной части твердой фазы), левая сторона ШМН драги №45

Из многолетней практики дражной золотодобычи диапазон нормального значения соотношения Ж:Т для ШМН принимается от 6 до 15. Значения Ж:Т, превышающие данные величины, приводят к сверхнормативным потерям полезного ископаемого. Значения в диапазоне от 15 до 20 соответствуют значениям, приемлемым для работы шлюзов глубокого наполнения. Соотношение Ж:Т выше 20:1 считается нежелательным и для ШГН.

При относительно сопоставимом расходе жидкой фазы фактическая загрузка шлюзов по твёрдому изменялась в широких пределах. Для драг № 45 и № 4 разброс отношения Ж:Т достигает от 8:1 до 172:1. Суммарная подача воды на шлюзы избыточна: для драги № 45 - примерно в 3 раза, для драги № 4 - примерно в 2,2 раза относительно фактической загрузки по твёрдому.

Полученные результаты показывают, что даже при сохранении общей производительности драги существенные потери могут быть связаны с пространственной неравномерностью распределения пульпы на шлюзах и избыточной подачей воды на отдельные шлюзы. Для устранения этих факторов обоснована необходимость оперативного регулирования расхода воды и адаптации режима насосов к текущей загрузке песками.

На промывочном комплексе на базе ГИТ-52 в условиях Якутии выявлено, что при цикличной подаче песков погрузчиком прибор часть времени работает в режиме перегрузки, а в промежутках между циклами - фактически с нулевой подачей твердой фазы. При этом на сливе эфельных хвостов фиксировалось значительное содержание твердого остатка, что указывает на перегрузку шлюзов. Нарушения режима подачи, недостаточная эффективность орошения и неравномерное распределение нагрузки между шлюзами приводят к росту потерь даже при преобладании относительно крупного золота.

На участке ручья Сыран исследован прибор ПБШ-100 (рисунок 8), работающий в условиях высокого содержания глинистой составляющей и значительной доли мелкого золота.



Рисунок 8 - Промывочный прибор ПБШ-100 со шлюзовой приставкой

В рамках оценки равномерности распределения пульпы по шлюзам мелкого наполнения ПБШ-100 автором были проведены замеры содержания твёрдой и жидкой фаз на каждом шлюзе в процессе работы прибора (таблица 1). Измерения выполнялись в реальном времени в течение нескольких циклов подачи породы в бункер, без применения каких-либо регулирующих устройств распределения потока.

Определение соотношения жидкой и твердой фаз (Ж:Т) осуществлялось методом отсечки пульпы на каждом шлюзе с последующим расчётом Ж:Т (все измерения проводились в литрах).

Таблица 1 - Ж:Т на ПБШ-100 без регулировки

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$
1	11,5	1,5	11,0	0,9	11,0	1,0	10,5	1,5
2	12,0	1,5	11,5	0,9	11,6	0,4	10,6	1,4
3	11,5	1,4	11,5	1,0	11,2	0,8	10,2	1,8
Ж:Т	8		12		15		7	

Данные исследования показывают, что при цикличной подаче песков поступление материала в промывочный прибор носит неравномерный характер и задачи равномерного распределения пульпы, стабилизации загрузки между циклами подачи и дезинтеграции (размыва) песков на большинстве приборов остаются нерешёнными.

Для повышения равномерности подачи песков предложены и внедрены технические решения, включающие модернизированный бункер, шиберы/делители потока и автоматическое регулирование подачи технологической воды через частотный преобразователь.

Повышение равномерности подачи песков целесообразно обеспечивать не только за счёт применения специализированных питателей, но и путём совершенствования самого приёмно-подающего узла. Конструктивная модернизация приемно-подающего узла ПБШ-100 (рисунки 9,10) направлена на устранение одной из причин неэффективной работы

скруббер-бутарных приборов -неравномерного поступления материала из бункера в прибор.

При цикличной подаче песков экскаватором или погрузчиком в бункер в подавляющем большинстве случаев порода смывается за 30-50% времени периода цикла подачи. В результате при постоянном расходе воды соотношение Ж:Т изменяется в большом диапазоне, а шлюза работают в режиме перегрузки и недозагрузки в интервале одного цикла подачи породы на прибор

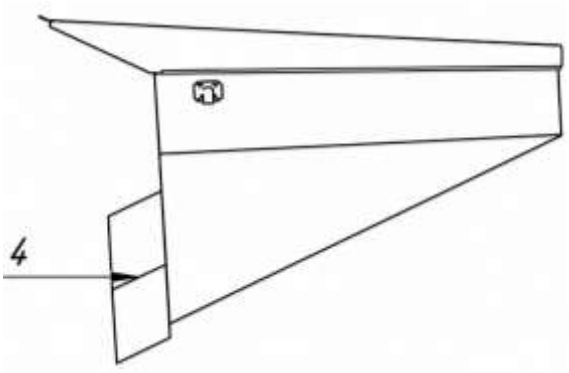


Рисунок 9 - Модернизированный бункер промывочного прибора ПБШ-100, вид сбоку

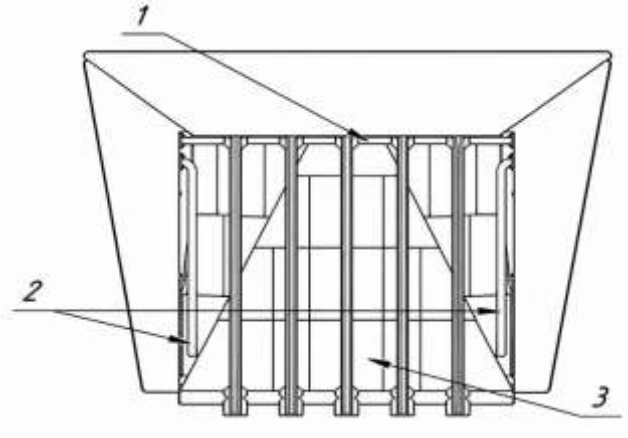


Рисунок 10 - Модернизированный бункер промывочного прибора ПБШ-100, вид сверху

Конструктивная модернизация приемно-подающего узла ПБШ-100 направлена на устранение одной из наиболее характерных причин нестабильной работы скруббер-бутарных промывочных приборов при переработке глинистых песков - неравномерного поступления материала в зону дезинтеграции.

Труба встречного орошения 1 с установленными форсунками обеспечивает послойный размыв загружаемых песков, предварительную дезинтеграцию глинистых и сцементированных комков, тем самым формируется более равномерное питание скруббер-бутары. Труба бокового орошения 2 предназначена для разрыхления и смыва песков из пристеночных областей. Полиуретановая футеровка 3 способствует снижению налипания влажных глинистых песков на поверхность за счёт антиадгезионных свойств материала при переработке глинистых песков. Выходной узел 4 предназначен для выпуска предварительно размытого материала в скрубберную часть.

В результате применения бункера улучшенной конструкции удалось добиться более равномерной подачи песков в прибор.

Дальнейшее повышение эффективности работы промывочного прибора было направлено на автоматическое регулирование Ж:Т в реальном времени.

Для сохранения оптимальных условий промывки золотосодержащих песков разработана и внедрена система автоматического регулирования подачи воды, которая синхронизирует производительность насосов с фактической нагрузкой пескам.

Для обучения системы выполняются измерения фактической производительности промывочного прибора посредством хронометража подающей техники, в результате чего подбирается необходимое количество воды под конкретные пески с учетом их гранулометрического состава. Обученная в конкретных горно-геологических условиях система в автоматическом режиме за счет частотной регулировки электромотора насосного агрегата производит регулирование количества подаваемой воды на прибор. В основу алгоритма положены законы подобия центробежных насосов.

Таким образом, путем изменения частоты электрического тока обеспечивается пропорциональное регулирование расхода воды, что повышает эффективность подготовки горной массы.

По номинальным параметрам насоса можно определить частоту тока, соответствующую требуемому расходу воды. Например, для насоса 1Д-800-56Б частота вращения ротора электродвигателя составляет 1450 об/мин, расход - 700 м³/ч, частота электрического тока - 50 Гц. При частоте электрического тока на электродвигателе насоса в 40 Гц расход будет равен:

$$Q_{40\text{гц}} = 700 \times \frac{40}{50} = 560 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В результате обработки данных получена зависимость расхода воды от производительности прибора по пескам. Коричневым графиком (рисунок 11) показаны колебания подачи песков в реальном времени, синим графиком показан объем подачи воды, красным графиком показана номинальная производительность насоса.



Рисунок 11 - Динамика подачи песков и воды насосом 1Д 800-56Б - 110 кВт

На графиках видно, что снижение подачи песков сопровождается снижением расхода воды. В свою очередь синхронные колебания подачи воды позволяют снижать колебания Ж:Т. Такие колебания связаны с неравномерной подачей песков на переработку, но технологическая система работает в пределах нормы, обеспечивая минимальные отклонения режимов переработки. Пульсации связаны с изменениями нагрузки и согласуются с циклом подачи песков.

По данным графика на рисунке 11 выполнена оценка устойчивости условий подачи пульпы по неравномерности подачи пульпы и воды на промывочный прибор.

В технологическом смысле $K_{рп}$ - коэффициент неравномерности режима питания по показателю Ж:Т, который позволяет количественно оценить, насколько эффективно регулировка подачи воды на промприбор компенсирует колебания производительности прибора по пескам и удерживает гидродинамический режим вблизи оптимального Ж:Т.

Следовательно, увеличение $K_{рп}$ свидетельствует о возрастании неравномерности режима питания, то есть о более выраженных отклонениях параметров потока от устойчивого состояния. Это означает, что в отдельные моменты времени возрастает

вероятность перегрузки шлюзов по твёрдому либо, наоборот, чрезмерного разжижения пульпы, что сопровождается нарушением условий формирования рабочей постели и ухудшением удержания золота на шлюзах. Наиболее чувствительны к таким отклонениям мелкие и тонкие классы золота, для которых устойчивость гидродинамического режима имеет решающее значение.

Расчёт коэффициента неравномерности колебания подачи песков в скруббер-бутару (при исключении точки с нулевой загрузкой прибора) показал, что для режима работы с регулированием Ж:Т $K_{рп}$=1,21, тогда как без регулировки Ж:Т $K_{рп}$=1,35. Полученный результат свидетельствует о том, что регулирование подачи воды снижает колебания Ж:Т по сравнению с режимом подачи воды без регулировки.

Регулирование Ж:Т в питании шлюзов следует рассматривать как управление гидродинамическими параметрами, от которых зависит поведение твёрдой и жидкой фазы в потоке. При перегрузке твёрдым (низкое Ж:Т) происходит заиливание или забуторивание шлюзов и возрастают потери мелкого и тонкого золота. При чрезмерном разжижении (высокое Ж:Т) ухудшается формирование рабочей постели и снижается эффективность удержания тонких фракций на ковриках. В обоих случаях отклонение от устойчивого режима повышает потери золота.

В промывочных приборах типа ПБШ-100 регулирование Ж:Т целесообразно выполнять непосредственно в зоне выхода пульпы с эфельной ванны на шлюза. При самотёчном режиме питания шлюзов, распределение пульпы в значительной степени определяется случайными факторами (изменчивость гранулометрического состава, пульсации подачи и др.). Установка регулирующих шиберов (рисунок 12) в зоне распределения пульпы переводит шлюза к управляемому режиму, в котором оператор может целенаправленно изменять параметры подачи.

Шибер представляет собой заслонку, вводимую в поток, и с точки зрения гидравлики работает как регулирующее устройство. Изменяя проходное сечение канала, шибер изменяет величину местных потерь напора. При частичном закрытии шибера проходное сечение уменьшается, потери возрастают и расход по данному направлению снижается. При наличии параллельно установленных шлюзов снижение расхода в одном шлюзе сопровождается перераспределением части потока в другой шлюз при условии, что суммарная подача на распределителе остаётся примерно постоянной.

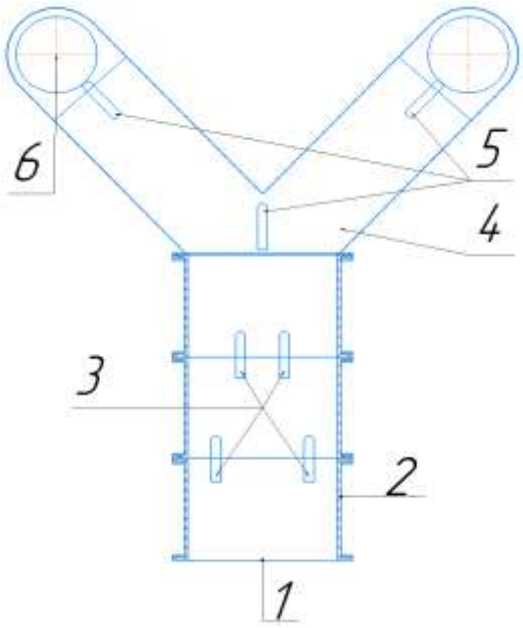
По приборам типа ПБШ-100 оценена эффективность установки шиберов на выходе с эфельной ванны на шлюза и детально проанализировано их влияние на равномерность распределения пульпы.

Функционально выделим две группы шиберов:

Первая группа - магистральные (общие) шиберы, расположенные на выходе с эфельной ванны до зоны разветвления. Они снижают скорость пульпы и выравнивают поток на каждую пару шлюзов перед распределителем типа Y на шлюза. Магистральные шиберы позволяют стабилизировать гидропоток, уменьшая вероятность того, что одна пара шлюзов систематически работает в режиме перегруза, а другая - недогруза. При этом шиберы создают условия, при которых Ж:Т на входе в шлюз становится более стабильным и управляемым в процессе эксплуатации.

Вторая группа - шиберы на распределителе типа Y, установленные на каждой ветви распределителя перед выходом пульпы на шлюза.

Шиберы в распределителе типа Y позволяют оперативно перераспределять поток пульпы между шлюзами, за счёт чего изменяется фактическое соотношение Ж:Т на каждом из них. Устраняется одна из причин технологических потерь: неравномерная подача приводит к перегрузу или недогрузу шлюза и высокой или низкой скорости потока, где золото не успевает оседать на шлюзах, либо уносится в отвал.



1 - выход пульпы с эфельной ванны, 2 - распределитель пульпы на выходе с эфельной ванны, 3- магистральные шиберы, 4 - Распределитель типа Y, 5 - шиберы на распределители типа Y, 6 - выход с распределителя типа Y на шлюза

Рисунок 12 - Распределитель пульпы на ШМН

Таким образом, магистральные шиберы задают общий режим работы при выходе пульпы с эфельной ванны, а шиберы на распределителе типа Y - обеспечивают равномерность распределения по шлюзам (рисунок 13).



1 - голова шлюза, 2 - распределитель типа Y, 3 - шиберы на распределителе типа Y, 4 - распределитель пульпы на выходе с эфельной ванны, 5 - магистральные шиберы

Рисунок 13 - Распределитель пульпы на ШМН на приборе ПБШ-100

Для количественной оценки равномерности распределения нагрузки по шлюзам автором измерен и проанализирован разброс соотношения жидкой и твёрдой фаз по четырём шлюзам (рисунок 14). Все измерения проводились в литрах. В ходе предварительных итераций регулирования значения Ж:Т варьировались от 5 до 15 к

одному. В исходных измерениях, приведённых в таблице 2, диапазон составлял 7-15. По результатам регулировки (таблица 3) диапазон изменения Ж:Т сузился до 11-14.

Таблица 2 - Исходные измерения Ж:Т на шлюзах

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$
1	11,5	1,5	11,0	0,9	12,0	0,8	12,0	1,7
2	12,0	1,5	11,5	0,9	11,5	0,8	11,5	1,7
3	11,5	1,4	11,5	1,0	12,0	0,8	11,5	1,6
Ж:Т	8		12		15		7	

Таблица 3 - Результат регулировки Ж:Т на шлюзах шиберами

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$	$V_ж$	$V_т$
1	11,5	1,1	12,0	1,0	11,0	0,8	11,5	0,9
2	11,0	1,0	12,0	1,0	11,5	0,8	11,0	0,9
3	11,5	1,0	11,5	1,0	11,5	0,8	11,0	0,8
Ж:Т	11		12		14		13	

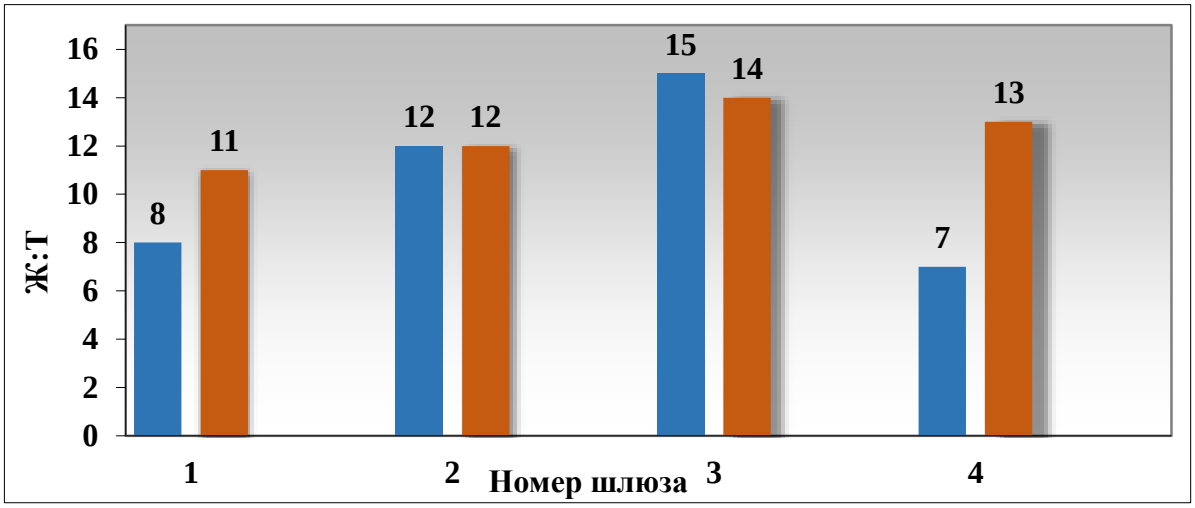


Рисунок 14 - Отношение Ж:Т до и после регулирования: синие столбцы - исходные значения; оранжевые - после регулирования

Для количественной оценки неоднородности распределения пульпы использован коэффициент загрузки шлюзов Кз, определяемый через коэффициент вариации измерений Ж:Т по шлюзам. На первой итерации коэффициент вариации составил около 30 % (в приведённом расчёте - 30,5 %), а коэффициент загрузки Кз = 1,305. По итогам регулирования коэффициент вариации снизился до ≈8,96 %, а коэффициент загрузки - до Кз ≈ 1,0896. Это характеризует малый разброс Ж:Т между шлюзами и создаёт предпосылки для уменьшения потерь мелкого и тонкого золота.

Комплекс реализованных мер и анализ результатов показывает, что происходит стабилизация Ж:Т между циклами подачи, а также равномерного распределения породы между всеми шлюзами.

В третьей главе разработана система коэффициентов для предварительной оценки технологической сложности объекта и обоснования рационального типа промывочного оборудования.

При формировании системы учитываются факторы, которые могут быть определены на ранних стадиях проектирования по материалам геологоразведки и технологического опробования: тип объекта по происхождению, условия залегания, пространственная

неоднородность запасов, глинистость песков, гранулометрический состав золота и содержание сопутствующих тяжелых минералов. Для геолого-технологической части предложено выражение:

Геолого-технологическая составляющая $К_{гт,}$ рассчитываемая по формуле (1), объединяет происхождение объекта, условия залегания и пространственную неоднородность запасов. Выделение этих факторов связано с тем, что природные, природно-техногенные и техногенные россыпи различаются по степени нарушенности материала и устойчивости его свойств, а глубокое залегание и концентрация запасов в локальных обогащённых зонах усложняют формирование стабильного по качеству питания промывочного комплекса.

$$К_{гт} = К_{пр} \times К_{зал} \times К_{нрз}, \quad (1)$$

где $К_{пр}$ характеризует тип объекта по происхождению,

$К_{зал}$ - условия залегания,

$К_{нрз}$ - неоднородность распределения запасов.

Неоднородность оценивается отношением доли запасов золота в обогащенных зонах к площади, занимаемой этими зонами.

Глинистость учитывается отдельным коэффициентом $К_{гл}$ по содержанию фракции менее 0,005 мм. Рост этого показателя отражает увеличение трудности дезинтеграции и промывки песков: при содержании тонкодисперсной глинистой фракции свыше 20-30 % возрастают требования к продолжительности и интенсивности размыва, качеству орошения и конструкции скрубберной части. Поэтому коэффициент $К_{гл}$ изменяется от 1,00 до 3,00 при содержании глинистой фракции более 30 %.

Коэффициент $К_{кр}$ характеризует влияние гранулометрического состава золота на выбор промывочного оборудования и определяется по долям классов -0,5+0,25; -0,25+0,125 и менее 0,125 мм в общей массе золота в исходных песках. Значение коэффициента служит относительной оценкой требований к оборудованию и не является показателем фактических потерь металла. Коэффициент $К_{тм}$ учитывает содержание сопутствующих тяжёлых минералов: с ростом их количества усложняется улавливание золота постелью шлюза. Значения приведенных выше коэффициентов указаны в таблице 4

Таблица 4 - Факторы выбора промывочного оборудования и значения коэффициентов

Наименование фактора		Условие	Коэффициент
Коэффициент геолого-технологической сложности месторождения Кгт	Коэффициент происхождения месторождения $К_{пр}$	Природное месторождение	1,00
		Природно-техногенное	1,15
		Техногенное месторождение	1,30
	Коэффициент условий залегания $К_{зал}$	Мелкозалегающее	1,00
		Глубокозалегающее	1,20
	Коэффициент неоднородности распределения запасов в границах месторождения $К_{нрз}$*	Низкая ≤1,5	1,00
		Умеренная 1,5-2,0	1,05
		Повышенная 2,0-2,5	1,20
		Высокая >2,5	1,35

Продолжение таблицы 4

Наименование фактора		Условие	Коэффициент
Глинистость перерабатываемых песков (по массовой доле глинистой составляющей в перерабатываемых песках, %) $K_{гл}$		≤3 % Низкий	1,00
		>3-10 % Средний	1,30
		>10-20 % Повышенный	1,80
		>20-30 % Высокий	2,40
		>30 % Очень высокий	3,00
Коэффициент влияния гранулометрического состава золота на выбор промывочного оборудования $K_{кр}$	-0,5+0,25 мм	≤3 % Низкий	1,00
		>3-10 % Базовый	1,05
		>10-30 % Повышенный	1,10
		>30 Высокий	1,15
	-0,25+0,125 мм	≤3 % Низкий	1,00
		>3-10 % Базовый	1,10
		>10-30 % Повышенный	1,25
		>30 Высокий	1,35
	-0,125 мм	≤3 % Низкий	1,00
		>3-10 % Базовый	1,20
		>10-30 % Повышенный	1,35
		>30 Высокий	1,45
Коэффициент влияния сопутствующих тяжелых минералов $K_{тм}$ (по содержанию тяжелой фракции в песках, кг/м³)		≤0,10 кг/м³ (до 100 г/м³)	0,90
		>0,10-1,0 кг/м³	1,00
		>1,0-2,0 кг/м³	1,20
		>2-10 кг/м³	1,50
		>10-30 кг/м³	2,00
		>30 кг/м³	3,00

Интегральный показатель технологической сложности переработки песков определяется произведением коэффициентов считаем по формуле (2):

$$K_{инт} = K_{гт} \times K_{гл} \times K_{кр} \times K_{тм} \quad (2)$$

$K_{инт}$ не является прямым показателем технологических потерь золота и не заменяет детальный расчет извлечения. Его назначение - сопоставление объектов по совокупной сложности переработки и предварительное обоснование класса применяемого оборудования.

Практический смысл ранжирования заключается в предварительном сопоставлении сложности объекта с различными типами оборудования. При сравнительно благоприятных условиях допустимы простые шлюзовые схемы; по мере роста $K_{инт}$ возрастает потребность в эффективной дезинтеграции, дополнительном грохочении, возможности регулирования расхода воды и распределения пульпы. Для объектов высокой технологической сложности принципиальным становится не только тип промывочного прибора, но и его способность поддерживать управляемый и устойчивый режим работы.

Предложенная система не предназначена для замены технологического опробования или расчёта извлечения. Её назначение - формализовать совокупность исходных факторов на стадии предварительного обоснования и исключить выбор оборудования только по номинальной производительности (таблица 5).

Таблица 5 - Интерпретация интегрального коэффициента $K_{инт}$

$K_{инт}$	Категория условий	Рациональное направление выбора оборудования
2,7-5,0	Сравнительно благоприятные	Простые шлюзовые и гидроэлеваторные схемы при отсутствии определяющего влияния тонких классов золота
>5,0-10,0	Умеренно сложные	Стандартные бочечно-шлюзовые или скрубберно-шлюзовые приборы
>10,0-15,0	Технологически сложные	Бочечно-шлюзовые приборы с развитой подготовкой песков, эффективной дезинтеграцией, дополнительным грохочением и регулированием воды/пульпы
>15,0	Высокой технологической сложности	Технологически эффективные комплексы с регулируемым режимом, устойчивым Ж:Т, равномерным распределением пульпы и повышенной эффективностью извлечения МТЗ; отсадочные или иные схемы с непрерывным выходом концентрата

В качестве иллюстрации в диссертации рассмотрен техногенный глубокозалегающий объект с высокой неоднородностью запасов, глинистостью 18 %, повышенной долей мелких и тонких классов золота и содержанием тяжелых минералов 1,5 кг/м³. Получено $K_{гт}$ = 2,106, $K_{кр}$ = 3,55 и $K_{инт}$ = 16,15. Такое значение соответствует высокой технологической сложности и обосновывает применение бочечно-шлюзового комплекса с развитой схемой подготовки песков, эффективной дезинтеграцией и регулируемым режимом работы.

В четвертой главе проведено сопоставление ПГШ-II-50, ПБШ-100 в базовом исполнении и ПБШ-100 с регулированием Ж:Т на высокоглинистом месторождении руч. Сыран.

ПГШ-II-50 на исследуемом участке характеризовались фактической производительностью около 40-45 м³/ч и конструктивными ограничениями по площади грохочения и площади шлюзов мелкого наполнения. При переработке песков руч. Сыран 70-75 % золота сосредоточено в классе менее 1,0 мм, а доля класса менее 0,5 мм составляет 33-38 %, поэтому устойчивость гидродинамического режима и качество питания шлюзов имеют определяющее значение для снижения потерь.

Сопоставление приборов показало принципиальное различие в возможностях управления технологическим режимом. На ПГШ-II-50 уклон шлюза, расход воды и крупность питания в основном задаются конструктивно и изменяются в ограниченных пределах; переменной остаётся прежде всего нагрузка по пескам, которая вследствие неравномерной подачи может приближаться к предельной транспортирующей способности потока и вызывать заэфеливание. На ПБШ-100 технологические параметры могут корректироваться более гибко, что создаёт возможность согласования нагрузки, расхода воды и Ж:Т.

Поэтому эффект перехода к ПБШ-100 в работе рассматривается в двух составляющих: конструктивное преимущество самого прибора и дополнительный эффект от регулирования режима питания шлюзов мелкого наполнения. Это подтверждено ситовым анализом промытого золота - для ПГШ-II-50, ПБШ-100 без регулирования и ПБШ-100 с регулированием Ж:Т. Такой порядок сравнения позволяет оценить, какая часть прироста извлечения связана с заменой оборудования, а какая - непосредственно со стабилизацией питания шлюзов.

Ситовой анализ концентратов показал, что наибольший эффект регулирование Ж:Т оказывает на извлечение фракций менее 0,25 мм. Их масса, как показано в таблице 6, составила 27,84 г на ПГШ-II-50, 36,71 г на ПБШ-100 без регулирования и 48,05 г на ПБШ-100 с регулированием Ж:Т. Доля этих классов в общей массе извлечённого золота соответственно составила 10,42; 14,90 и 20,15 %.

Таблица 6 - Извлечение тонких классов золота в сравниваемых режимах

Вариант	Масса шлихового золота, г	Фракция -0,25+0,125 мм, г	Фракция -0,125 мм, г	Сумма <0,25 мм, г	Доля <0,25 мм, %
ПГШ-II-50	267,29	25,87	1,97	27,84	10,42
ПБШ-100	246,31	33,08	3,63	36,71	14,90
ПБШ-100 с регулированием Ж:Т	238,55	44,10	3,95	48,05	20,15

Масса фракций золота менее 0,25 мм увеличилась относительно ПГШ-II-50 и ПБШ-100 без регулирования на 20,21 и 11,34 г, или на 72,6 и 30,9 % соответственно. Доля этих фракций возросла с 10,42 и 14,90 % до 20,15 %, или на 93,4 и 35,2 % относительно исходного. В расчёте суточного прироста выход золота составил 20,21 и 11,34 г при продолжительности сезона 150 суток, а дополнительная добыча составила 3031,5 и 1701 г соответственно. Для плановой сезонной добычи 35 кг это соответствует приросту около 8,7 и 4,9 %. При цене золота 12,2 тыс. руб./г расчётная дополнительная выручка за сезон составляет 36,98 млн руб. относительно ПГШ-II-50 и 20,75 млн руб. относительно ПБШ-100 без регулирования.

Таким образом, результаты технико-экономической оценки подтверждают, что повышение эффективности переработки высокоглинистых песков обеспечивается не только заменой промывочного прибора, но и управлением подачей песков, расходом воды и распределением пульпы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научно-техническая задача обоснования параметров и режимов работы шлюзовых промывочных комплексов при неравномерной подаче золотосодержащих песков и разработки критериев выбора оборудования для освоения природных и техногенных россыпей со сложными горно-технологическими условиями. Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан подход к оценке эффективности работы драг и промывочных приборов шлюзового типа, основанный на учёте ключевых технологических параметров.

2. Установлено, что большое влияние на эффективность извлечения на шлюзах оказывают удельная нагрузка по твёрдому, соотношение Ж:Т, равномерность распределения пульпы по шлюзам, гранулометрический состав золота, глинистость песков и содержание сопутствующих тяжёлых минералов. Предложенный подход позволяет оценивать работу оборудования не только по валовой производительности, но и по

устойчивости гидродинамического режима и условиям, благоприятным для извлечения мелких и тонких классов металла.

3. Доказано, что регулирование распределения потока позволяет существенно сократить диапазон колебаний Ж:Т и обеспечить более равномерную загрузку шлюзов. Проведённая оценка эффективности регулирования колебаний соотношения твёрдой и жидкой фаз в процессе подачи песков на прибор и их распределения по шлюзам показала, что неравномерность Ж:Т является одной из основных причин нарушения гидродинамического режима, ухудшения формирования постели и роста потерь золота. На примере действующих объектов установлено, что при отсутствии регулирования разброс значений Ж:Т по шлюзам достигает значительных величин, а подача воды нередко оказывается избыточной по отношению к фактической загрузке по твёрдому.

4. Установлено, что применение ПБШ-100 с регулированием Ж:Т и управлением расходом технологической воды даёт прирост сезонной добычи золота и обеспечивает значительный экономический эффект, что подтверждает практическую целесообразность разработанного решения.

5. Разработаны критерии выбора технологического оборудования для отработки месторождений со сложными горно-геологическими параметрами. Для количественной оценки условий переработки предложена система коэффициентов, включающая показатели геолого-технологической сложности месторождения, глинистости песков, содержания мелких и тонких классов золота, влияния сопутствующих тяжёлых минералов и интегральный показатель технологической сложности переработки. Установлено, что по мере усложнения условий отработки возрастает необходимость применения более совершенных промывочных комплексов, способных обеспечивать эффективную дезинтеграцию, регулируемый расход воды и стабилизацию параметров пульпы, подаваемой на шлюз.

6. Результаты исследования подтверждают, что повышение эффективности переработки песков россыпных месторождений золота достигается не только выбором более совершенного промывочного оборудования, но и организацией управляемого режима подачи песков, распределения пульпы и регулирования соотношения Ж:Т. Это позволяет рассматривать предложенную систему управления как эффективный инструмент снижения технологических потерь и повышения технико-экономических показателей эксплуатации россыпных месторождений золота.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Серый, Р. С. Обоснование параметров автоматизированной системы управления подачей песков на перерабатывающем комплексе при эксплуатации россыпных месторождений золота / Р. С. Серый, А. Д. Васюта, К. А. Журавлев // Горная промышленность. - 2026. - № 2. - С. 129-134. - DOI: 10.30686/1609-9192-2026-2-129-134. - EDN: LGMURT.

2. Журавлев, К. А. Анализ факторов, влияющих на потери драгоценных металлов при разработке россыпных месторождений / К. А. Журавлев, А. Д. Васюта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - № 12-2. - С. 53-63. - DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_53.

3. Алексеев, В. С. Обоснование способа получения концентрата тяжелых минералов из песков россыпных месторождений золота / В. С. Алексеев, А. Г. Секисов, В. В. Таганов, Т. Г. Конарева, К. А. Журавлев // Горная промышленность. - 2025. - № 4S. - С. 4-7. - DOI: 10.30686/1609-9192-2025-4S-04-07.

В прочих изданиях:

4. Васюта, А. Д. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов и оценка их энергоемкости / А. Д. Васюта, К. А. Журавлев // Проблемы недропользования. - 2023. - № 2 (37). - С. 32-39. - DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.032.

5. Семенов, А. Н. Оценка экономической эффективности дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков с помощью гидродинамического дезинтегратора / А. Н. Семенов, А. Д. Васюта, К. А. Журавлев // Актуальные проблемы освоения георесурсов: материалы I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 18-19 мая 2022 г. - Хабаровск : Институт горного дела ДВО РАН, 2022. - С. 102-106.

6. Журавлев, К. А. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота / К. А. Журавлев // Актуальные проблемы освоения георесурсов: материалы I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 18-19 мая 2022 г. - Хабаровск : Институт горного дела ДВО РАН, 2022. - С. 69-73. - EDN: JRWLSJ.