

ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЖНОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Қурбонов О.М., Атақулов Л.Н.

*Навоийский государственный горно-технологический университет,
Навои, Узбекистан*

Doi: 10.5281/zenodo.15744260

АННОТАЦИЯ

Получено:
2025-04-07

Пересмотрено:
2025-04-12

Пересмотрено:
2025-04-27

Опубликовано:
2025-06-30

В статье рассматриваются актуальные вопросы повышения эффективности эксплуатации и увеличения коэффициента использования погружных насосных агрегатов, применяемых в геотехнологических скважинах, характеризующихся высокой газонасыщенностью и наличием в жидкости твёрдых механических примесей. Проведён детальный анализ существующих проблем, возникающих при эксплуатации насосного оборудования, таких как вибрации, преждевременный износ рабочих органов, снижение производительности, а также увеличение потребления электроэнергии. Обоснована необходимость разработки усовершенствованного способа и устройства для борьбы с пескопроявлением и газосодержанием. Авторами предложена конструкция, позволяющая эффективно разделять газожидкостную смесь на три потока (газ, жидкость, твёрдые частицы) с помощью направляющих элементов и использования гидростатического и гидродинамического давления, что обеспечивает снижение абразивного износа и повышение надёжности насосного оборудования. Разработанное устройство успешно прошло экспериментальные испытания, по результатам которых была зафиксирована экономия электроэнергии до 5 %, что соответствует снижению затрат до 65 долларов США в год на один насосный агрегат. Предложенное техническое решение обладает простой конструкцией, технологичностью и высокой эксплуатационной надёжностью, а также не оказывает негативного влияния на экологическую обстановку. Полученные результаты подтверждают практическую значимость и высокую эффективность предложенного метода для условий подземного выщелачивания полезных ископаемых, обеспечивая продление срока службы насосов и снижение эксплуатационных расходов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

эффективность, коэффициент использования, погружные насосы, центробежные насосы, пескопроявление, скважина, газосодержание, энергопотребление, продуктивный раствор, гидростатическое давление, гидродинамическое давление.

Введение

Многие страны мира в процессе развития горной промышленности параллельно с увеличением глубины переработки и требований улучшения чистоты конечного продукта, ужесточено требование к экологии и безопасности применяемых оборудования.

Погружные центробежные насосы отличаются от обычных насосов по конструкции с горизонтальным расположением вала. Вертикальное расположение насоса в скважине предопределило такие конструктивные решения, как восприятия гидравлической нагрузки, расположение и смазку подшипников, конфигурацию и размеры деталей насоса, и их компоновку.

Из скважины постоянно поднимается жидкость вместе с песком и другими примесями. Предотвращение засорения насоса и других технологических оборудования, возможно на основе фильтрации песка и других загрязнений (рис.1). Погружные насосы при перекачивании жидкости с большим количеством примесей перегреваются и изнашиваются за короткий срок. Увеличение доли песка в жидкости, приводит к частым поломкам погружных насосных агрегатов [1].

Цель работы

Целью данных исследований является повышение эффективности эксплуатации электропогружных насосных агрегатов в геотехнологических откачных скважинах,

имеющие высокогазированные и твердые частицы в жидкости.

Обсуждение проблемы

Основные причины [2] возникновения проблем при эксплуатации погружных электронасосных оборудований:

- не соблюдение правил сооружения скважин и обсадки ствола скважины;
- неправильное установление сетчатых фильтров;
- разрушение самой конструкции ствола скважины по разным причинам;

Несоблюдение правил бурения приводят:

Во-первых, бурение отклоняется от вертикали в процессе проходки породы. Ствол скважины получается похожим на изогнутого червя. Обсадные трубы, осаживаемые в таком стволе, испытывают неравномерные нагрузки. Вследствие этого может произойти разгерметизация трубы, как во время бурения, так и после него. Иногда изменение конструкции ствола скважины и разгерметизация обсадной трубы происходит уже через 1-2 года после ввода в эксплуатацию их.

Во-вторых, могут быть использованы некачественные материалы при производстве бурильных работ. Некачественные пластиковые трубы, непригодные к грунтам, могут стать причиной того, что из водоносных песчаных слоев скважину будет подсасываться пульпа [3].

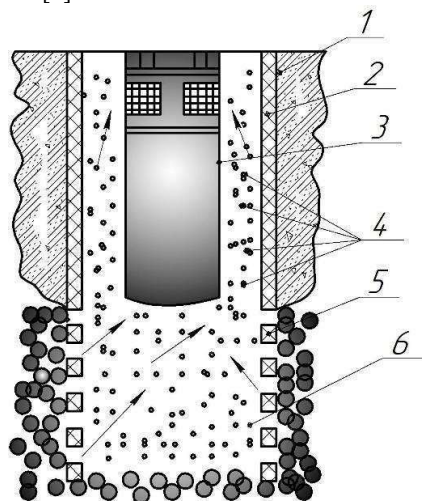


Рисунок 1. Процесс запыления песком скважины.

1-скважина, 2- обсадная труба, 3-погружной насос, 4 – частицы песка, 5-сетчатый фильтр скважины, 6- продуктивный пласт

Выполненный анализ [4,5,6] эксплуатации погружных насосных оборудований рудников подземного выщелачивания горного производства позволила установить основных причин возникновения следующих проблем:

- в насосном оборудовании возникает вибрация из-за наличия газов и твердых частиц в жидкости, двигатель отсоединяется от насосной части, вырывается на дно скважины и выводит скважину из строя;
- преждевременный выход из строя насосных рабочих колес из-за наличия газов и твердых частиц в жидкости, что делает насосное оборудование непригодным для дальнейшего использования;
- эффективность насосного оборудования снижается из-за наличия в жидкости газов и твердых частиц;
- потребление электроэнергии увеличивается во время работы насосного оборудования из-за наличия газов и твердых частиц в жидкости;

Повышение эффективности работы насосного оборудования решается на основе разработки способа и устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважине.

Материалы и методы

В результате исследований было разработано техническое решение борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах.

Разработанный способ и устройство может быть использовано при гидравлической скважинной разработке месторождений, для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважинах.

На сегодняшний день известны несколько способов борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах на производственных условиях. Одним из которых является применения газосепаратора для погружных насосов, который состоит из трубного корпуса с головкой, основания с приемной сеткой и вала с расположенными на нем деталями. В головке выполнены два перекрестных канала для газа и жидкости. В основании размещена закрытая сеткой полость с каналами для приема газожидкостной смеси с твердыми частицами. На валу размещены пята, шнек, осевое рабочее колесо, сепаратор. В корпусе размещены направляющая решетка и гильзы [6].

Однако устройство газосепаратора является сложной конструкцией и в процессе эксплуатации при экстремальных условиях снижается надёжность работы.

Еще одним способом борьбы с пескопроявлением в скважинах, является оборудование скважин штанговым насосом. Способ обеспечивают постоянную скорость притока пластового флюида за счет сглаживания пульсаций давления штангового насоса, передаваемых к призабойной зоне через скважинную жидкость. Для реализации способа оценивают количество песка, выносимого из продуктивного пласта, динамику изменения давлений в призабойной зоне и заколонном пространстве при работе штангового насоса, скорость движения пластового флюида и скважинной жидкости, геологические свойства пласта. На основании оценки определяют длину приемной колонны, сечение проходных каналов, количество карманов и объем эластичных емкостей.

Устройство включает приемную колонну, размещенную под приемом штангового насоса, по длине которой установлены карманы. Каждый из карманов образован внутренней поверхностью приемной колонны и перемычкой, имеющей проходной канал. В карманах помещены эластичные герметичные газонаполненные емкости [7].

Но при эксплуатации устройства требуется регулярная очистка карманов и промывка зумфа скважины от накапливающегося песка, что создает затруднения применения данного способа.

Еще одним наиболее близким аналогом является способ и устройство борьбы с пескопроявлением в скважинах, оборудованных штанговым насосом, включающий спуск обсадной колонны и ее цементирование до устья, спуск в скважину на участке продуктивной части пласта перфорированного хвостовика или фильтров с последующим спуском технологической колонны, в которую осуществляют закачку промывочной жидкости. В скважину дополнительно параллельно технологической колонне спускают насосное оборудование, технологическую колонну спускают до забоя скважины. При этом перед спуском в скважину в технологической колонне, в месте расположения ее на участке продуктивного пласта выполняют перфорационные отверстия, а на конце колонны устанавливают заглушку, закачку промывочной жидкости в технологическую колонну осуществляют циклически при работающем насосном оборудовании откачки [8,9].

Однако способ предусматривает применение регулярной промывку технологической колонны и перфорационных отверстий, что увеличивает трудоемкость и снижает эффективность её применения.

Результаты и обсуждение

Нами для решения выше приведенных проблем, поставлена следующая задача, которая предусматривает повышение эффективности работы электропогружных насосных агрегатов, эксплуатируемых в геотехнологических откачных скважинах.

Поставленная задача решается на основе разработки способа борьбы с пескопроявлением и газоносностью. Погружной насос помещается на дно глухой трубы, над всасывающим патрубком насосного агрегата под углом 450 установлены направляющие конусообразной формы.

Предлагаемый способ и конструкция устройства позволяют при работе насоса получить разделение газожидкостной смеси с твердыми частицами при поступлении в устройство на три потока: газ, жидкость и твердые частицы с направлением их по своим каналам движения вследствие действия сил тяжести и перепада давлений в точках изменения направления потока жидкостной смеси. Движение газовых пузырьков вверх за пределы устройства и отвод твердых частиц на дно скважины, снижает возможность засорения и абразивного износа устройства и погружных электронасосов, что повышает надежность их работы [10,11].

При этом образовывается два проточных канала для перемещения продуктивного раствора: вверх между глухой трубой и обсадной трубой, а также вниз между электронасосным агрегатом и глухой трубой.

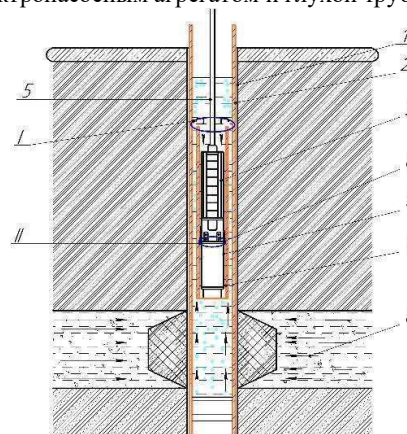


Рис. 2. Устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах, оборудованных погружным насосом

- 1 - растворооткачная скважина, 2 – обсадная труба, 3 – погружной насос, 4 – электродвигатель погружного насоса, 5 – раствороподъемная труба, 6 – продуктивной

пласт, 7 – трубчатая колонна, 8 - направляющая устройства потока

Кроме того, дополнительно над всасывающим патрубком электронасосного агрегата прикреплено направляющее конусообразной формы для изменения направления движения продуктивного раствора на 145° . Высота глухой трубы превышает погружной электронасосный агрегат на 40-50 см, что способствует движению продуктивного раствора в пространство между электронасосом и трубчатой колонной, изменяя направление движения на 180° вниз.

На рис. 2 изображено устройство борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах, оборудованных погружным электронасосным агрегатом.

Устройство содержит растворооткачную скважину (1), обсадную трубы (2), погружного электронасоса (3), погружного электродвигателя насоса (4), раствороподъемной трубы (5), продуктивного пласта (6). погружной электронасосный агрегат размещён во внутри специальной трубчатой колонны (7) и к насосу прикреплено направляющее устройство потока тарельчатой формы у входного патрубка насоса под 45° к его оси (8). Насосный агрегат прикреплен на дно разработанной глухой трубы, при этом её высота превышает высоту насосного агрегата на 40-50 см. Между насосным агрегатом и глухой трубы по диаметру оставляется зазор 50-100 мм для вертикального нисходящего перемещения продуктивного раствора. Между глухой трубой и обсадной колонной также оставляется зазор для вертикального подъёма продуктивных растворов под действием гидростатических и гидродинамических давлений скважины [11].

На рис.3 показана схема работы устройство и точки разделения (точка I, точка II) газожидкостной смеси с твердыми частицами на три потока: газ, жидкость и твердые частицы с движением их по своим каналам [10,11] за счет изменения направление движения по совокупности действий сил тяжести и перепада гидростатических и гидродинамических давлений в точках изменения направления потока жидкостной смеси на 180° и 145° градусов.

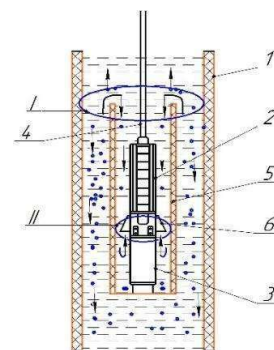


Рис. 3. Устройство для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах, оборудованных погружным насосом

1 – обсадная труба, 2 – погружной насос, 3 – электродвигатель погружного насоса, 4 – раствороподъемная труба, 5 – трубчатая колонна, 6 - направляющая устройства потока

Устройство для борьбы с пескопроявлением и газоносностью работает следующим образом: продуктивный раствор, содержащий газ и твердые частицы через профильтрованную зоны поступает в полость скважины и поднимается вверх под действием гидростатического и гидродинамического давления. При перемещении раствора вверх часть твердых частиц под действием сил тяжести (плотности) частично оседает на дно скважины.

Продуктивный раствор поступает в трубное пространство между глухой трубой и электронасосным агрегатом, далее под действием всасывания насоса перемещается вниз. При этом направление движение потока раствора изменяется на 180° . За счет изменения направления движения потока происходит удаление газообразных продуктов вверх и частичное разделение раствора на твердые и жидкие фазы. Продуктивный раствор поступает во всасывающий патрубок насосного агрегата через направляющее устройство установленного под 45° к его оси. При этом происходит вторичное разделение потока раствора на твердые и жидкие фазы с соответствующим направлением движения [11].

С целью определения эффективности предлагаемого устройство для борьбы с пескопроявлением и газоносностью нами было проведено экспериментальные работы, которые проводились на стенде, рисунок которого представлен на рис.4.

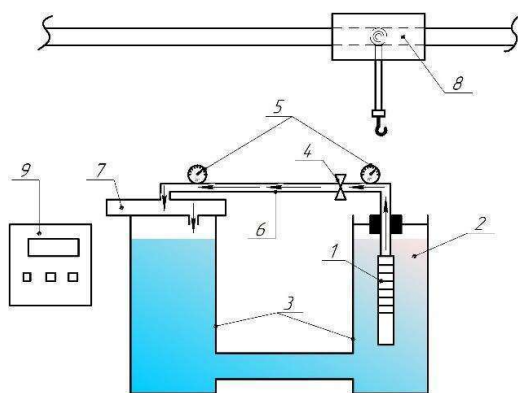


Рис. 4. Стенд для испытаний погружных насосов

1-Погружной насос марки USK 408/42; 2-Вода; 3 - Два сообщающихся сосуда; 4- Вентиль; 5 - Манометр; 6 – Трубопровод; 7 - Емкость для замера производительности насоса; 8 - Кран-балка; 9 - Станция управления.

Результаты выполненных экспериментальных исследований позволили получить зависимость потребляемой мощности насоса от подачи насоса в обычные компоновки и зависимость потребляемой мощности насоса от подачи насоса вместе разработанного устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах.

На рис. 5 представлена графическая зависимость потребляемой мощности от подачи насоса с обычной компоновкой погружного насоса.

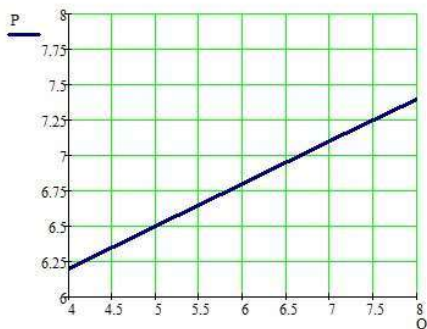


Рис. 5. Графическая зависимость потребляемой мощности насоса (P, кВт) от подачи насоса (Q, м³/час) при обычной компоновки

На рис.5 наблюдается, что при увеличении подачи насоса на каждые 4 м³/час повышается потребляемая мощность на 1,2 кВт.

Также на рис. 6 приведена графическая зависимость потребляемой мощности насоса от подачи насоса при применении разработанного

устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах.

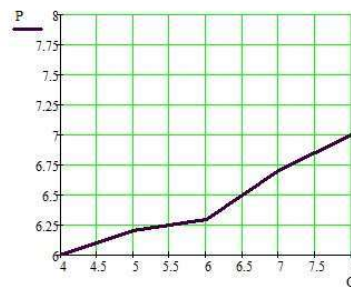


Рис. 6. Графическая зависимость потребляемой мощности насоса (P, кВт) от подачи насоса (Q, м³/час) при применении разработанного устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах.

Из рисунка 6 наблюдается что, применение разработанного устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах способствует значительной экономии, потребляемой приводом насоса электрической энергии, при этом экономия потребляемой электрической энергии на ту же получаемой подачи составляет 400 Вт.

Технико-экономическое обоснование разработанного способа и устройства борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах, оборудованных погружным насосом в условиях рудников подземного выщелачивания осуществляется расчетом потребления электроэнергии, которая представлена ниже.

Годовой расход электроэнергии насосным оборудованием при предлагаемой варианте определяется по формуле [12]:

$$W_{\text{цикл}} = P_p \cdot \text{КИО} \cdot t \quad \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$$

где: КИО - 0.85 коэффициент использования оборудования по времени;

t - наработка насосного оборудования относительно расчетного периода, час / год;

P_p - расчетная мощность насосного оборудования при заданном токе:

$$P_p = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} \cdot U \cdot \cos \varphi \quad \text{кВт}$$

где: I_φ - фазный ток, рассчитанный при средней производительности насоса Q.

Результаты расчета экономической эффективности предлагаемого устройства для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважинах, оборудованных погружными насосами приведены ниже.

Капитальные затраты: приобретение предлагаемого устройства – 20 долл. США; пуско-наладочные работы (17%) – 3,4 долл. США; доставка оборудования (10%) – 2 долл. США, таким образом общие капитальные затраты составляют 25,4 долл.США.

На таблице 1 представлены затраты электроэнергии по вариантам при обычном комплектации и при применении нами предлагаемой устройством для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважинах [13].

Таблица 1

Затраты электроэнергии по вариантам		
Наименование статей	Размерность	Погружной насос
Потребляемая электроэнергия при обычном режиме		
Объем потребляемой электроэнергии в год	кВт*ч/год	40208,4
Цена за Квт *ч электроэнергии с НДС	\$/кВт*ч	0,032
Стоимость потребляемой электроэнергии	\$/год	1286,7
Потребляемая электроэнергия при предлагаемом варианте и экономия		
Объем потребляемой электроэнергии в год	кВт*ч/год	38198
Стоимость потребляемой электроэнергии	\$/год	1222
Экономия электроэнергии в год	\$/год	64.7

На основе результатов исследований установлено что, годовой расход электроэнергии одного погружного насосного агрегата по существующему способу в обычном режиме составляет в среднем 40208,4 кВт*ч в год.

При внедрения разработанного технического решения для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважинах, оборудованных погружными насосами, экономия электроэнергии для одного агрегата составляет:

$$\Delta W = W_{\text{сум1}} - W_{\text{сум2}}$$

Из результатов оценки экономической эффективности наблюдается что, применение устройства для борьбы с пескопроявлением и газоносностью в скважинах, оборудованных погружными насосами позволяет снизить затраты электрической энергии на 5 %, что в свою очередь способствует снижению себестоимости эксплуатации насоса.

Вывод

Выполненные исследования позволили сделать следующие основные выводы, которые имеют важные научно-практические значения для эффективной эксплуатации погружных насосов:

– Разработанный способ и средства борьбы с пескопроявлением и газоносностью отличаются простотой конструкции в изготовлении и несложностью в эксплуатации, а также не оказывает негативного влияния на экологическую обстановку. Это оборудование надежно в эксплуатации и предотвращает случайное отключение и выход из строя погружных насосов при всасывании жидкостей, содержащих газы и твердые частицы.

– Эффективность удаления разработанной конструкцией продуктивных расворов от газов и твердых частиц обеспечивает снижению вибрации и износа оборудования. В результате достигается экономия электроэнергии и предотвращение преждевременного выхода из строя насосного оборудования.

В результате внедрения разработанного технического решения и рекомендаций можно достичь оптимального срока эксплуатации насосного оборудования до 7850-8000 машино-часов, а также увеличения коэффициента использования оборудования на 20 % и сокращения энергопотребление насосов на 5%.

Ожидаемая расчётная годовая экономия от внедрения предлагаемого способа и устройства составит 65 \$ в год для одного погружного насосного оборудования.

Список литературы

1. Бондаренко В.А., Климовец В.Н., Щетников В.И., Сухляев А.О., Долгов С.В., Шостак А.В. Опыт борьбы с пескопроявлениями при эксплуатации скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения

- Краснодарского края // Научно технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». -М.: ВНИИОЭНГ, 2013. - № 6. - С. 17-21.
2. Kabir M.I., Lake L.W., Schechter R.S. Evaluation of one-well uranium leaching test restoration. - Society of Petroleum Engineers Journal. - 1982. - № 22. - P. 43-56.
3. Yong Wang, Kaikai Luo, Kai Wang, Houlin Liu, Yu Li, Xianghui He. Research on pressure fluctuation characteristics of a centrifugal pump with guide vane. JOURNAL OF VIBROENGINEERING. Lithuania. 2017. VOL. 19, ISSUE 7. – P. 5482-5497
4. Kurth D. J., Schmidt R. D. Computer modeling of five-spot well pattern fluid flow during in situ uranium leaching. - Washington: US Bureau of Mines, 1978. - P. 33 - 46.
5. Suat Bagci, Murat Kece and Jocsiris Nava, Challenges of Using Electrical Submersible Pump (ESP) in High Free Gas Applications, CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition in China held in Beijing, China, 8–10 June 2010. SPE 131760
6. Способ борьбы с пескопроявлением в скважине (Патент РФ № 2410528, МПК E21B 37/00). Дата регистрации 27.01.2011 г
7. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти: Международный транслятор. /Под ред. В.Ю.Алекперова, В.Я. Керженбаума, «Нефть и газ», 1999 г. - 611; ил., стр.293-299.
8. Способ борьбы с пескопроявлением в скважинах, оборудованных штанговым насосом, и устройство для его осуществления (патент РФ № 2348801, МПК E21B 43/38). Дата регистрации 10.03.2009 г.
9. Способ борьбы с пескопроявлением в скважине (патент РФ №2410528, МПК E21B 43/38). Дата регистрации 27.01.2011 г.
10. Устройство для сепарации твердых частиц и газа погружного электроцентробежного насоса (патент РФ № 2354821, МПК E21B 43/38). Дата регистрации 15.08.2007 г.
11. Способ и устройство борьбы с пескопроявлением и газоносностью в геотехнологических скважинах, оборудованных погружным насосом. (патент УЗ, № IAP 06089, МПК E21B 43/38). Дата регистрации 30.12.2019 г.
12. Кожевников Н. Н. Экономика в энергетике: учебное пособие / под редакцией Н. Н. Кожевникова. - М. : Издательский центр «Академия», 2003. 384 с.
13. Kurbonov O.M. Improvement of installation and dismantling of submersible pump units in the conditions of underground leach mines // Australian Journal of Science and Technology. – Australia, December 2020. – Vol. 4. – Issue 4. – pp. 363-367.

Об авторах:

Курбонов Ойбек Мухамматкулович	– доктор философии по техническим наукам, Доцент, Докторант (DSc), Навоийский государственный горно-технологический университет, 210100, Республика Узбекистан, обл. Навои, г. Навои, ул. Галаба, 76В. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7699-0520 , e-mail: oybek7001@mail.ru
Атакулов Лазизжон Нетьматович	– доктор технических наук, Профессор, Заведующий кафедры «Горная электромеханика», Навоийский государственный горно-технологический университет, 210100, Республика Узбекистан, обл. Навои, г. Навои, ул. Галаба, 76В. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3561-8850 , e-mail: Laziz218@mail.ru

OLTIN VA KO'MIR LAXMLARIDA ANKER MAHKAMLOVCHINING ADGEZIV MUSTAHKAMLANISH FUNKSIYALARI

Toshov B.R., Muminov R.O., To'xtayev B.I.

*Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston Respublikasi*

Doi: 10.5281/zenodo.15744296

ANNOTATSIYA

Kelib tushgan:

2025-04-11

Ko'rib chiqilgan:

2025-04-14

Qabul qilingan:

2025-04-29

Chop etilgan:

2025-06-30

Ushbu ilmiy maqola tog'-kon sanoati, qurilish va geotexnika kabi muhim muhandislik sohalarida geomexanik muhitning mustahkamligini ta'minlash va turli xil injenerlik inshootlarining barqarorligini oshirishning fundamental ahamiyatini tahlil qilingan. Maqolada ta'kidlanishicha, mustahkamlovchi tarkiblar bu borada kritik rolni o'ynaydi va ularning mustahkamlovchi funksiyalari bir qator fundamental ilmiy prinsiplarga asoslanadi. Shuningdek, maqolada mustahkamlovchi tarkiblarning ta'sir mexanizmlari ilmiy konsepsiyalar va qonuniyatlar asosida chuqur tahlillari keltirilgan. Bundan tashqari, ankerni mahkamlash uchun eritma, tog' jinsi o'rtasidagi adgeziya kuchlarining ularning o'zaro siljishiga qarshilik ko'rsatishi va elastiklik nazariyasi qonunlari haqida ma'lumotlar ko'rib chiqilgan.