

24 декабря 2025 года

Тема *«Перспективы развития технологий очистки и оборотного использования шахтных вод»*

Альтернативные методы очистки карьерных и шахтных вод

Баландина Юлия Викторовна
Главный технолог по водоподготовке и очистке сточных вод
ООО «Кайрос Инжиниринг», г. Пермь
Телефон: +7(922) 342 23 21
E-mail: balandina@kairoseng.ru

Промышленные предприятия оказывают негативное влияние на окружающую среду за счет сброса шахтных и карьерных сточных вод в водные объекты без очистки.



Требуется очистка шахтных и карьерных сточных вод



Шахтные и карьерные сточные воды предприятий, применяющих взрывные работы при добыче полезных ископаемых, характеризуются повышенным содержанием компонентов азотной группы.



Обильное содержание сульфатов в шахтных и карьерных сточных водах наблюдается в случае добычи полезных ископаемых с глубоких водоносных горизонтов.

Наиболее эффективные методы удаления NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ и SO_4^{2-} из шахтных и карьерных сточных вод



Ионообменная технология



Технология обратного осмоса



Данные методы имеют существенные недостатки:

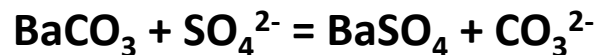
- высокие капитальные затраты;
- высокие эксплуатационные затраты;
- большой объем засоленных сточных вод.

Разработанный способ очистки карьерных и шахтных сточных вод от компонентов азотной группы, сульфатов и ионов тяжелых металлов

1. Гидроизолированный буферный водоем предназначен для накопления карьерных сточных вод перед их подачей на очистку.

2. Проницаемый реактивный барьер.

В качестве резервуаров применяются еврокубы, заполненные загрузкой из отсева активного угля (БАУ), песка и BaCO_3 в соотношении 0,5:2:1.

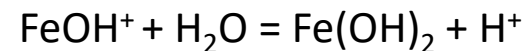
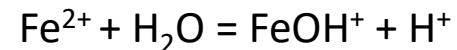


3. Редокс-геохимический барьер.

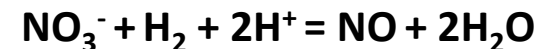
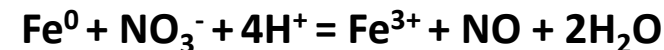
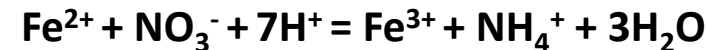
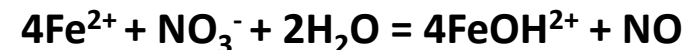
В качестве резервуаров применяются еврокубы, заполненные металлическим скрапом, отсевом угля и песком.

За счет разности электрохимических потенциалов токопроводящих элементов на контакте **«железная стружка Fe^0 – углеродсодержащий материал»** возникает множество гальванопар (ферромагнитные соединения железа), способные сорбировать ионы тяжелых металлов, окислять нитрат-ионы до нитрит-ионов, восстанавливать до аммонийного азота, который в щелочной среде частично удаляется в воздух в виде аммиака.

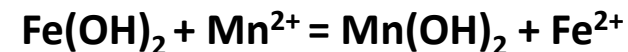
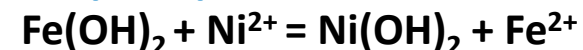
Образующиеся ионы подвергаются гидролизу:



Fe, образующиеся ионы Fe^{2+} , гидроксид железа (II) способны восстанавливать нитрат-ионы:

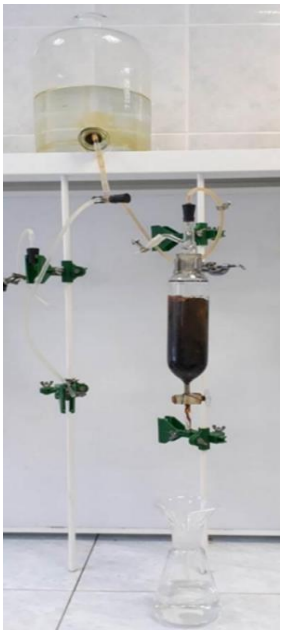


На свежееобразующемся осадке гидроксидов железа (II, III) также протекают процессы ионного обмена, например:



4. Существующее торфяное плато для фильтрации очищенных сточных вод от образующихся вторичных продуктов: ионов аммония, нитрит-ионов, растворенного железа.

Основные результаты испытаний



Вещество/ показатель	Среднее значение концентрации за период ОПИ (05.2023-09.2024), мг/дм³			ПДК для НДС, мг/дм³
	До очистки	После ПРБ	После торфяной площадки	
Нитрат-ионы	98,35	37,17	9,66	40,00
Ионы марганца	0,390	0,182	0,107	0,010
Ионы никеля	0,221	0,023	0,026	0,100
Нитрит-ионы	0,667	14,364	0,800	0,800
Ионы аммония	5,43	7,73	1,30	0,50
Железо общ.	0,362	0,624	0,623	0,100
Сульфаты	612	250	243	390



Выявленные недостатки:

При фильтрации сточных вод через модуль очистки от сульфат-ионов :

- быстрое срабатывание BaCO₃ в фильтрующей загрузке;
- требуется одновременная замена фильтрующей загрузки, включая инертные материалы раньше окончания их эксплуатационного срока;
- большое количество образующихся отходов.

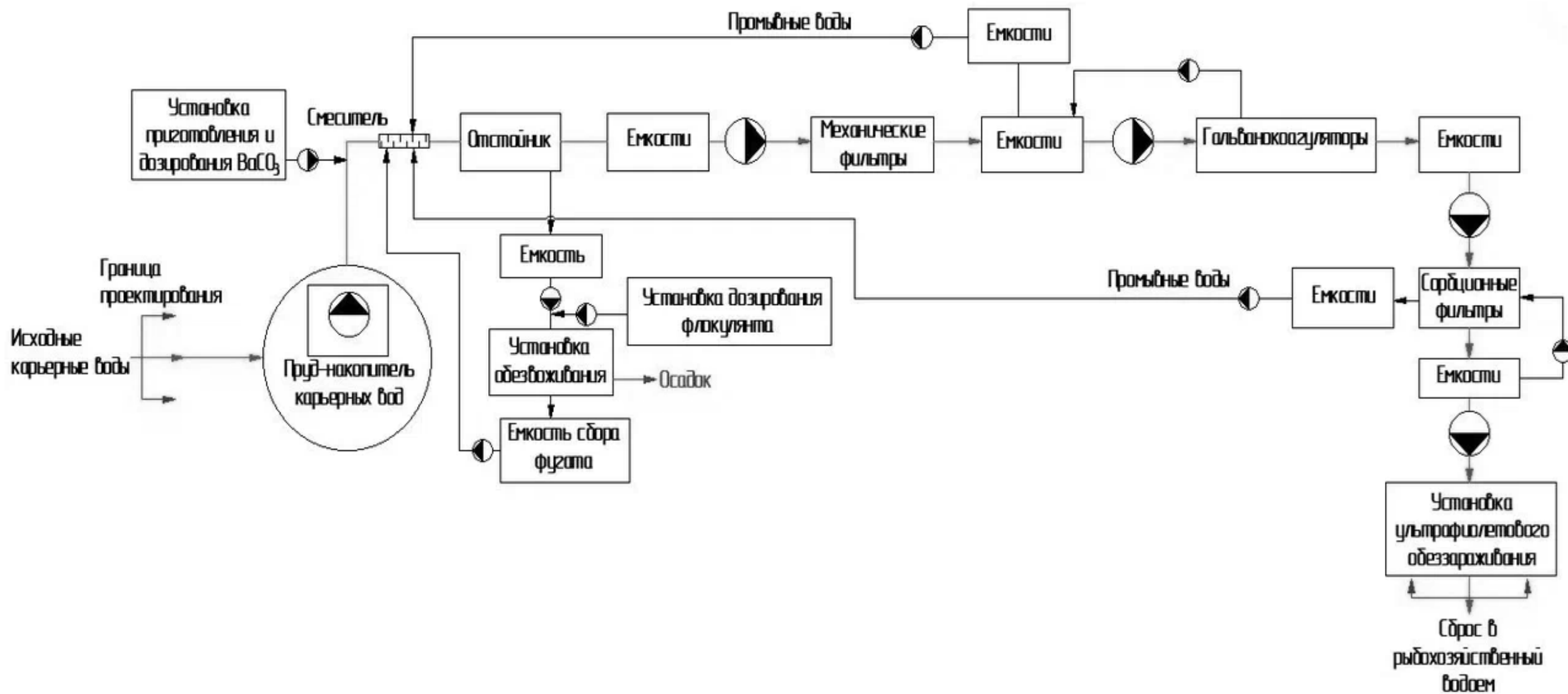
При фильтрации через модуль очистки от нитрат-ионов :

- без перемешивания загрузки с очищаемыми сточными водами реакции восстановления протекают не в полном объеме;
- высокое содержание невосстановленных нитритов.

При фильтрации через торфяное плато:

- низкая степень очистки;
- отсутствие гидроизоляции противоречит экологическим нормам применения;
- ограниченное применение при низких температурах в течение года.

Принципиальная блок-схема технологии очистки

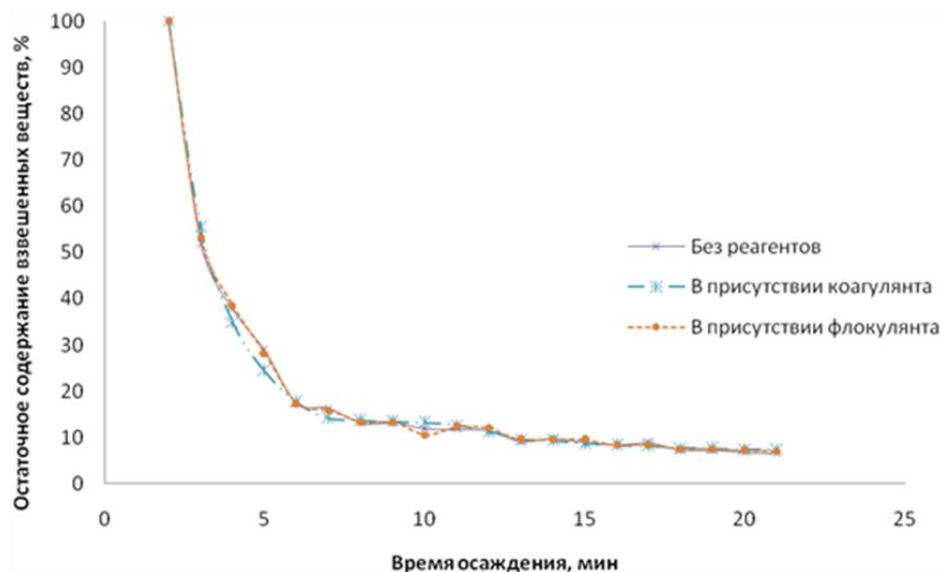


Качество карьерных сточных вод после каждой стадии очистки

Показатель	Качественный состав карьерных сточных вод						
	До очистки	Норматив (НДС)	После обработки карбонатом бария	После отстойников	После фильтров	После гальвано-коагуляторов	После доочистки на сорбентах
рН	7,7	6-9	9,0	9,0	9,0	9,0	8,7
Кальций, мг/л	160,9	180	160,9	160,9	35,8	44,8	44,8
Магний, мг/л	42,8	40	42,8	42,8	39,3	37,2	37,2
Марганец, мг/л	1,0	0,4	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2
Железо общее, мг/л	0,3	0,5	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3
Взвешенные вещества, мг/л	7,4	26	835,7	83,6	6,7	1,7	1,7
Сульфат-ион, мг/л	643,9	390	643,9	450,7	300,0	318,9	318,9
Аммоний-ион, мг/л	10,6	0,5	10,6	10,6	8,4	7,7	0,5
Нитрит-ион, мг/л	1,4	0,08	1,4	1,4	1,4	0,03	0,02
Нитрат-ион, мг/л	221,3	85	221,3	221,3	221,3	27,8	21,5
Сухой остаток, мг/л	1419,7	1000	1419,7	1419,7	857,5	556,5	556,5
Никель, мг/л	0,34	0,01	0,3	0,3	0,03	0,01	0,01

Очистка карьерных сточных вод от сульфат-ионов

Дозирование суспензии карбоната бария в смеситель с последующим осаждением сульфата бария в отстойниках тонкослойного типа и на загрузке механических фильтров без применения коагулянтов и флокулянтов.



Преимущества:

- ✓ Непрерывный процесс осаждения сульфат-ионов;
- ✓ Эффективный процесс очистки при низких температурах и без применения коагулянтов и флокулянтов (подтверждено лабораторными испытаниями);
- ✓ Равномерное удаление обезвоженного осадка;
- ✓ Сокращение количества образующихся отходов;
- ✓ Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании.



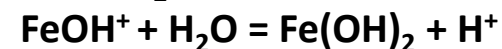
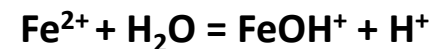
Очистка карьерных сточных вод от азотной группы, никеля, марганца

1. Карьерные сточные воды после реагентной обработки, отстаивания и фильтрации непрерывно подаются во вращающийся гальванокоагулятор, заполненный железным скрапом (например, стружкой) с отсевом производства АУ и БАУ (размер зерен 2-5 мм) в весовом соотношении 4:1.
2. Вращение корпуса коагулятора с определенной скоростью обеспечивает перемешивание скрапа и переменный контакт его с очищаемыми сточными водами и кислородом воздуха.
3. Скрап поднимается полками (ворошителями) над поверхностью очищаемых сточных вод, что создает условия для контакта жидкой, твердой и газообразной фаз в пленочном слое жидкости, удерживаемом скрапом.
4. При свободном падении железного скрапа, контакт гальванической пары «кокс – железо» изменяется.
5. Создаются условия для быстрого окисления железа и его взаимодействия с нитрат-ионами.
6. Дозагрузка новых порций скрапа по мере его расхода производится с остановкой гальванокоагулятора не реже одного раза в месяц.

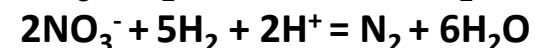
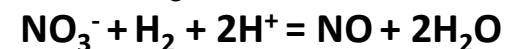
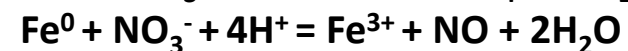
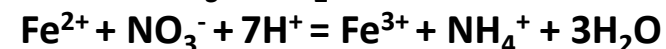
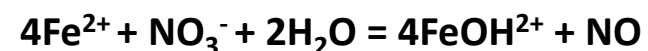
Преимущества:

- ✓ Эффективный процесс восстановления нитратов до аммоний-ионов, в условиях постоянного перемешивания;
- ✓ Равномерная дозагрузка фильтрующего материала;
- ✓ Периодическое образование отходов в небольших количествах;
- ✓ Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании.

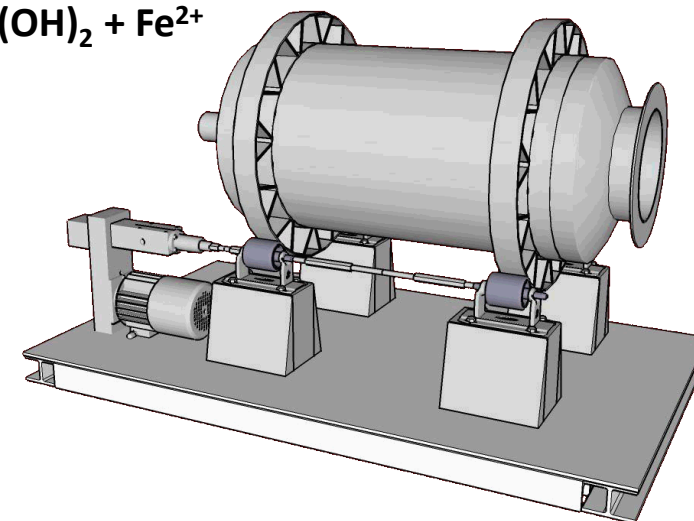
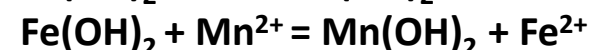
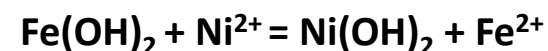
Образующиеся ионы подвергаются гидролизу:



Fe, образующиеся ионы Fe^{2+} , гидроксид железа (II) способны восстанавливать нитрат-ионы:



На свежееобразующейся осадке гидроксидов железа (II, III) также протекают процессы ионного обмена, например:



Сравнительная характеристика методов и основные выводы




№	Критерии сравнения	Альтернативная схема очистки (BaCO_3 , загрузка из железного скрапа и отсева активного угля, клиноптилолит, обезвоживание осадка)	Стандартная схема очистки (предочистка, двухступенчатый обратный осмос, установка выпаривания, обезвоживание осадка)
1	Эффективность очистки	До норм НДС	
2	Количество и качество образующихся сточных вод	10% Промывные сточные воды, повторное использование	40% Засоленные сточные воды, дорогостоящая утилизация
3	Количество отходов, т/год	6 280	6 450
4	Энергопотребление, кВт*ч	1882	5588
5	Эксплуатационные затраты, тыс. руб. без НДС в год	603 600,8	798 740,0
6	Капитальные затраты, тыс. руб. без НДС	3 090 087,5	4 400 000,0
7	Стоимость 1 м ³ очищенных сточных вод, руб. без НДС	289,5	383,1
8	Преимущества	1. Эффективный процесс физико-химической очистки сточных вод при низких температурах и без применения коагулянтов и флокулянтов. 2. Невысокое энергопотребление. 3. Меньшее количество образования отходов. 4. Невысокая трудоемкость, простота в обслуживании.	1. Высокая эффективность очистки. 2. Высокая автоматизация процесса. 3. Метод присутствует в справочниках наилучших доступных технологий.
9	Недостатки	1. Метод отсутствует в справочниках наилучших доступных технологий. 2. Требуется проведение пилотных испытаний перед началом строительства.	1. Высокие капитальные и эксплуатационные затраты. 2. Высокое энергопотребление. 3. Требуется высокая квалификация обслуживающего персонала.

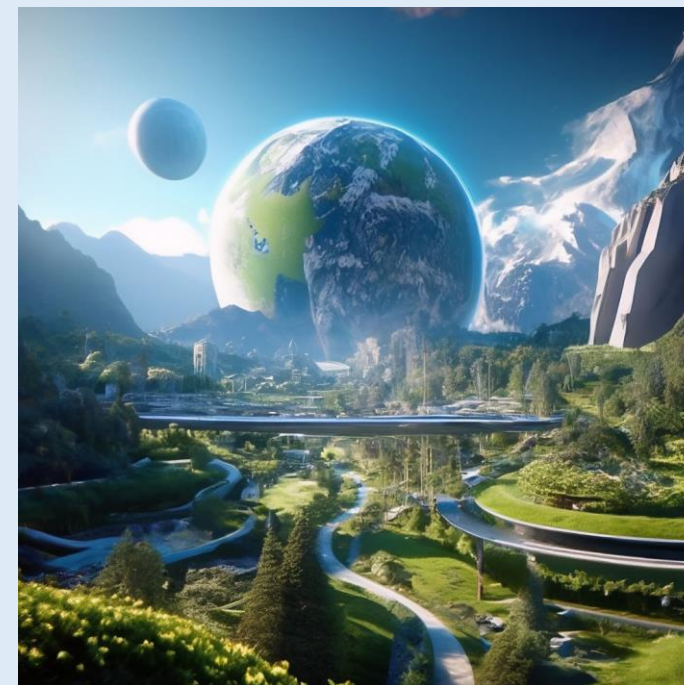
Заключение

На данный момент разработанный метод отсутствует в справочниках наилучших доступных технологий.

При определении технологического метода в качестве наилучшей доступной технологии требуется рассмотрение его на соответствие следующим критериям:

- ✓ Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду;
- ✓ Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;
- ✓ Применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- ✓ Период внедрения;
- ✓ Промышленное внедрение технологического метода на 2-х и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

 **Опробование и внедрение технологии на промышленных предприятиях позволит сохранить будущее нашей планеты**



Разработчики



Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ):

1. Блинов Сергей Михайлович – руководитель работ, зав. лабораторией инженерно-экологических исследований ПГНИУ, канд. геол.- мин. наук;
2. Белкин Павел Андреевич – науч. сотр. лаборатории инженерно-экологических исследований ПГНИУ, канд. геол.- мин. наук.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ):

1. Глушанкова Ирина Самуиловна – профессор кафедры охраны окружающей среды ПНИПУ, доктор техн. наук;
2. Рудакова Лариса Васильевна – зав. кафедрой охраны окружающей среды ПНИПУ, доктор техн. наук;
3. Бессонова Елена Николаевна – инженер кафедры охраны окружающей среды ПНИПУ.

ООО «Кайрос Инжиниринг»:

1. Готфрид Александр Владимирович – генеральный директор ООО «Кайрос Инжиниринг»;
2. Баландина Юлия Викторовна – главный технолог ООО «Кайрос Инжиниринг»;
3. Петухова Евгения Олеговна – ведущий технолог ООО «Кайрос Инжиниринг»;
4. Беляева Анастасия Владимировна – инженер 2-й категории ООО «Кайрос Инжиниринг»;
5. Шардина Екатерина Александровна – главный специалист ООО «Кайрос Инжиниринг».