

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент:

Заведующий кафедрой:

\_\_\_\_\_ Т.М.Хафизов

\_\_\_\_\_ Г.А. Пикус

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе магистра на тему:

Подземное сооружение по утилизации мусора с гравитационной башней

ЮУрГУ 08.04.01 «Строительство». АСИ-278. ПЗ ВКР

Консультант:

Руководитель: Профессор, д.т.н.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.Х.Байбурин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Консультант:

Проверка по системе антиплагиат: \_\_\_\_\_%

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.Х.Байбурин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019г.

Нормоконтролер:

Автор ВКР:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Тупицын Р.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

г. Челябинск - 2019

Тупицына Дарья Сергеевна, Тупицын Роман Андреевич, Подземное сооружение по утилизации мусора с гравитационной башней, пояснительная записка. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019, 225 стр., библ. наим. – 30, табл. – 11, илл. – 102.

Объектом исследования магистерской диссертации является технология возведения многоэтажного подземного комплекса по утилизации отходов.

Целью работы является разработка концепции подземного комплекса по управлению отходами с применением инновационных технологий в сфере ресурсосбережения, а также технологии его возведения.

В результате исследования была сформулирована концепция подземного комплекса по управлению отходами с функциями сортировки, сжигания, утилизации твёрдых коммунальных отходов. Предложена технологическая цепочка, выстроенная вертикально вниз с возможностью возврата вверх в виде энергии или прессованных тюков для продажи сырья. В комплексе применены солнечные панели производящие электроэнергию, которая вливается в общий энергетический баланс комплекса. Для резервации и сохранения электроэнергии запроектированы гравитационные энергонакапливающие элементы, позволяющие в нужный момент дополнить недостающую электроэнергию.

*Ключевые слова: подземные сооружения, твердые коммунальные отходы, переработка ТКО, солнечные панели, гравитационная башня, методы возведения подземных сооружений, управление отходами.*

				<i>АС-278-08.04.01-2019-ПЗ</i>			
	<i>Фамилия</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав.каф.</i>	<i>Пикус</i>			<i>Подземное сооружение по утилизации мусора с гравитационной башней</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Н.контр.</i>	<i>Байдурин</i>				<i>ВКР</i>	<i>2</i>	<i>225</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Байдурин</i>				<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Консульт.</i>	<i>Байдурин</i>				<i>Кафедра СПТС</i>		
<i>Разраб.</i>	<i>Тупицын</i>						

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	9
1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ И ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ	10
1.1.1. Классификация отходов .....	10
1.1.2. Морфологический состав ТКО .....	13
1.2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ .....	15
1.2.1. Захоронение отходов на полигонах .....	15
1.2.2. Компостирование ТКО .....	18
1.2.3. Термическая утилизация отходов .....	23
1.2.4. Комплексная сортировка ТКО .....	31
1.3.НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ .....	37
1.4. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	49
1.4.1. Открытый способ возведения подземных сооружений .....	49
1.4.2. Метод опускного колодца .....	51
1.4.3. Кессонный метод возведения подземных сооружений .....	55
1.4.4. Метод возведения подземных сооружений «стена в грунте» .....	57
1.4.5. Метод возведения подземных сооружений «сверху – вниз».....	60
2. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК НА ТЕМУ: «СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ».....	64
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ. ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ .....	119
3.1. Технологическая схема переработки отходов.....	119
3.2. Подбор технологического оборудования .....	128
3.3. Печь для переработки остатков, не подлежащих реализации .....	137
3.4. Оборудование по обеспечению энергетической автономности.....	138
3.4.1. Солнечные панели.....	138
3.4.2. Расчет положения солнечных панелей .....	145

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

3.4.3. Расчёт мощности солнечных батарей .....	152
4. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ .....	161
4.1.Методика проведения исследования .....	161
4.2.Характеристика возводимого объекта.....	161
4.3.Последовательность выполнения работ по устройству подземной и надземной частей комплекса .....	162
4.4.Дополнительные рекомендации к процессу возведения .....	171
4.4.1. Устройство разделительного слоя между перекрытиями .....	171
4.4.2. Особенности проектирования плит перекрытий для возводимого объекта .....	171
4.4.3. Возможные способы доставки строительных материалов на этаж	172
4.4.4. Учет поведения грунтового массива .....	172
4.5.Технология устройства конструкций стен .....	172
4.6.Особенности применяемой бетонной смеси при производстве конструкций стен .....	177
4.6.1. Рекомендации по выбору бетонной смеси.....	177
4.6.2. Особенности укладки смеси .....	178
4.6.3. Рекомендации к составу бетонной смеси.....	178
4.7.Расчет требуемого количества монтажного оборудования.....	179
5. РАСЧЕТ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ .....	181
5.1. Обзор методов закрепления стенок котлована от обрушения.....	181
5.2. Расчет грунтовых анкеров крепления ограждения котлована .....	200
5.2.1. Расчет грунтовых анкеров .....	200
5.2.2. Расчет по измененной схеме.....	208
5.3. Анализ полученных результатов .....	211
6. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ .....	213
6.1. Условия застройки .....	213
6.2. Характеристики грунта.....	213
6.3. Используемые материалы конструкций .....	214

6.5. Тепловлажностный режим на площадке строительства .....	214
7. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ ...	216
7.1.Сроки строительства.....	216
7.2.Определение сметной стоимости объекта строительства .....	216
7.3.Технико-экономические показатели комплекса: .....	220
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	221
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	223

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

### **3. Технологическая схема переработки отходов. Подбор оборудования**

#### **3.1. Технологическая схема переработки отходов**

Основываясь на уже существующих примерах технологических линий по сортировке, переработке и утилизации отходов, была разработана технологическая линия по обращению с отходами. Ниже представлены этапы данной технологической цепи.

Первый этап – въезд мусоровозов на территорию через площадку для спецавтотранспорта.

Отходы, поступающие на территорию комплекса по переработке мусора, доставляемые мусоровозами, подлежат предварительному взвешиванию. С этой целью на территории комплекса устроен пост весового контроля. Весь въезжающий и выезжающий автотранспорт проходит процедуру взвешивания, после чего в автоматическом режиме происходит вычисление данных о массе привезенных отходов, их объеме, об автотранспорте осуществившем доставку, времени прибытия, времени нахождения на территории комплекса. Эти данные заносятся автоматически в систему управления комплексом. Для регулирования потоков движения автотранспорта предусмотрено устройство шлагбаумов, работа которых регулируется из помещения контрольно-пропускного пункта, используя системы видео-наблюдения, позволяющие вести видео-запись входящего и выходящего автотранспорта и персонала, осуществлять регулировку движения всех автотранспортных средств.

При выезде всего транспорта с территории комплекса в соответствии с требованиями действующих норм СанПин предусмотрено обеззараживание колес автомобилей путём прохождения автотранспорта в ванне с дезинфицирующим раствором.

После того как мусоровоз прошел процедуру взвешивания, он следует к пункту радиационного контроля, который представляет собой две рамки с размещёнными на них датчиками системы входного автоматизированного радиационного контроля коммунальных отходов и иного оборудования.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		119

В случае если нормы уровня радиационного фона от мусоровозов превышают допустимые значения, мусоровоз отправляется на площадку, где будет ожидать сотрудников специальных служб и эвакуации мусоровоза с территории МСК.

Прошедший радиационный контроль автотранспорт направляется в приемное отделение основного здания сортировки отходов. Приемное отделение отходов позволяет одновременно принимать несколько машин.

Второй этап – разгрузка отходов

На надземном этаже мусороперерабатывающего комплекса располагается 4 приёмных бункера. По завершении первого этапа, мусоровоз с ТКО осуществляет выгрузку отходов в приемный бункер. После того, как выгрузка произведена, задняя стенка бункера под действием гидротолкателей начинает выталкивать спрессованные отходы на конвейерную линию.

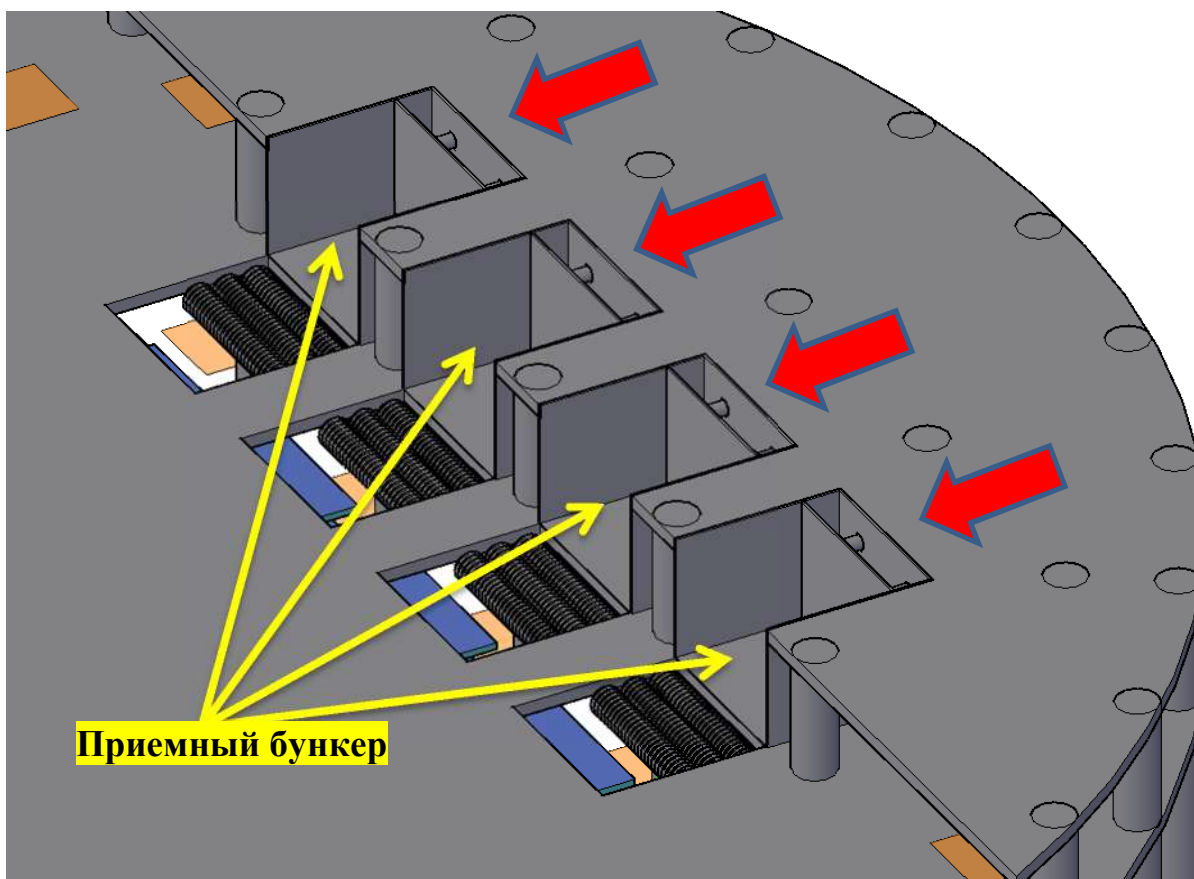


Рис. 3.1. Схема разгрузки ТКО в бункер отходов

Третий этап – выделение крупногабаритных отходов

В процессе работы гидротолкателей ТКО попадают на валики-разрыхлители, где они разрыхляются и частично освобождаются от мелкой фракции

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

отходов. После прохождения валиков, ТКО падают вниз, где начинается процесс пневмосортировки. Она необходима для того, чтобы извлечь из всего объема отходов крупногабаритный и опасный для оборудования мусор (строительный мусор, пиломатериалы, мебель, пластик, сантехника и бытовая техника). Отделение крупногабаритных отходов (куски фанеры, телевизоры, микроволновые печи, полки и части шкафов, стулья, столы, батареи, раковины, трубы, покрышки и т.д.) происходит напольным стационарным манипулятором, который переносит эти отходы в шредер с последующим измельчением и обратным транспортированием на конвейерную ленту.

Остальные отходы попадают на объединенную, для всех 4 технологических линий, конвейерную ленту и отводятся в сторону, для ручной сортировки. Все остальное сырье попадает на индивидуальную ленту, относящуюся к своей линии сортировки.

Затем сырье попадает в разрыватель пакетов – оборудование, служащее для того, чтобы разорвать все завязанные мешки, пакеты и извлечь содержимое, для качественной сортировки ТКО.

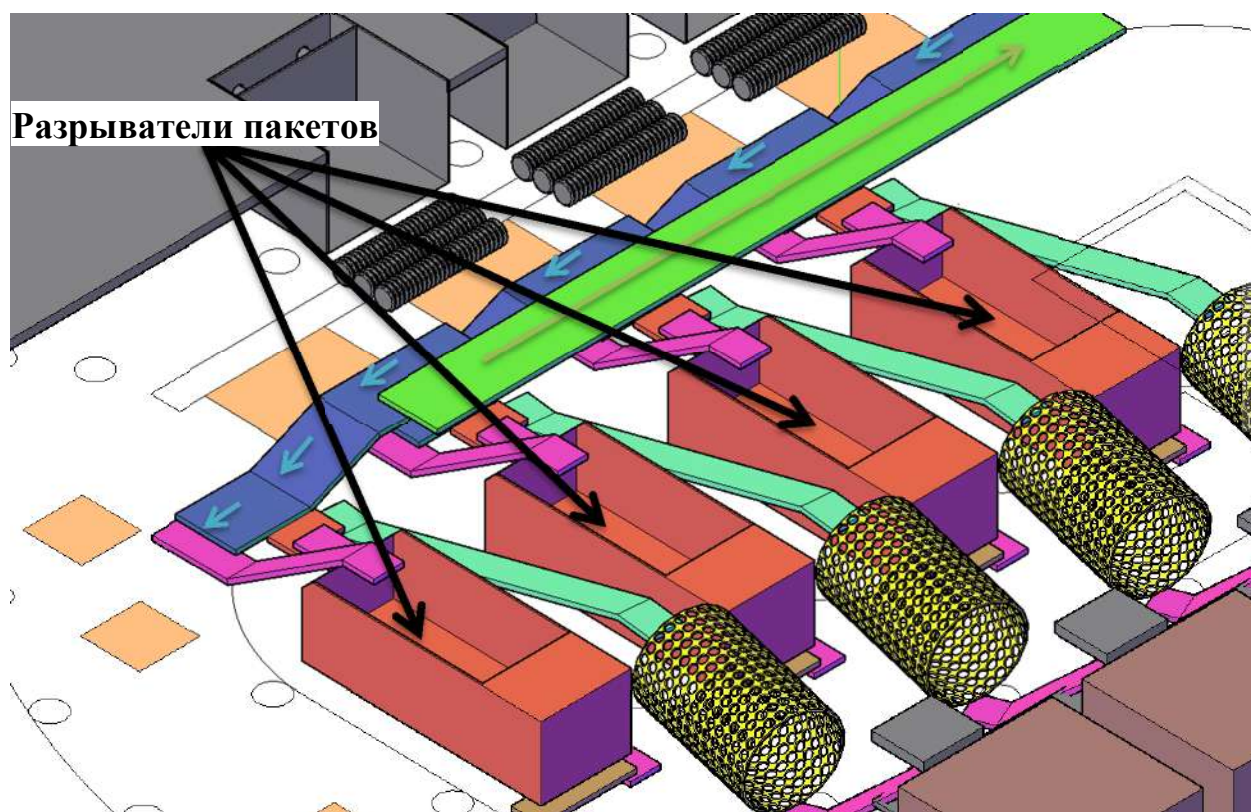


Рис. 3.2. Схема расположения разрывателей пакетов



Следующий этап – это отделение из всей массы мелкой фракции – стекло, пицца, изрезанная бумага, крышки, батарейки и т.д. (для удобства будем называть ее фракция 1.1, первой линии).

После сортировки через валковый сепаратор фракция 1.1 сразу попадает через технологическое отверстие в перекрытии на -2 подземный этаж.

Оставшаяся масса продолжает движение по -1-му подземному этажу.

При дальнейшем движении фракции по конвейерной ленте, происходит магнитное удаление металлических элементов. т.е. отделение чёрного металла от фракции.

На всех четырёх линиях это процедура одинакова, и отсортированный металл попадает на объединённый конвейер, после чего транспортируется в сторону. Далее по конвейерной линии установлено оборудование необходимое для извлечения цветных металлов, где отсортированный цветной металл, так же перемещается на объединенную конвейерную линию и транспортируется в сторону.

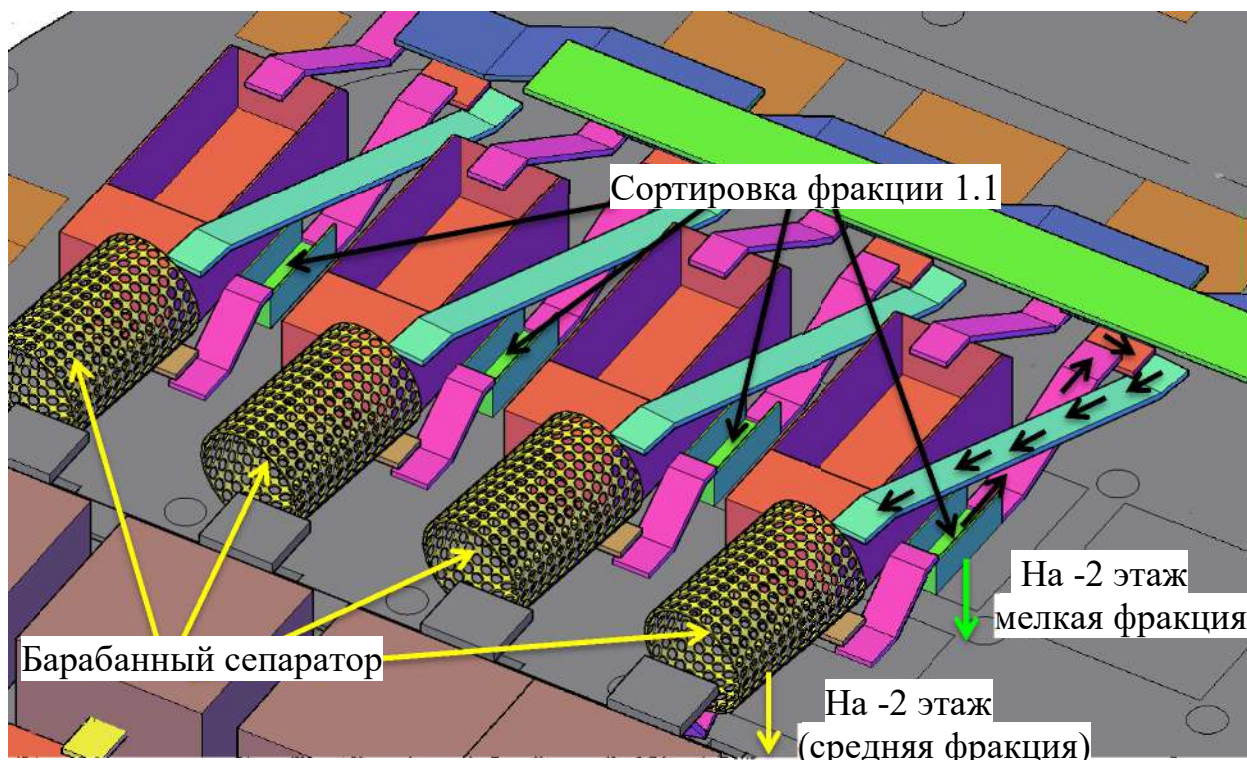


Рис. 3.3. Схема движения отходов по валковому и барабанному сепаратору

Оставшаяся масса продолжает движение по -1 этажу и попадает в барабанный сепаратор средней фракции. Среднюю фракцию первой линии назо-

вем 2.1. Она так же сразу попадает через технологическое отверстие в перекрытии на -2 этаж.

После прохождения барабанного сепаратора осталась только крупная фракция первой линии – назовем ее 3.1.

После извлечения средней фракции, фракция 3.1 попадает в отделение ручной сортировки. Отделение ручной сортировки – это помещение закрытого типа с приточно-вытяжной вентиляцией, искусственным светом и обработкой воздуха и (или) обработкой самих отходов от вредоносных бактерий и запахов. В отделении ручной сортировки, на каждой линии, устроена 2 поста. Задача сотрудников этих постов извлечь из фракции 3.1 крупногабаритное сырье, это крупный картон и полиэтиленовая плёнка.

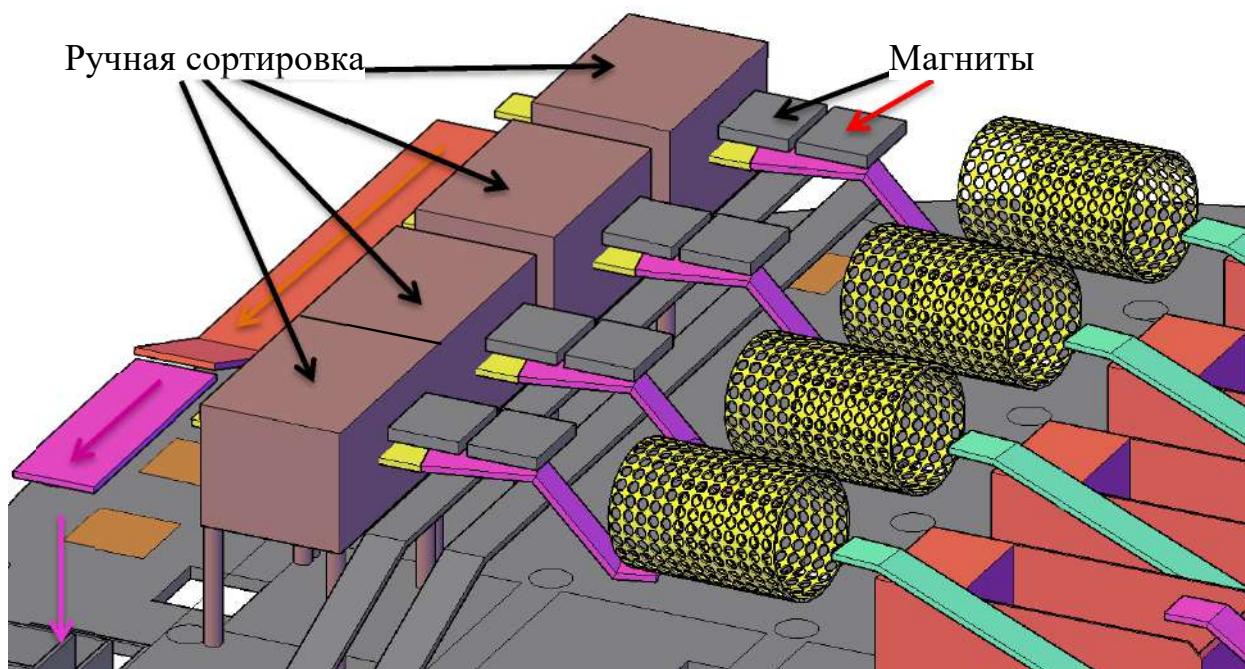


Рис. 3.4. Схема движения отходов через отделитель металлических элементов и пост ручной сортировки

Когда фракция 3.1 прошла ручную сортировку, ее требуется так же транспортировать вниз, как и фракции 1.1 и 2.1.

Из-за стеснённых условий, было принято решение, что фракция 3.1 с первой линии будет опускаться вниз сразу после ручной сортировки через специальную шахту, а фракции 3.2, 3.3, 3.4 (третья фракция со второй, третьей и четвертой линий) будут объединяться на одном конвейере и перемещаться в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

сторону дозировочного оборудования, расположенного над тремя шахтами, предназначенными для опускания материала.

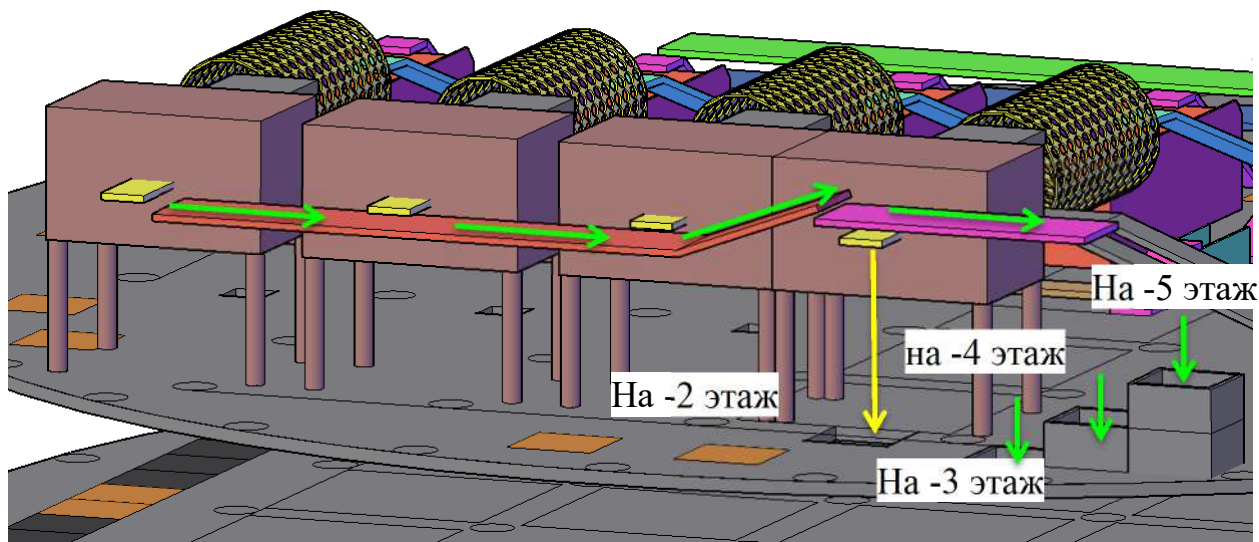


Рис. 3.5. Схема движения отходов через отделитель металлических элементов и пост ручной сортировки

Дозировочное оборудование будет играть роль разделителя общей массы на 3 одинаковые порции. Это вынужденная мера, так как необходимость объединения трех линий в один конвейер обусловлена стесненностью условий, а далее нам необходимо использование этого вида отходов в раздельном виде.

После выполнения всех вышеописанных операций первый этап сортировки можно считать завершенным. На нем была разделена общая масса ТКО на 3 фракции: крупную, среднюю и мелкую. Параллельно с этим, частично, был извлечен черный и цветной металлы и отделены опасные и непригодные для сортировки элементы. На нижерасполоенных этажах происходит дальнейшая сортировка всего объема ТКО.

Схема распределения технологических линий следующая: -2этаж – 1 линия; -3этаж – 2 линия; -4этаж – 3 линия; -5этаж – 4 линия. Все три фракции (1.1; 2.1; 3.1) с первой линии напрямую попадают на -2 этаж и сразу поступают следующий этап сортировки. Фракции со второй, третьей и четвертой линии так же попадают -2 этаж, но сортироваться они будут каждая на своем

этаже. Для чего под перекрытием установлено конвейерное оборудование, позволяющие переместить все фракции в сторону к вертикальным транспортерам, которые переместят каждую фракцию на нужный этаж, для дальнейшей сортировки.

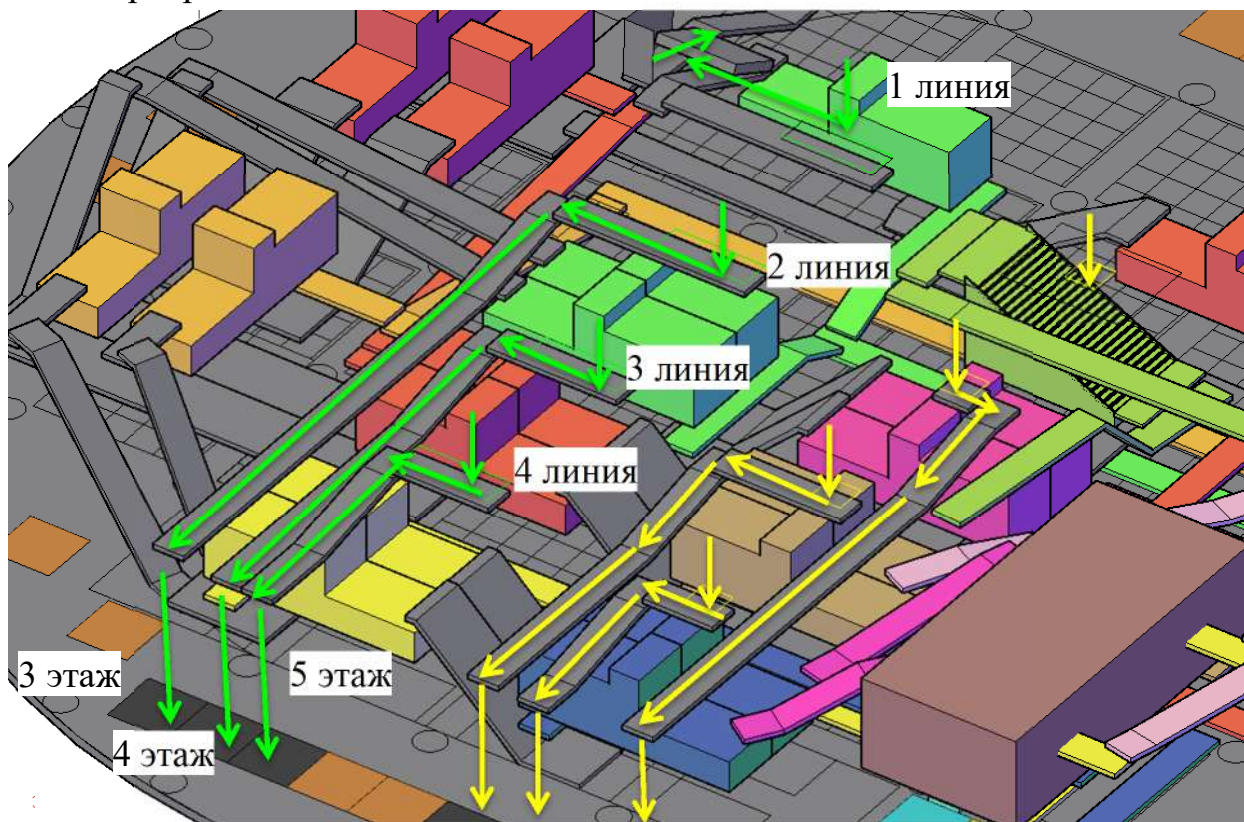
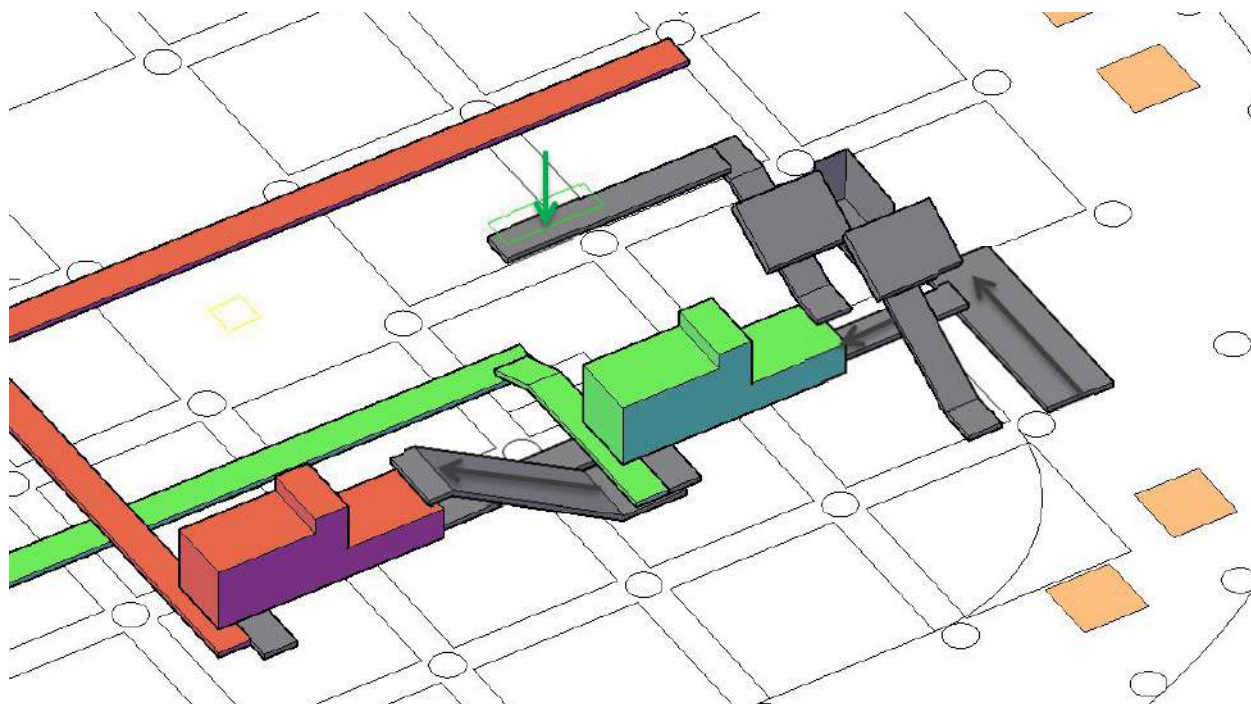


Рис. 3.6 Схема движения линий отходов мелких и средних

Разберем на примере первой линии технологический процесс происходящий далее, после общей сортировки на -1 этаже.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рис. 3.7. Сортировка мелкой фракции на -2 этаже

Фракция 1.1 – это мелкая фракция, из которой последовательно начинают извлекать черный металл, цветной металл, пластик и стекло. Оставшийся материал – «хвост» направляется вниз, по вертикальному подъемнику, для подготовки к процессу сжигания.



Рис. 3.8. Сортировка средней фракции на -2 этаже

Фракция 2.1 – это средняя фракция, которая попадает на баллистический сепаратор, который разделяет среднюю фракцию на 2D (бумага, картон, пленка и т.д.) и 3D (бутылка, тетрапак, объемный пластик, жестяная банка и т.д.) фракции. Это необходимо для корректной работы электронных сепараторов. Далее 2D фракция поставляется на линию ручной сортировки, где происходит извлечение крупного картона, бумаги и разрывание крупных полиэтиленовых изделий. Пост ручной сортировки предусматривает 6 рабочих мест. Обработанную на пункте ручной сортировки фракцию перемешают вниз через технологические шахты. После чего фракция попадает на горизонтальный конвейер и перемещается к вертикальному подъемнику для отправки на этаж прессования.

Далее 2D фракция поставляется на линию, состоящую из нескольких оптических сепараторов, для последовательного отделения из нее картона, бу-

маги, ПЭТ-пленки, пластика. Оставшийся материал – «хвост» направляется вниз, по вертикальному подъемнику на подготовку к процедуре сжигания. В свою очередь 3D фракция направляется на другую линию, состоящую из оптических сепараторов, для последовательного отделения из нее пластиковых бутылок, пластика, стекла и тетрапак-упаковок.

Фракция 3.1 – это крупная фракция, она проходит такие же технологические пути сортировки, как и фракция 2.1.



Рис. 3.9. Технологическая линия сортировки крупной фракции на -2 этаже

Все потоки отсортированных отходов и фракций одного вида, объединяются и по конвейерным линиям доставляются в шахты для опускания на -6 этаж – этаж прессования. Спрессованные тюки по специальным лифтовым шахтам поднимаются в надземную часть сооружения, где складировуются до момента реализации.

Остатки – отходы не подошедшие для дальнейшей переработки и реализации – направляются на -7 этаж – этаж складирования и подготовки отходов к сжиганию, где формируется запас отходов требуемых для обеспечения бесперебойной работы печи. После накопления необходимого количества отходов они опускаются на -8 этаж – этаж сжигания, где подвергаются процессу сжигания.

### 3.2. Подбор технологического оборудования

#### 1. Разрыватель пакетов

Разрыватель пакетов служит для измельчения пластиковых мешков, пакетов и дозировано передачи их содержимого для последующей сортировки и переработки. Открытию подлежи практически вся масса пакетов, даже если они расположены «матрешкой» в нескольких мешках (брак до 5% от общего числа, при отсутствии режущих лезвий, способных повредить содержимое обрабатываемых мешков). Конструкция сделана таким образом, что отсутствует наматывание пакетов на вал.



Рис. 3.10. Разрыватель пакетов Matthiessen SRIIIplus-K4

Характеристики:

Максимальная пропускная способность – 50 т/ч;

Мощность привода – 25 кВт.

#### 2. Барабанный сепаратор

Барабанный сепаратор представляет собой вращающееся сито, в котором поступающий материал разделяется на фракции.

Характеристики:

Максимальная пропускная способность – до 150 м<sup>3</sup>/ч;

Мощность привода – 25 кВт.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		128



Рис. 3.11. Сепаратор барабанного типа

### 3. Сепаратор цветных металлов

Сепараторы цветных металлов применяются для отделения немагнитных металлов (магний, медь, алюминий, цинк, латунь). Вихретоковые сепараторы оснащаются конвейерной лентой с высокоскоростным магнитным ротором на конце. Скорость вращения магнитов генерирует поле индукции, создавая быстро меняющееся магнитное поле. Сепарация основана на принципе временного намагничивания всех электропроводящих частиц, которые находятся в переменном магнитном поле (короткое мгновение все металлические частицы, которые проходят через вихретоковый магнитный ролик, намагничиваются, в результате чего они отталкиваются).



Рис. 3.12. Сепаратор цветных металлов Goudsmit Eddy Xpert

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		129



#### 4. Горизонтальный пресс для вторичного сырья

Прессы предназначены для компактирования вторсырья самых разнообразных типов: бумаги, картона, газет, журналов, полимерной пленки, ПЭТ-бутылок, алюминиевых и жестяных банок, бытовых отходов, измельченных промышленных отходов и др., с целью сокращения площадей и рациональности перевозки транспортом спрессованных тюков на полигон.

Характеристики:

Максимальная пропускная способность – до 720 м<sup>3</sup>/ч;

Мощность привода – 2х55 кВт.



Рис. 3.13. Сепаратор цветных металлов Goudsmit Eddy Xpert

#### 5. Сепаратор баллистический 2D/3D

Баллистический сепаратор применяется для разделения отходов на две фракции. Внутри сепаратора размещается наклонная поверхность, которая совершающая круговые движения. Наклонная поверхность состоит из секций, на которых смонтированы лопасти-зацепы, которые определяют характер движения различных компонентов отходов по физическим параметрам (плоская фракция – пленки, картон, бумага и т.п. и объемная фракция – ПЭТ-бутылки, «Тетрапак» и т.п.). Плоские легкие компоненты при зацеплении лопастями транспортируются вверх по наклонной поверхности, тяжелые объемные компоненты, совершая сложное движение, перемещаются вниз по наклонной поверхности. Обычно секции изготовлены из перфорированных листов металла, поэтому при работе дополнительно отсеивается мелкая

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		130

фракция. Для оптимального использования баллистического сепаратора можно регулировать угол наклона поверхности в зависимости от назначения извлечения требуемых компонентов. Сепаратор данного типа позволяет разрыхлять и равномерно распределять материалы на конвейерных лентах, что способствует более эффективному разделению на компоненты на последующих операциях технологического процесса. Основная цель – разделить среднюю фракцию на 2 конвейерные ленты на 2D (бумага, картон, пленка и т.д.) и 3D (бутылка, тетрапак, объемный пластик, жестяная банка и т.д.) фракции.



Рис. 3.14. Сепаратор баллистический 2D/3D

Характеристики:

Максимальная пропускная способность – 90 м<sup>3</sup>/ч;

Мощность привода – 30 кВт.

### 6. Пункт ручной сортировки

Крупные куски картона, полиэтиленовой пленки, текстиля, резины являются мешающими компонентами при отборе вторичного сырья, что приводит к уменьшению эффективности сортировки отходов. При автоматической и ручной сортировках происходит забивание оборудования (полиэтиленовая пленка наматывается на выступающие и вращающиеся элементы; крупный картон перекрывает извлекаемое вторичное сырье, тем самым создает барьер для датчиков оптической сортировки и персонала предприятия и т.п.)

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		131

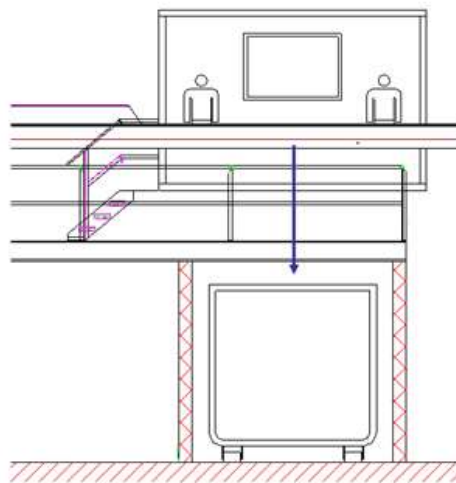


Рис.3.14. Схема пункта ручной сортировки

### 7. Оптическая сортировочная машина

Сепаратор отбирают фракции вторичного сырья, основываясь на их визуальных характеристиках. Самая главная характеристика, на которую опирается оптический сепаратор - цвет. При этом отличия оттенка искомой фракции от однородной массы отходов могут быть минимальными. Сепаратор может также различать светлый и темный продукт, прозрачность и множество других характеристик, таких, как материал.

Такое автоматическое оборудование позволяет извлекать компоненты с гораздо более высокой производительностью, идентифицировать и выделять материалы, неразличимые глазом человека. Основным требованием при сортировке является равномерное распределение отходов по конвейерной ленте.



Рис. 3.15. Оптический сепаратор UNISORT

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		132

## 8. Роторный сепаратор мелкой фракции

Предназначен для автоматического удаления мелкой фракции (камни, земля, песок, мелкая органика и т.п.) из общего потока ТКО с целью повышения качества отбора полезных фракций вторсырья.



Рис. 3.16. Сепаратор мелкой фракции

## 9. Сепаратор черных металлов

Магнитные сепараторы предназначены для отделения металлов от неметаллов, а также черных металлов от цветных. Метод магнитной сепарации заключается в использовании магнитного поля, которое притягивает ферромагнитные соединения, отделяя металлы от основной смеси.



Рис. 3.17. Магнитный сепаратор

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		133

## 10. Ленточный конвейер для транспортировки отходов

Конвейер необходим для перемещения отходов и подачи их непосредственно к оборудованию.

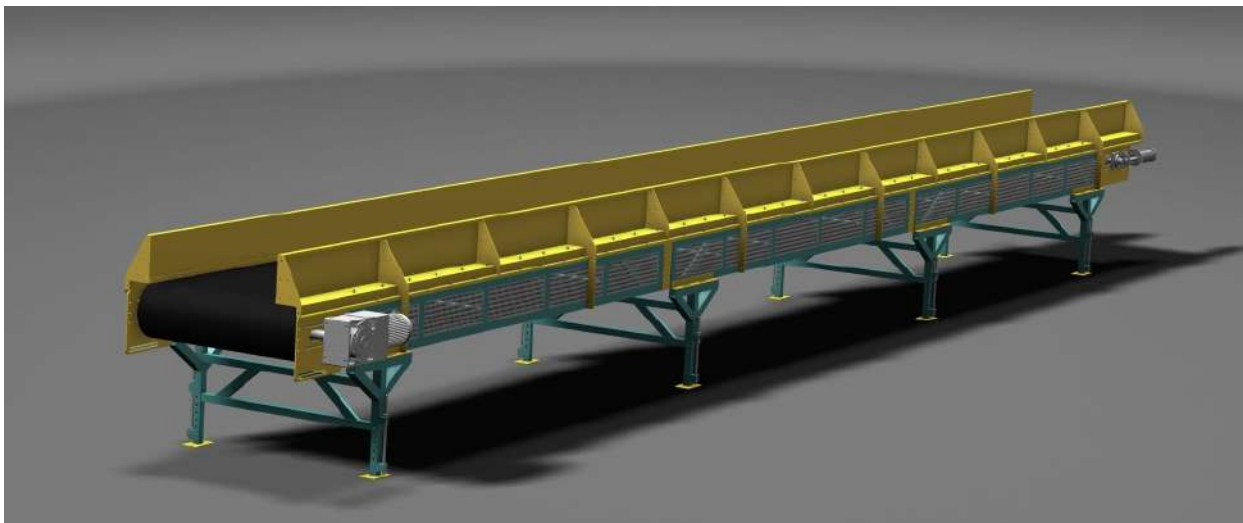


Рис. 3.18. Ленточный конвейер

## 11. Напольный стационарный подъемно-транспортный манипулятор

Стационарный манипулятор - это грузоподъемный гидравлический кран, закрепленный на неподвижном основании, который перемещает крупногабаритные отходы в шредер с последующим измельчением.



Рис. 3.19. Стационарный манипулятор

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		134

## 12. Шредер для измельчение КГО

Шредеры - это измельчители универсального применения, предназначенные для переработки материалов, имеющих значительную толщину и обладающими высокими показателями сопротивления разрушению. Его задача измельчить изделие непригодное для использования, в среднюю фракцию для дальнейшей сортировки и переработки.



Рис. 3.20. Двухвальных шредер ШДП-2000

Табл.3.1.

### Спецификация применяемого оборудования

Наименование	Требуемое кол-во, шт.	Цена за ед. (млн.руб)	Общая цена (млн.руб)
Открыватель пакетов	4	16	64
Барабанный сепаратор	4	4	16
Сепаратор мелкой фракции	4	4	16
Сепаратор черных металлов	8	1,5	12
Сепаратор цветных металлов	8	1,5	12
Ручная сортировка (-1)	4	1	4
Ручная сортировка (-2; -3;-4;-5 этажи)	8	3	24
Оптический сепаратор	72	17	1224
Баллистический сепаратор	8	11	88
Пресс	8	17	136
Конвейера			200
Стационарный манипулятор	1	1	1
Шредер	1	1,5	1,5
		<b>Итого:</b>	<b>1798,5</b>

Фирмами-производителями подобранного оборудования с требуемой пропускной способностью являются иностранные компании. С целью удешевления комплекса рационально разработать российские аналоги оборудования на основе импортного, что позволит сократить затраты приблизительно на 30% до 1,8 млрд. рублей.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		136

### 3.3. Печь для переработки остатков, не подлежащих реализации

В разрабатываемом комплексе в качестве установки по сжиганию отходов предлагается применение печи-агрегата разработанного МИСиС.

Новая инновационная печь НИТУ «МИСиС» основана на барботажном принципе (процесс пропускания газа или пара через слой жидкости), технологические процессы при этом осуществляются в жидкой шлаковой ванне, продуваемой газом. Образующиеся при этом пузырьки сильно ускоряют химические процессы в ванне, и интенсивно перемешивают железистый расплав и шлак.

Это технология появилась благодаря усовершенствованию созданной в МИСиС в 80-х годах технологии Ромелт, и разделению реактор на две зоны: плавильную и восстановительную. Расчеты показали, что при такой конфигурации печи можно снизить расход угля и кислорода на 1 т на 20 – 30 %.

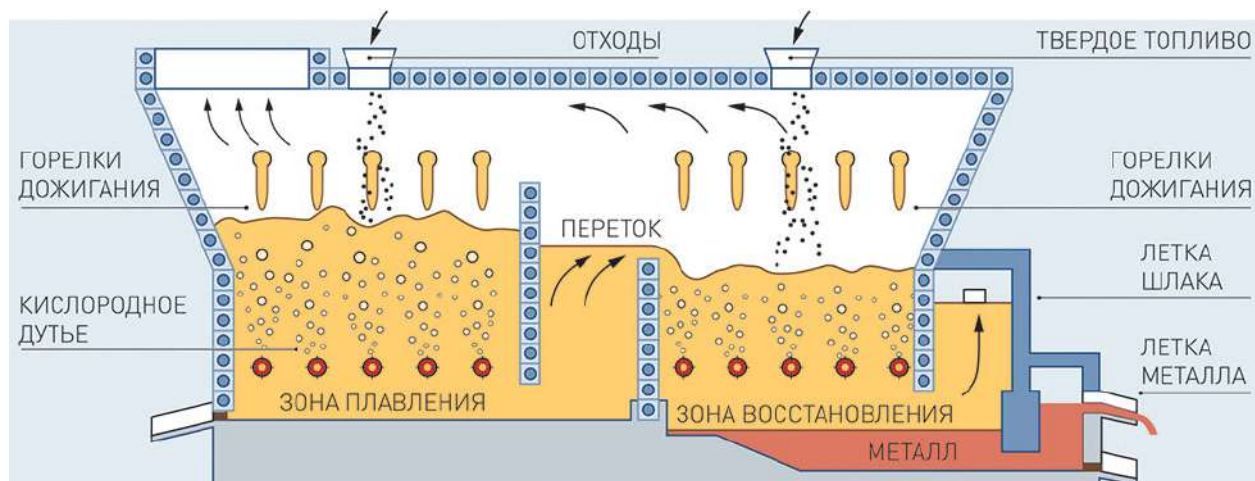


Рис. 3.21. Принципиальная схема двухзонной печи ПМ

Шлаковая ванна и ванна железистого расплава продуваются струей газа с содержанием кислорода 50–99%. Поддерживается температура на уровне 1400 – 1500°C. На поверхность ванны расплава подаются железосодержащие материалы, энергетический уголь, флюсующие добавки. Уголь, попадающий на поверхность расплава, вовлекается шлаковыми потоками в нижние зоны ванны, где за счет кислородного потока, происходит его горение до углекислого газа и паров воды. Далее расплав перетекает в восстановительную зону, где происходит его окончательное восстановление до чугуна. Ряд цветных металлов также восстанавливается до металла, и удаляются с отходящими га-



зами из печи. Далее они улавливаются в пыли, и образуют еще один товарный продукт — концентрат цветных металлов.

Технология являются изначально экологически ориентированной, т.к. в ней предусмотрено подавление образования особо опасных токсинов.

В технологии по сжиганию мусора печи МИСиС нет вообще никаких отходов, ни золы, ни вредных газов, даже отсутствует труба для их выброса. Нет необходимости в дорогой системе газоочистки, так как диоксины и фураны при сжигании вообще не образуются. В технологии предусмотрено блокирование их возникновения.

Котел-утилизатор установки вырабатывает до 2,5 тонны энергетического пара в час, а в год — 432 тысячи тонн. Это позволяет производить более 4320 мегаватт электроэнергии.

### **3.4. Оборудование по обеспечению энергетической автономности**

Для обеспечения энергетической автономности комплекса было запроектировано применение солнечных панелей для производство электроэнергии из солнечной энергии, а также создание инновационной установки аккумулирующей энергию – гравитационная башня.

#### **3.4.1. Солнечные панели**

Солнечная панель – это устройство, предназначенное для преобразования энергии солнца в электрическую энергию.

Каждая солнечная батарея устроена как блок из некоторого количества модулей, объединяющих в себе последовательно соединенные полупроводниковые фотоэлементы.



Рис. 3.22. Солнечная панель, состоящая из множества фотоэлементов

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		138

Принцип работы солнечной панели основан на фотоэлектрическом эффекте. Солнечные панели вырабатывают постоянный ток, с помощью которого они заряжают аккумуляторы. Аккумуляторы в свою очередь, могут сразу питать какой-либо приемник, например, лампочку или зарядное устройство, или подсоединяться к инвертору напряжения для преобразования в переменный ток и дальнейшего использования в электросети.

Обычно материалом, который выступает в роли фотоэлектрического преобразователя, является кристаллический кремний, но это может быть и теллурид кадмия.

К преимуществам применения солнечных панелей можно отнести следующее:

1. Бесшумный и высоко экологичный способ получения электроэнергии. При эксплуатации не используются невозобновимые ископаемые, отсутствуют отходы;

2. Возможность избежать сбоев в производстве, возникающих из-за исчезновения энергии в основной сети. Так как сейчас многие циклы автоматизированы, внезапное исчезновение питания может принести заводу огромные убытки;

3. Обширная область применения. Панели могут применяться как в сельской местности, в городе, так и в космосе. Могут располагаться на крыше, земле, крепиться к стене, т.к. легко монтируются в горизонтальном, вертикальном или наклонном положении;

4. Инновационность. Данная область постоянно модернизируется, подвергается инновациям. Мощность и производительность панелей увеличивается, габариты снижаются, эффективность эксплуатации увеличивается даже в неблагоприятные периоды.

Отрицательные стороны применения солнечных панелей:

1. Необходимость в больших первоначальных вложениях;

2. На данное время большая зависимость от облачности;

3. Необходимость очистки от пыли и грязи в промышленных районах.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						139
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проблемы, возникающие в процессе эксплуатации.

В зимнее время, при маленьком угле наклона панели, ее необходимо очищать от снега, а в летнее время от пыли и грязи. Панель на «пыльной» местности при загрязнении может терять до 35%, а снег способен полностью закрыть панель от попадания солнечного излучения. Необходимо систематически производить очищение панелей.

Если солнечная панель установлена под углом 35° и больше к горизонту, то снег самостоятельно скатывается с панели. С увеличением угла наклона панели повышается способность к естественной самостоятельной очистке от снега. При больших осадках снег будет скапливаться внизу, у основания панели, и появиться необходимость убирать накопленный снег с крыши.

При расположении солнечной панели под небольшим углом, снег может скапливаться на ней. При работе панелей, они нагреваются до плюсовой температуры. Если количество осадков было относительно небольшим, то панель может растопить снег и наледь. При больших осадках снег может быть очищен вручную.

Безопасный для панели способ уборки снега это мягкая щетка или установка автоматической системы очистки. Например, системы автоматического подогрева солнечных панелей. Такие системы автоматически определяют, что панели покрыты снегом и начинают их обогревать и благодаря собственному весу снег начинает скатываться. Так же можно использовать воздушные дувки и сдувать снег с панели и крыши.

При скоплении грязи или пыли панель можно очистить мягкой щеткой или помыть водой.

Современные панели прочны и при атмосферных осадках в виде льда, выдерживают льдинки достаточно крупных размеров.

При продолжительных грозах для защиты солнечных панелей от короткого замыкания и пожара может быть установлена внешняя система молниезащиты. Система внешней молниезащиты состоит из трех компонентов: молниеприемников, воспринимающих прямой удар молнии; заземляющего

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						140
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

устройства, обеспечивающего растекание тока в земле, и токоотводов, осуществляющих связь между двумя первыми элементами.

Комплектация системы солнечных панелей.

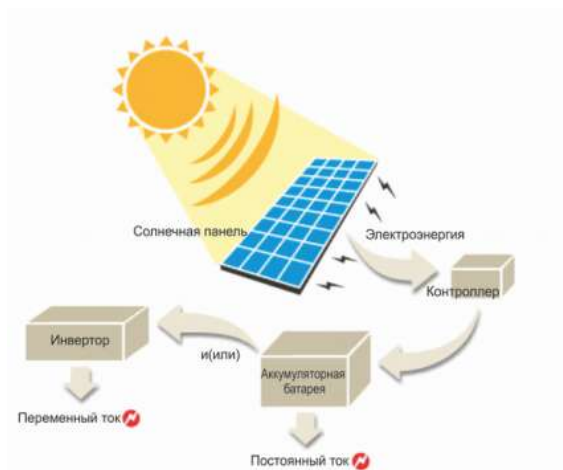


Рис. 3.23. Комплектация солнечных батарей

Комплект для устройства солнечной электростанции состоит из:

- а) Солнечные панели;
- б) Аккумулятор;
- в) Контроллер напряжения;
- г) Инвертор, или преобразователь энергии.

Существует несколько разновидностей фотоэлементов для солнечных батарей, которые отличаются между собой строением кристаллов кремния.

Выделяют три вида фотоэлементов:

- Поликристаллические. Они являются более дешевым, но менее эффективным, поскольку, если кремний нанесен поликристаллическим способом, то прямолинейное движение электронов невозможно.
- Монокристаллические. Эти фотоэлементы отличаются максимальным КПД, который достигает 25 %. Стоимость таких батарей выше, но для получения 1 киловатта нужна существенно меньшая площадь фотоэлементов, чем при использовании поликристаллических панелей.
- Аморфные. Из аморфного кремния изготавливают гибкие фотоэлементы, но их КПД самый низкий и составляет 4-6 %.

По техническому принципу электрификацию солнечными элементами делят на:

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						141
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Открытые системы - солнечная панель подключена к общей электросети. В таком случае необходимость приобретения аккумулятора и контролера отсутствует. Солнечные батареи подсоединяются к общей сети с помощью инвертора. Если потребляемая мощность не превышает ту, которую производят панели, то из общей электросети ток не берется. В случае, когда вы включили приборы повышенного энергопотребления, и батареи не могут их обеспечить током, электричество берется из общей сети. Особенностью является то, что если тока не будет в основной сети, то батареи работать не станут.

- Закрытые системы (автономные) - они замкнутые и не требуют внешней сети. Энергия накапливается в аккумуляторе и расходуется по мере необходимости.

- Комбинированные системы. Комбинированные сети не получили широкого распространения, так как они дороги. Сложная конструкция объединяет тип открытой и закрытой системы. При излишке электроэнергии, вырабатываемой батареями, ее можно перенаправить в общую сеть.

Факторы, влияющие на эффективность использования солнечных панелей.

На эффективность фотоэлементов и солнечных панелей из них влияют ряд факторов. В числе основных можно назвать следующие:

- погодные и климатические условия;
- смена дня и ночи;
- неравномерность освещения;
- загрязнение;
- необратимые потери.

Для обеспечения максимальной эффективности солнечная панель должна быть ориентирована точно на солнце. Чтобы этого достичь иногда применяются поворотные системы с системой автоматического слежения за положением Солнца, но это дорогостоящий способ. Более дешевым и простым способом является ориентация панелей на юг.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						142
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Пыль и влага, оседая на поверхности солнечных панелей также негативно сказываются на их эффективности. Поэтому необходимо регулярно проводить мероприятия по очистке поверхности солнечных батарей от пыли и грязи. Иногда поверхность солнечных панелей покрывают специальным составом, уменьшающим степень загрязнения поверхности солнечной батареи.

Солнечные панели подключаются к нагрузке с помощью специального контроллера управления фотоэлектрическими системами. Главная функция этого устройства - согласование внутренних сопротивлений и нагрузок. Применение этого устройства обеспечивает оптимальный режим работы солнечных панелей.

Ключ к повышению эффективности солнечных батарей лежит в уменьшении необратимых потерь солнечной энергии в процессе взаимодействия солнечного света и вещества, из которого изготовлены фотоэлементы. Уменьшение необратимых потерь в фотоэлементах приведет к увеличению их КПД. В среднем на рынке, КПД солнечных эксплуатируемых сейчас панелей не превышает 25%. В лабораториях ведутся работы по увеличению этого показателя. Увеличение КПД всего на один или два процента уже считаются хорошим результатом. В средствах массовой информации можно найти информацию о том, что КПД отдельных фотоэлементов, измеренный в лабораторных условиях, приближается к 45%.

Гидрометеорологические данные по городу Челябинск, требуемые для расчета солнечных панелей.

Важными показателями для правильной ориентации панели является количество солнечных дней, осадков и дождливых дней, а так же угол высоты стояния Солнца над горизонтом.

По данным гидрометцентра России в городе Челябинск наиболее дождливыми периодами являются апрель, май и июль, выпадает до 53,0 мм осадков.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		143

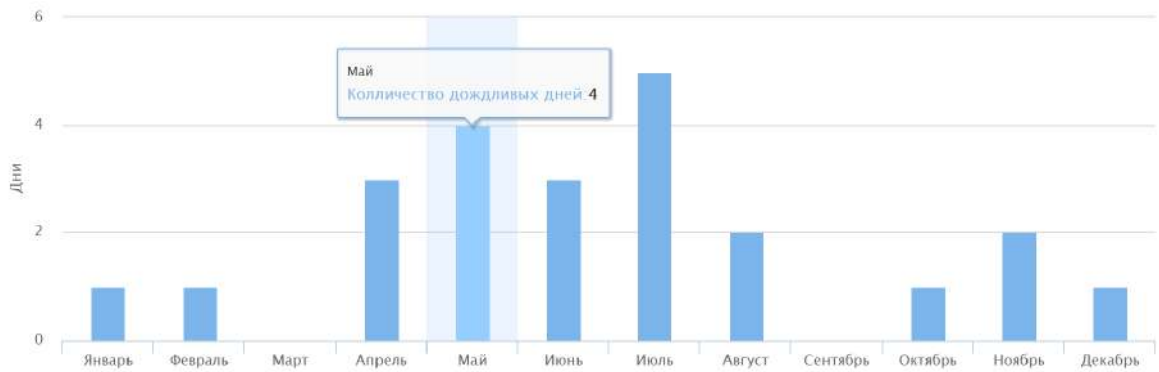


Рис. 3.24. График количества дождливых дней по месяцам

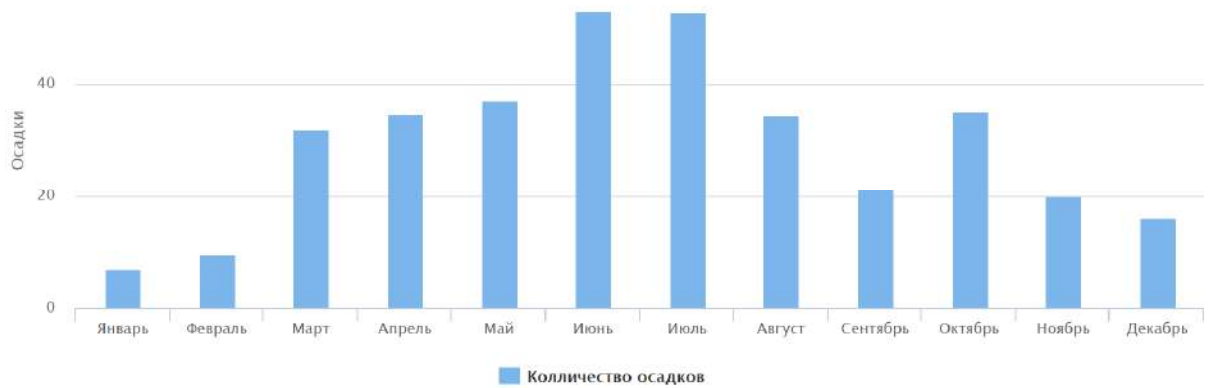


Рис. 3.25. График количества выпадающих осадков по месяцам

Наибольшее количество солнечных дней отмечено в июле, августе и июне. Наименьше количество солнечных дней ноябре, марте и декабре.

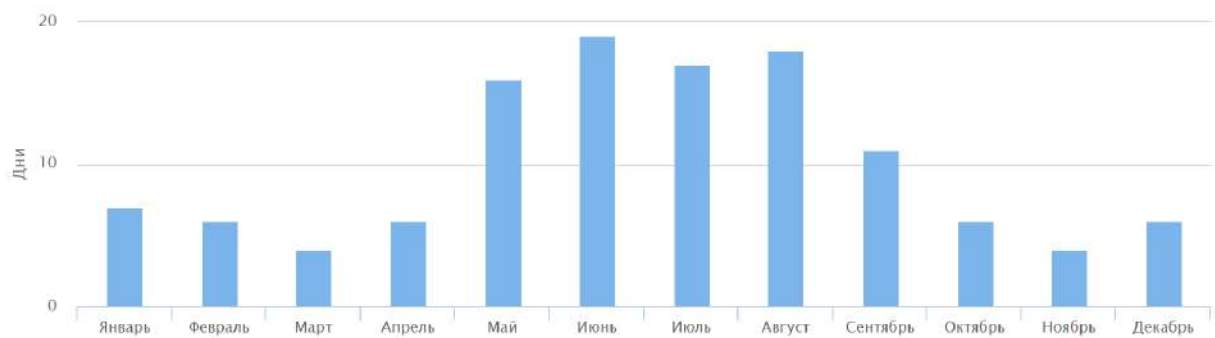


Рис. 3.26. График количества солнечных дней по месяцам

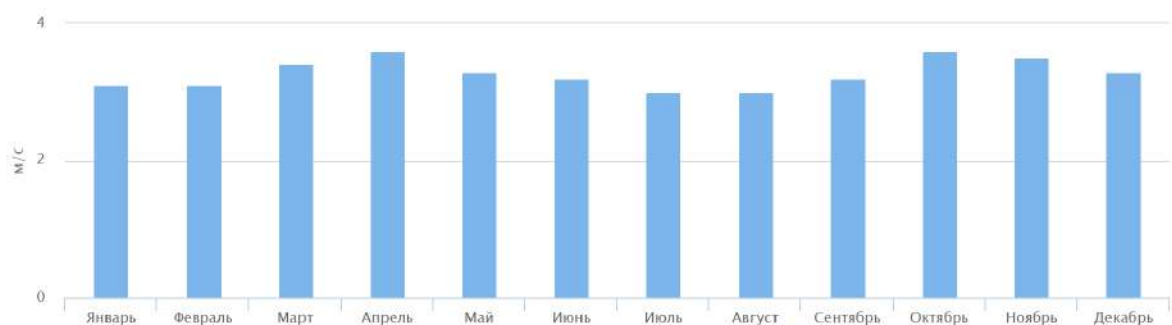


Рис. 3.27. График распределения скорости ветра по месяцам

### 3.4.2. Расчет положения солнечных панелей

Для правильного проектирования расположения солнечных панелей необходимо произвести расчет угла наклона панели к горизонту, а также расстояния между соседствующими рядами панелей.

Для того чтобы верно расположить солнечные панели необходимо рассчитать угол наклона панели к горизонту исходя из места их.

Зная геометрические параметры панели, и рассчитав угол наклона, можно правильно вычислить расстояние между рядами панелей.

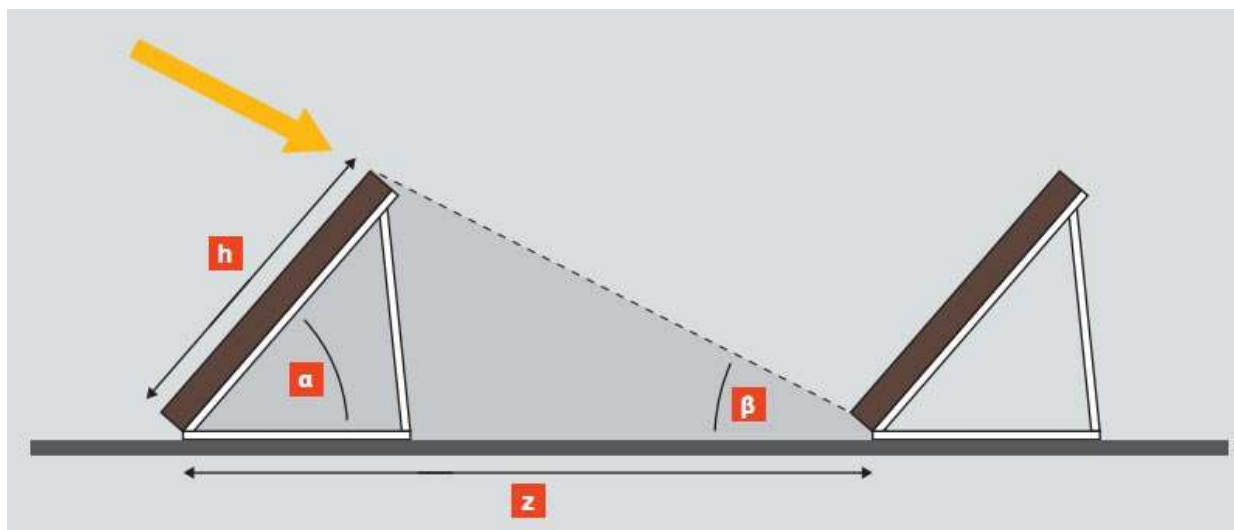


Рис. 3.28 Геометрическая схема угла установки расчета панели  
 $z$  – расстояние между рядами панелей;  $\alpha$  – угол наклона солнечной панели;  $\beta$  – угол высоты стояния Солнца над горизонтом;  
 $h$  – высота солнечной панели

Согласно данным об осадках, количества дождливых дней и количества солнечных дней в году, можно сделать вывод о самых благоприятных месяцах для наилучшего КПД панелей (конец весны, лето, начало осени).

#### 1) Угол высоты стояния Солнца над горизонтом

Согласно данным приведенным для города Челябинск об угле наклона солнечных лучей к горизонту, выбираем средний угол характерный для летний период года равный  $55^\circ$ .

Изменение угла летом:  $44,03^\circ - 58,28^\circ$  и в зимний период:  $11,4^\circ - 32,5^\circ$ .

Отклонение от оптимальных значений до 5 градусов считаются незначительными и не способствуют высоким потерям производительности.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						145
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Также рекомендуется при постоянном угле наклона панели в течении года рассчитывать угол наклона равный примерно широте города, в котором будут установлены панели (город Челябинск – 55°).

Табл.3.2.

Угол наклона солнца над горизонтом

Месяц	Град
Декабрь	11,4 - 13,29
Январь	11,72 – 17,04
Февраль	17,31-26,3
Март	26,67-38,4
Апрель	38,79-49,14
Май	49,45-56,53
Июнь	56,68 – 58,28
Июль	53,47 – 58,04
Август	44,03 – 53,23
Сентябрь	32,64 – 43,67
Октябрь	21,24 – 32,25
Ноябрь	13,46 – 20,91

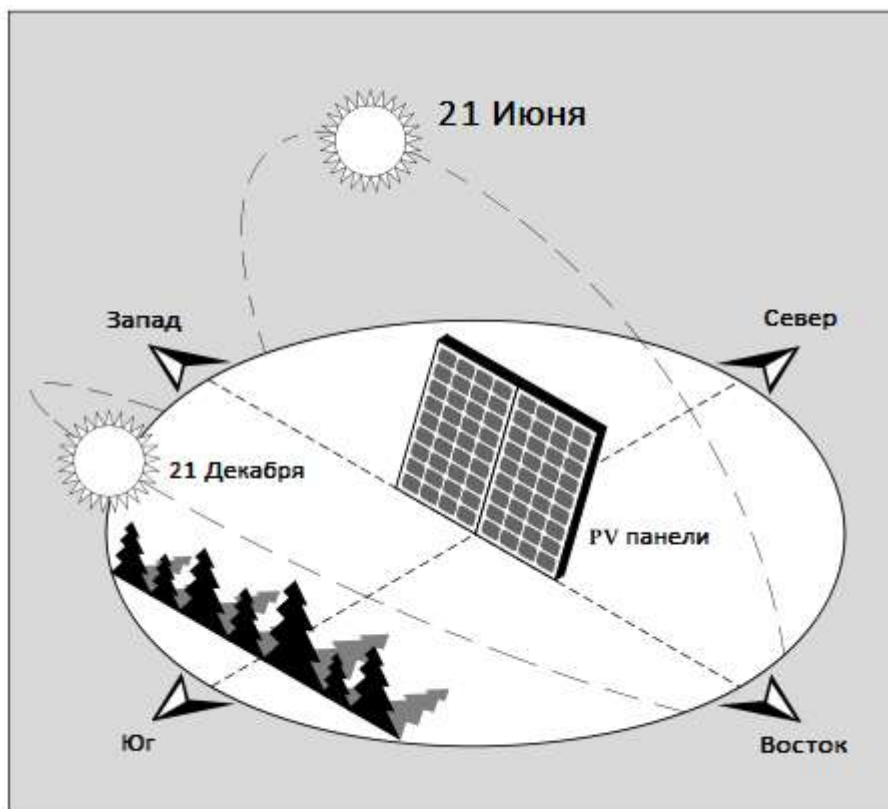


Рис.3.29 Движение солнца в зимний и летний месяц

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Приведенный ниже график показывает влияние регулировок угла наклона на производительность. Бирюзовый линия показывает количество энергии, которую можно получать каждый день, если монтаж солнечных электростанций, установка солнечных батарей произведена на фиксированный оптимальный угол наклона. Красная линия показывает количество солнечной энергии, которую можно получить при регулировании угла наклона четыре раза в год. Фиолетовая линии показывает количество солнечной энергии в день, если солнечные батареи установлены на зимний угол. Для сравнения, зеленая линия показывает энергию, которую вы получили бы от двух осевой трекерной системы слежения, которая всегда ориентирует панели прямо на солнце. Цифры представлены для 40° широты.

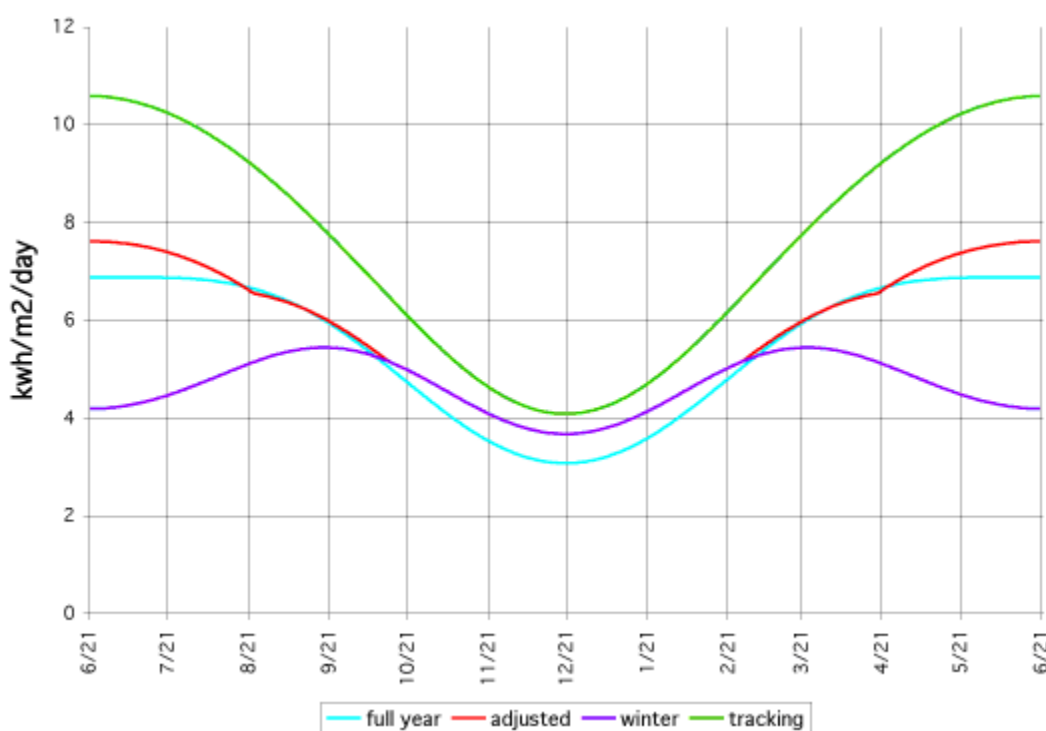


Рис. 3.30. График влияния регулировок угла на производительность

Если конструкция позволяет изменять угол наклона солнечных панелей, то необходимо производить изменения угла два раза в год.

Расчетная формула имеет вид:

$$\frac{z}{h} = \frac{\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{\sin\beta}, \text{ где}$$

$z$  – расстояние между рядами панелей;

$h$  – геометрический размер солнечной панели в зависимости от расположения (ширина);  $h = 990$  мм

$\alpha$  – угол наклона солнечной панели к горизонту;

$\beta$  – угол высоты стояния Солнца над горизонтом.

Положение панели будет менять 2 раза в год, для увеличения производительности в зимнее и летнее время. В летнее время расположим панель более горизонтально, а в зимнее более вертикально.

#### 1) Расчет расстояния между панелями в летний период

Угол наклона солнечной панели к горизонту в летний период принимаем равным  $\alpha = 40^\circ$ . Т.к. это оптимальный угол наклона панели к горизонту при изменении угла высоты стояния Солнца над горизонтом  $44^\circ - 58.28^\circ$ . Выполним расчет для граничных углов.

При  $\beta = 44^\circ$ ,  $z = L = \frac{\sin(180^\circ - (40^\circ + 44^\circ))}{\sin 44^\circ} = 1.432$  м – min необходимое расстояние

При  $\beta = 58.28^\circ$ ,  $z = L = \frac{\sin(180^\circ - (40^\circ + 58.28^\circ))}{\sin 58.28^\circ} = 1.164$  м – min необходимое расстояние

В летний период необходимо 1.5 м расстояние между панелями при угле наклона панели  $40^\circ$  к горизонту.

#### 2) Расчет расстояния между панелями в зимний период.

Угол наклона солнечной панели к горизонту в зимний период принимаем равным  $\alpha = 70^\circ$ . Т.к. это оптимальный угол наклона панели к горизонту при изменении угла высоты стояния Солнца над горизонтом  $11.4^\circ - 32.5^\circ$ . Выполним расчет для граничных углов.

При  $\beta = 11.4^\circ$ ,  $z = L = \frac{\sin(180^\circ - (70^\circ + 11.4^\circ))}{\sin 11.4^\circ} = 4.98$  м – min необходимое расстояние

При  $\beta = 32.5^\circ$ ,  $z = L = \frac{\sin(180^\circ - (70^\circ + 32.5^\circ))}{\sin 32.5^\circ} = 1.817$  м – min необходимое расстояние

В зимний период необходимо 4.98 м расстояние между панелями при угле наклона панели  $68^\circ$  к горизонту.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						148
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Примем расстояние между панелями 2.5 м

(В зимнее время при 11.4° тень будет заходить на 0,5 на ширину панели)

Примерное количество панелей 1728 при размере в сечении в пределах 1650x990

Рассмотрим солнечные панели разных российских компаний, ориентировочная мощность которых составляет около 300 Вт.

Табл.3.3.

Солнечные панели от ЗАО «Телеком-СТВ»

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.	Цена/Мощность
TSM-290A	290	1633×996×40	18,5	28920	99,72
TSM-230A	230	1338×988×40	17,4	24840	108,00
TSM-270A	270	1633×996×40	18,5	27360	101,33

Табл.3.4.

Солнечные панели от группы компаний «Nevel»

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.	Цена/Мощность
НТТ	300-330	1671×1002×40	19	18000	58,00
JAM72-365/PR	365	1960x991x40	22	22500	61,7

Завод по производству солнечных модулей расположен в городе Новочебоксарск, Республика Чувашия.

Табл.3.5.

Солнечные панели АО "РЗМКП"

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.	Цена/Мощность
RZMP-220-M	270	1650x990x36	18,5	13000	48,15
RZMP-260-M	260	1650x990x36	18,5	11500	44,23
RZMP-270-M	270	1650x990x36	18,5	13000	48,15

## Солнечные панели компании Delta

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.	Цена/Мощность
DeltaBST 300-24M	300	1640x990x35	19	15402	51,34
DeltaBST 360-24M	360	1950x990x40	23	16900	46,94
DeltaBST 280-24P	280	1640x990x35	19	12510	44,68
DeltaBST 330-24P	330	1950x990x40	23	14280	42,67
DeltaSM2 50-24P	250	1640x992x40	18	10780	43,12

## Сводная таблица подходящих панелей

Модель	Мощность, Вт	Габариты, мм	Вес, кг	Цена, руб.	Цена/Мощность
TCM-290A	290	1633×996×40	18,5	28920	99,72
НТ	300-330	1671×1002×40	19	18000	58,00
RZMP-270-M	270	1650x990x36	18,5	13000	48,15
DeltaBST 300-24M	300	1640x990x35	19	15402	51,34

Принимаем для расчета солнечную панель группы компаний «Nevel» мощностью 320 Вт, габариты которой 1650 x 990.



Рис. 3.31. Крепление солнечной панели на плоскую крышу

										Лист
										150
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Установка солнечных панелей может быть проведена несколькими методами, в зависимости от типа крыши. Т.к. у нас крыша плоская то в данном случае вам необходим металлический каркас. Он имеет наклонную плоскость, которая специально предназначена для того, чтобы прикреплять солнечные панели на крышу под определенным углом наклона. Вертикальная стойка будет регулироваться 2 раза в год для смены угла наклона солнечной панели к горизонту.

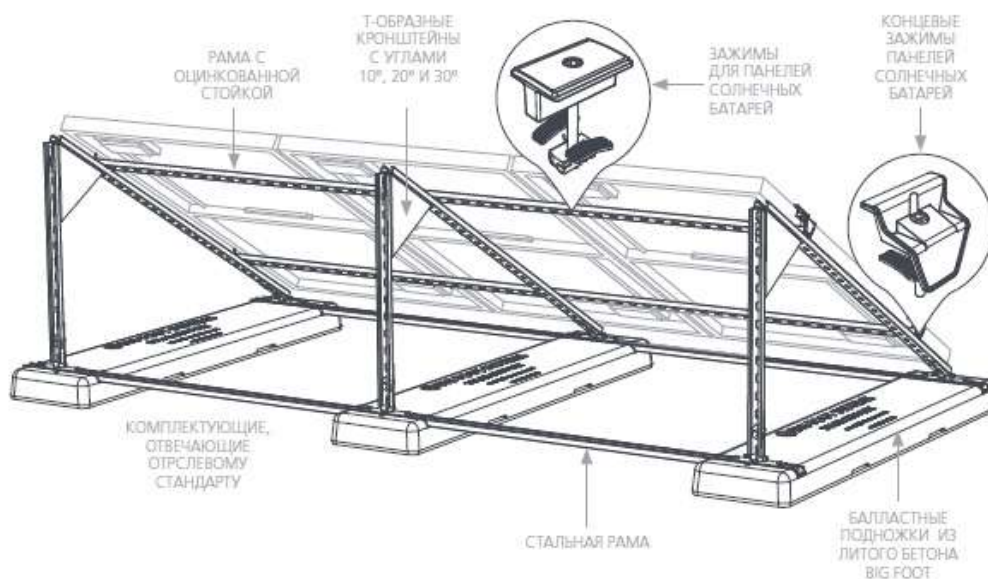


Рис. 3.32. Опорная конструкция для солнечной панели

Монтаж солнечных батарей выполняется следующим образом. Вначале собирают каркас – специальные опорные рамы из алюминиевого профиля, собранного в единую конструкцию для крепления группы из нескольких модулей. Такая конструкция устанавливается на небольшие бетонные подножки, которые выступают в роли балласта.

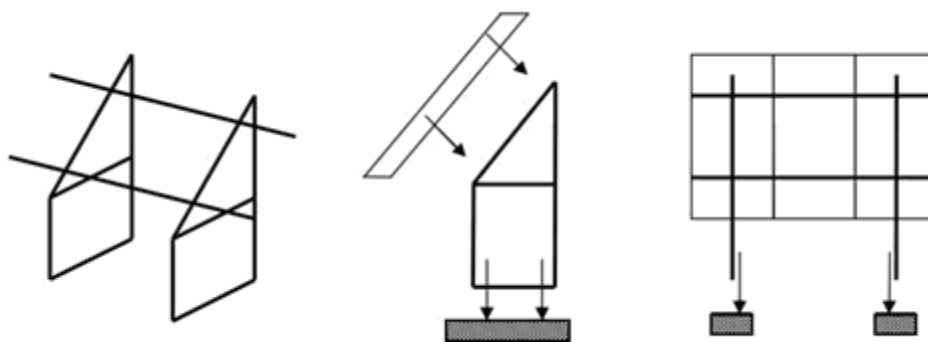


Рис. 3.33. Схема опорной конструкции на цельной бетонной опоре

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

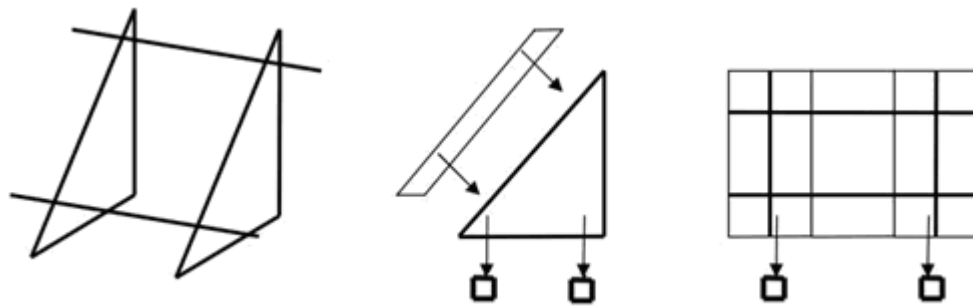


Рис. 3.34. Схема опорной конструкции на отдельных бетонных опорах

### 3.4.3. Расчёт мощности солнечных батарей

При расчете учитывается только активное рабочее время на протяжении которого батареи способны работать на полной мощности. Активная фаза длится 7 часов с 9 утра до 16 часов вечера. В летнее время года этот промежуток длиннее, за счет увеличенного светового дня. В вечернее время работа системы будет снижаться на 70-80%.

Для расчета принимаем панель геометрическими размерами 1650x990 мм, мощность 320 Вт, количество панелей 1728 шт.

Ориентировочная стоимость комплекта из 1728 панелей будет составлять 25 млн руб. В каждый комплект входит: фотоэлектрический модуль, инвертор, солнечный кабель, MC4 коннекторы, электрический щит, опорные конструкции (опционально).

Панель мощностью 320 Вт необходимо рассчитать на выработку в самый солнечный летний месяц и самый пасмурный зимний месяц.

Формула расчёта энергии генерируемой солнечными панелями:

$$E = \frac{I \times K_0 \times K_{\text{пот}} \times V_{\text{модуля}}}{U_{\text{испыт}}}, \text{ где}$$

$I$  — интенсивность солнечного излучения, попадающее на поверхность Земли в горизонтальной плоскости,  $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{м}^2}$ .

Значение можно выбрать, воспользовавшись картой интенсивности солнечной радиации:

## Значение солнечная радиации для г.Челябинск в сутки по месяцам

Месяц	Солнечная инсоляция, кВт · ч/м <sup>2</sup>
Январь	1,64
Февраль	2,73
Март	4,29
Апрель	5,12
Май	5,52
Июнь	6,02
Июль	5,75
Август	4,73
Сентябрь	3,85
Октябрь	2,68
Ноябрь	1,94
Декабрь	1,61
<b>Среднее в течение года</b>	<b>3,83</b>

В таблице приведена интенсивность солнечного излучения при оптимальном для каждого месяца угле наклона панели.

Солнечные панели испытываются в стандартных условиях - 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Поэтому для отражения действительно вырабатываемого количества электроэнергии необходимо учитывать истинные показатели интенсивности солнечного излучения. В декабре при солнечной инсоляции равной 1,61 кВт·ч/м<sup>2</sup> · день, а в июне 6,02 кВт·ч/м<sup>2</sup>·день

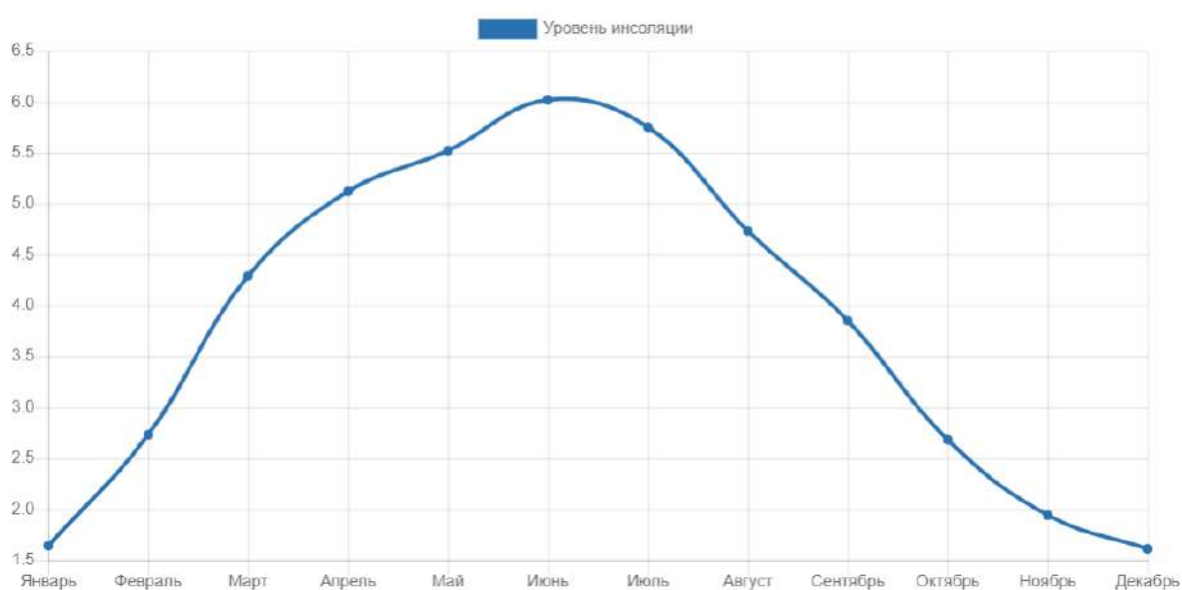


Рис. 3.35. Уровень солнечной инсоляции по месяцам



$K_0$  — поправочный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность солнечных панелей. Данные можно взять из следующей таблицы:

Табл.3.9.

Среднемесячный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность панели

Месяц	Угол наклона солнечной панели к горизонту, град			
	30	45	60	90
Январь	1,3	1,37	1,37	1,18
Февраль	1,35	1,43	1,44	1,23
Март	1,24	1,27	1,23	0,98
Апрель	1,1	1,07	0,99	0,69
Май	1,02	0,95	0,84	0,53
Июнь	0,98	0,9	0,78	0,47
Июль	0,99	0,92	0,81	0,49
Август	1,07	1,02	0,93	0,62
Сентябрь	1,2	1,21	1,15	0,88
Октябрь	1,34	1,41	1,4	1,18
Ноябрь	1,32	1,4	1,4	1,21
Декабрь	1,41	1,52	1,56	1,39

Для нашего расчета в январе и июне коэффициент будет равен соответственно 1,3 и 0,6.

$V_{\text{модуля}}$  — номинальная мощность солнечной панели. Указывается в паспортных данных, кВт;

$K_{\text{пот}}$  — коэффициент, учитывающий потери солнечной панели при преобразовании и передаче электроэнергии;

$U_{\text{испыт}}$  — интенсивность солнечной радиации, при которой фотоэлектрические модули тестируются (условия STC), то есть  $1000 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ .

Потери энергии в солнечных панелях

Общие потери энергии при преобразовании солнечного излучения в фотоэлектрической системе включают в себя:

- Потери в проводах — 1%;
- Потери в инверторе — 3–7%;
- Потери связанные с ростом температуры модуля — 4–8%;

- потери в процессе работы солнечной батареи в период низкого уровня солнечного излучения – 1–3%
- потери связанные с затенением и загрязнением солнечных панелей – 1–3% (в случае неоптимального ориентирования эти потери могут быть значительно выше)
- потери шунтирующих диодов – 0,5%.

Общие потери примем 20%. Поэтому  $k_{\text{пот}} = 0,8$ .

В зимнее время при наименьшей интенсивности солнечного излучения среднее значение мощности солнечной панели в дневное время будет равен:

$$E = \frac{I \times K_0 \times K_{\text{пот}} \times V_{\text{модуля}}}{U_{\text{испыт}}} = \frac{1.61 \times 1.3 \times 0.8 \times 320}{1} = 590 \text{ Вт} \cdot \text{ч в сутки}$$

За сутки 1728 панелей произведут 1,02 МВт·ч/сутки.

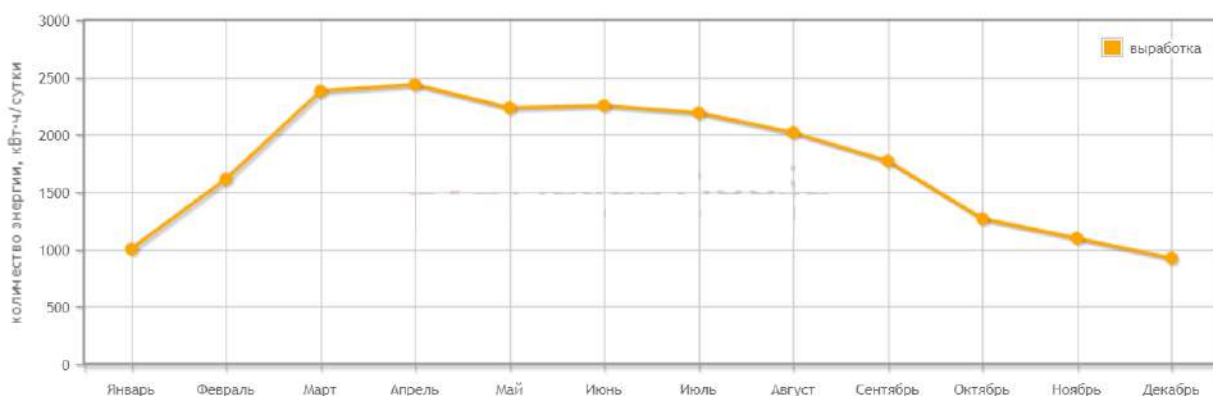


Рис. 3.36. Выработка солнечных панелей при угле наклона 70°

В летнее время при наибольшей интенсивности солнечного излучения среднее значение мощности солнечной панели в дневное время будет равен:

$$E = \frac{I \times K_0 \times K_{\text{пот}} \times V_{\text{модуля}}}{U_{\text{испыт}}} = \frac{6.02 \times 0.95 \times 0.8 \times 320}{1} = 1464 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

За сутки 1728 панелей дадут примерно 2,6 МВт·ч/сутки– это максимальная выработка панелей в летний месяц июнь (максимальная интенсивность солнечного излучений).

Возьмем в летний период среднюю интенсивность солнечного излучения 4 кВт·ч/м<sup>2</sup>, тогда

$$E = \frac{I \times K_0 \times K_{\text{пот}} \times V_{\text{модуля}}}{U_{\text{испыт}}} = \frac{4 \times 0.9 \times 0.8 \times 320}{1} = 922 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Все 1728 панелей за сутки примерно выработают 1.6 МВт·ч/сутки.

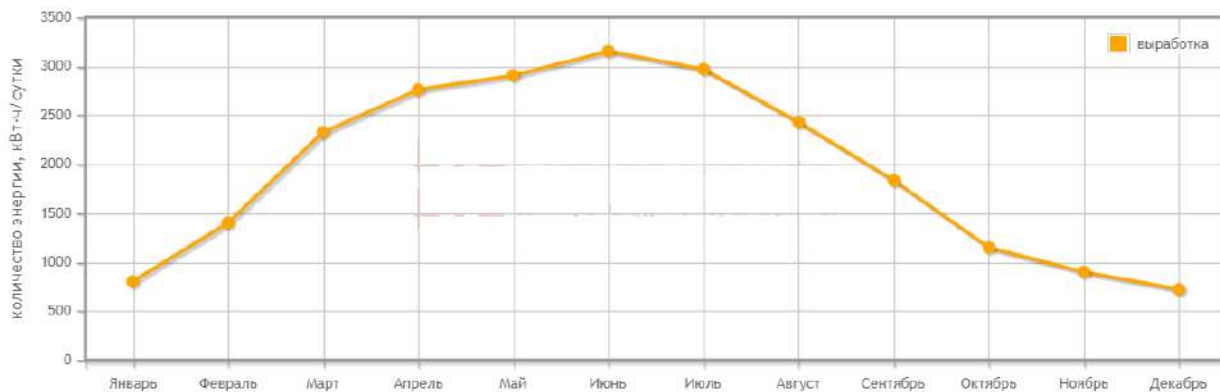


Рис. 3.37. Выработка солнечных панелей при угле наклона 40°

В течение года 1728 панелей будут вырабатывать от 1 до 3 МВт энергии в сутки, с учетом небольшой погрешности отклонения угла падения солнечных лучей (угол меняется 2 раза в год - 40 и 70 градусов) и без учета осадков, которые мешают попаданию солнечных лучей на поверхность солнечной панели.

Для наибольшей выработки электроэнергии можно использовать панели с большей мощностью и разработать крепления солнечной панели к крыше с простым регулированием угла наклона и фиксацией вертикальных стоек по высоте. Так же можно внедрить трекерную систему солнечных панелей, которая отслеживает положение Солнца и ориентирует направленность солнечной панели по нему таким образом, чтобы получить максимальный КПД их работы.

### 3.4.2. Инновационный накопитель энергии – «гравитационная башня»

В качестве дополнительного накопителя электроэнергии вырабатываемого солнечными панелями и печью в процессе сжигания отходов запроектирован накопитель энергии, технология работы которого основана на гравитации.

Принцип его работы заключается в следующем: на этапе накопления энергии груз поднимается вверх на определенную высоту, накапливая потенциальную энергию, а в нужный момент опускается обратно, возвращая эту энергию для необходимого использования. Применение в качестве груза твёрдых тел или жидкостей вносит свои особенности в конструкции каждого типа.

Компании Energy Vault и Idealab (базируются в Калифорнии и Швейцарии) планируют построить первые гравитационные электростанции в 2019 году. Эти электростанции представляют собой комплексы кранов (высота 120 метров, по шесть стрел на башне), 35-тонные бетонные блоки, программное обеспечение для управления перемещением блоков и компоненты системы генерации электроэнергии. Обещанный КПД такой установки составляет до 80-90%, а мощность как у средних ГЭС. Заявленная мощность варьируется в интервале от 2 до 5 МВт. Ориентировочный срок службы составляет не менее 40-50 лет. Материал блоков – бетон.

Революционная технология Energy Vault была основана на принципах работы насосных гидроэлектростанций, которые работают благодаря действию силы гравитации и движения воды для хранения и отдачи электроэнергии.

Решение компании основано на тех же хорошо понятных принципах, которые используются на этих электростанциях, но заменяет воду бетонными блоками, изготовленными на заказ, благодаря чрезвычайно инновационному использованию недорогих материалов. Большие блоки в сочетании с запатентованным проектом системы Energy Vault, а также их запатентованным программным обеспечением на основе алгоритмов, которое соотносит накопление энергии и последующий разряд электричества, в то же время учитывая различные факторы, включая энергоснабжение, изменчивость энергопотребления и погодные условия.

В результате компания может предоставить все преимущества над гидро-системой с насосом, но по гораздо более низкой цене, с более высокой эффективностью в обоих направлениях и без необходимости в конкретной топографии местности и негативного воздействия на окружающую среду или дикую природу.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						157
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рис. 3.38. Схема гравитационной электростанции компании Energy Vault

Предполагаемая энергетическая емкость 35 МВт·ч и пиковая мощность достигающая 4 МВт. При необходимости отдачи 100% мощности она может быть достигнута за 2,9 секунды.

В России в 2019 году планируется строительство новой твердотельной аккумулирующей электростанции. Проект предполагает строительство электростанции высотой 80 м в цилиндрической форме. Благодаря такой форме здание становится устойчивым к ветровым нагрузкам. Станция окружена сетчатой оболочкой, конструкция которой была разработана знаменитым инженером Владимиром Шуховым. Диаметр основания составит 32 м.

Внутри электростанции будут размещены несущий каркас накопителя, грузы и подъемники, плановая мощность сооружения – 4 МВт, ёмкость – 0,5 МВт/ч. Такие параметры являются необходимыми и достаточными для демонстрации полномасштабных узлов ТАЭС в действии и проведения необходимых испытаний над ними.

В нашем случае гравитационная электростанция будет представлять собой подземную цилиндрическую башню, находящийся внутри бетонный цилиндрический блок, который будет подниматься на высоту для зарядки нако-

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						158
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

питателя энергии. При опускании груза начинается вращение оси генератора, благодаря чему происходит выработка электроэнергии.

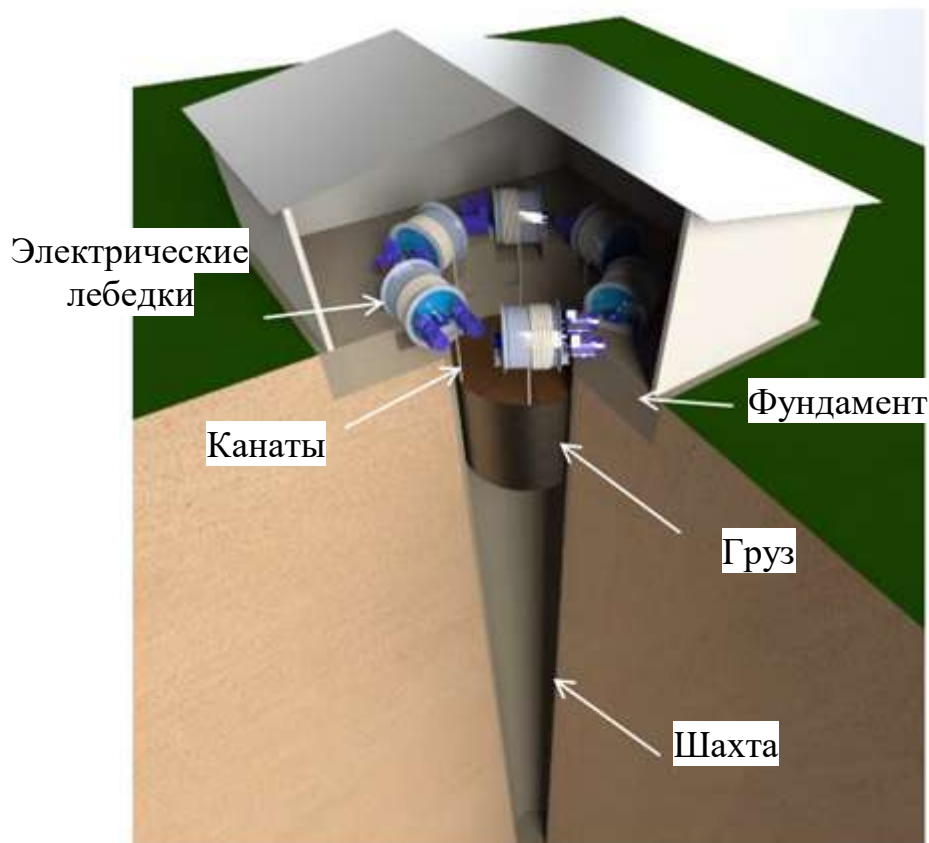


Рис. 3.39. Концептуальный внешний вид подземной гравитационной башни

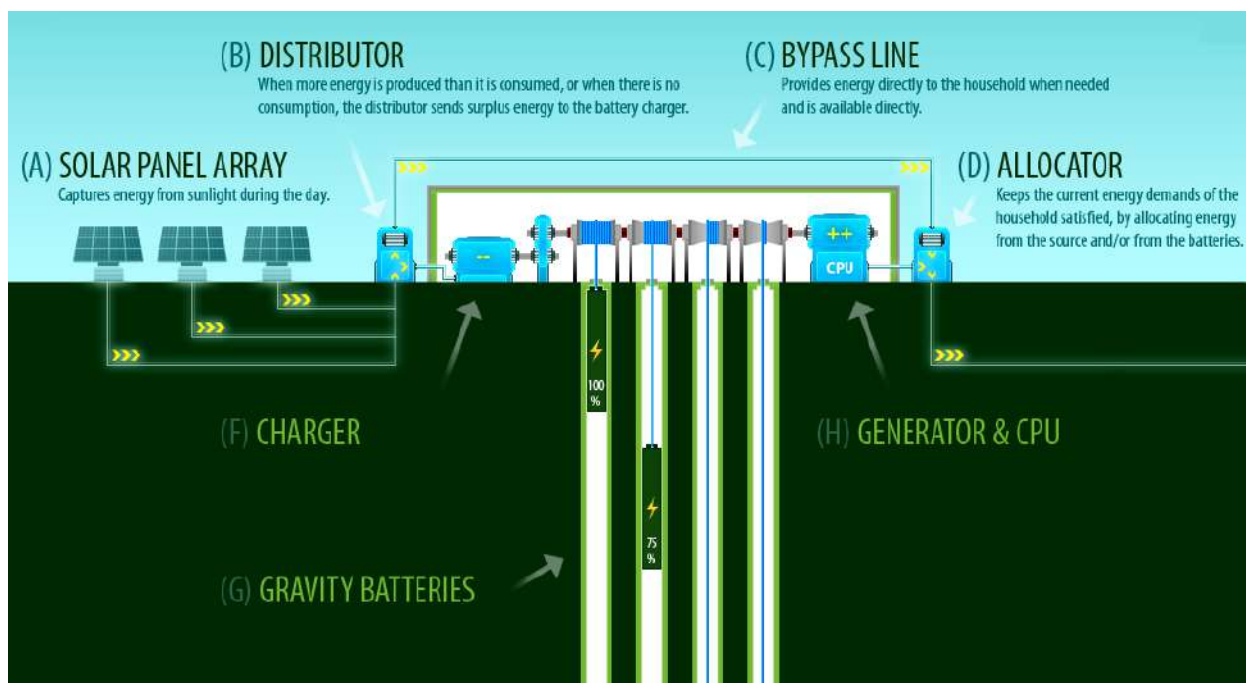


Рис. 3.40. Принципиальная схема комплекса подземных «гравитационных башен»

Произведем расчет возможностей предлагаемой гравитационной установки применяемой в нашем комплексе:

Формула потенциальной энергии тела, находящегося на высоте:

$$E_{\text{п}} = m \cdot g \cdot h,$$

где  $m$  – масса тела (тонна),

$h$  – высота на которую поднято тело (метр),

$g$  – ускорение свободного падения  $9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Примем груз в виде цилиндра из железобетона плотность  $\rho = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , радиусом  $R = 0.5$  м и высотой  $b = 6$  м.

Тогда масса груза равна:

$$m = \rho * b * (\pi * R^2) = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * 6 \text{ м} * 3.14 * (0.5 \text{ м})^2 = 11.775 \text{ т}$$

Потенциальная энергия груза:

$$E_{\text{п}} = 11.775 \text{ т} * 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} * 60 \text{ м} = 6931 \frac{\text{м}^2 * \text{т}}{\text{с}^2} = 6.931 \text{ МДж}$$

Нахождение мощности при времени опускания груза  $t = 1$  час = 3600 с.

$$P = \frac{E_{\text{п}}}{t} = \frac{6931000 \text{ Дж}}{3600 \text{ с}} = 1935 \text{ Вт}$$

Такая мощность будет вырабатываться при опускании 1 груза массой 10 т на 60 м в течении 1 часа, без учета возможности использования редуктора и генератора. Необходимо подобрать и рассчитать такой редуктор, чтобы при опускании на 60 метров данная установка могла выдавать достаточную мощность.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		160

## 4. Технология строительства подземного сооружения

### 4.1. Методика проведения исследования

Входными данными для проведения исследования является информация, приведенная в обзоре состояния вопроса, патентном поиске.

Для ее обработки будут применены инженерный и логический анализ. Результаты, полученные по их итогам, будут приведены в данной главе.

### 4.2. Характеристика возводимого объекта

- Количество этажей: подземных – 10, надземных – 1.
- Высота этажа: подземных – 6 м, надземных – 9 м.
- Каркас подземной части здания представляет собой систему из 73 свай-колонн, монолитных плит перекрытия, самонесущих монолитных стен.
- Каркас надземной части здания – металлические колонны, балки, вертикальные и горизонтальные связи. В качестве ограждающих конструкций приняты сэндвич-панели.
- Форма подземной части здания в плане – круг, диаметр – 25 м.
- Шаг буронабивных свай колонн 6,125 м.

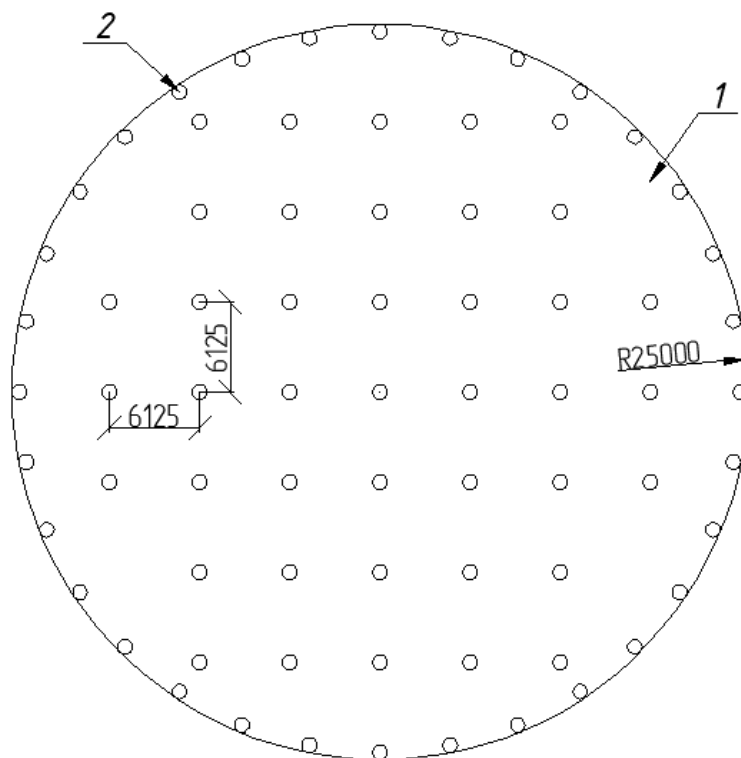


Рис. 4.1. План типового этажа подземной части сооружения

1 – плита перекрытия; 2 – буронабивные свай-колонны

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		161



- Глубина подземной части – 60 м.
- Толщина плиты перекрытия – 300 мм.
- Толщина фундаментной плиты – 1 м.
- Толщина стены – 0,3 м.

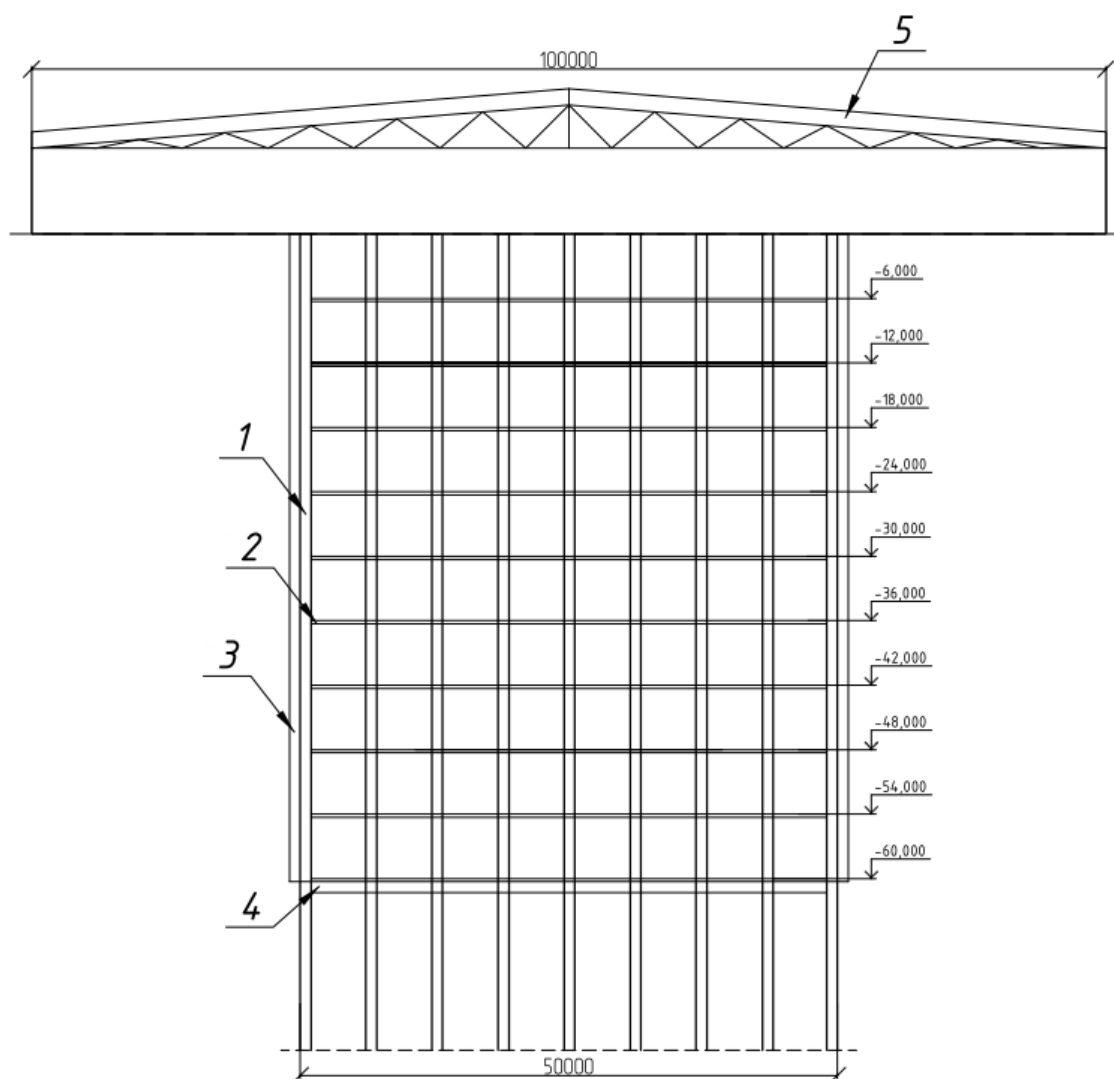


Рис. 4.2. Разрез

1 – буронабивные сваи-колонны; 2 – плита перекрытия;

3 – конструкции стен; 4 – фундаментная плита;

5 – конструкции надземной части (система Линдаб-Астрон)

#### 4.3. Последовательность выполнения работ по устройству подземной и надземной частей комплекса

На подготовительном этапе строительства производится снятие растительного слоя с последующей горизонтальной планировкой и обратной засыпкой несжимаемым грунтом.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		162

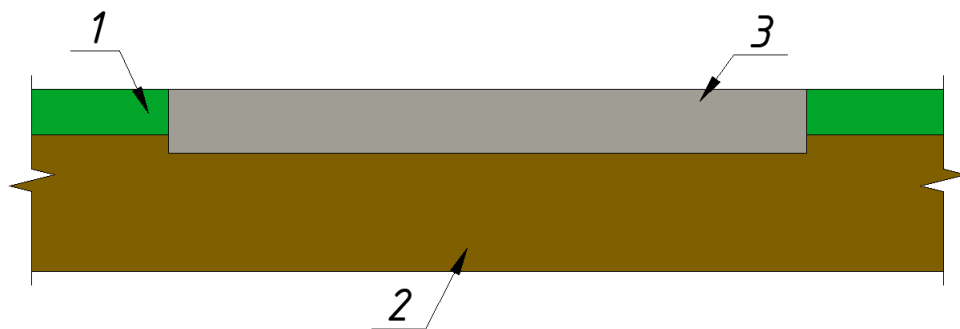


Рис.4.1 – Подготовительный этап

1 – растительный слой грунта; 2 – основной грунт;  
3 – засыпка несжимаемым грунтом

В определенных проектом местах бурятся вертикальные скважины с применением обсадных труб на глубину до 150 м (глубина может варьироваться в зависимости от результатов инженерно-геологических изысканий). Затем, произведя их армирование, производится бетонирование скважин композитным бетоном высокой прочности. Данные сваи также будут являться колоннами будущего подземного сооружения.

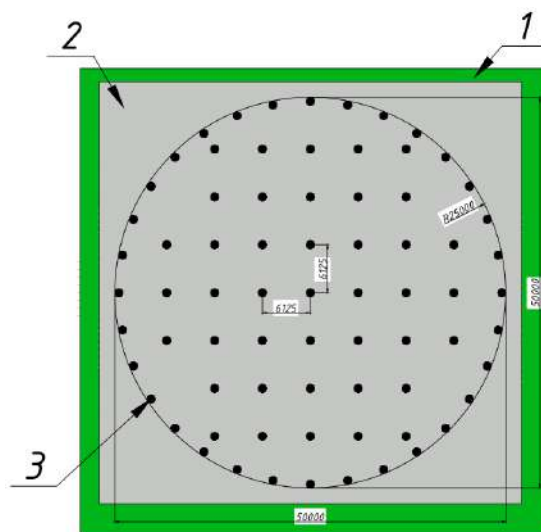


Рис.4.2 – Устройство буронабивных свай. План расположения свай

1 – растительный слой; 2 – несжимаемый грунт;  
3 – буронабивные сваи-колонны

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ

Лист

163

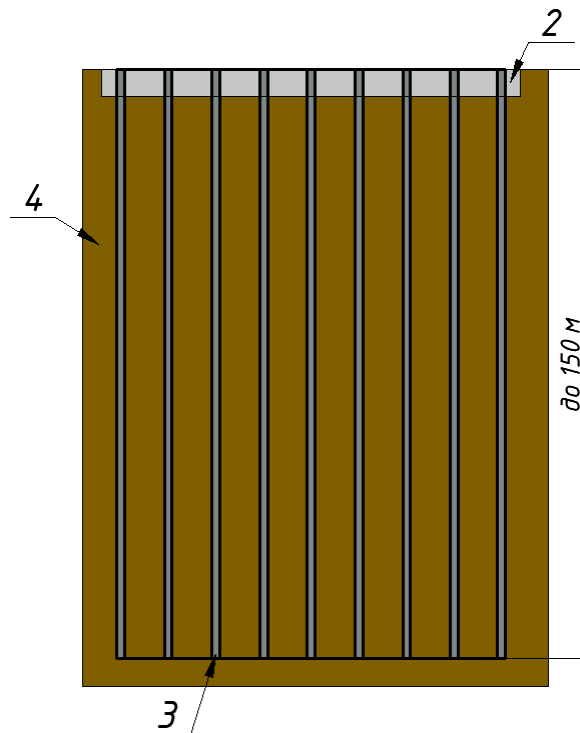


Рис.4.3 – Устройство буронабивных свай. Разрез

- 1 – растительный слой; 2 – несжимаемый грунт;  
 3 – буронабивные сваи-колонны; 4 – основной грунт

Следующим шагом сверху на определенной технологической высоте колонн монтируется рабочая площадка, на которой будут располагаться грузоподъемное оборудование – гидродомкраты для подъема/опускания сооружения, ниже – опалубочная система.

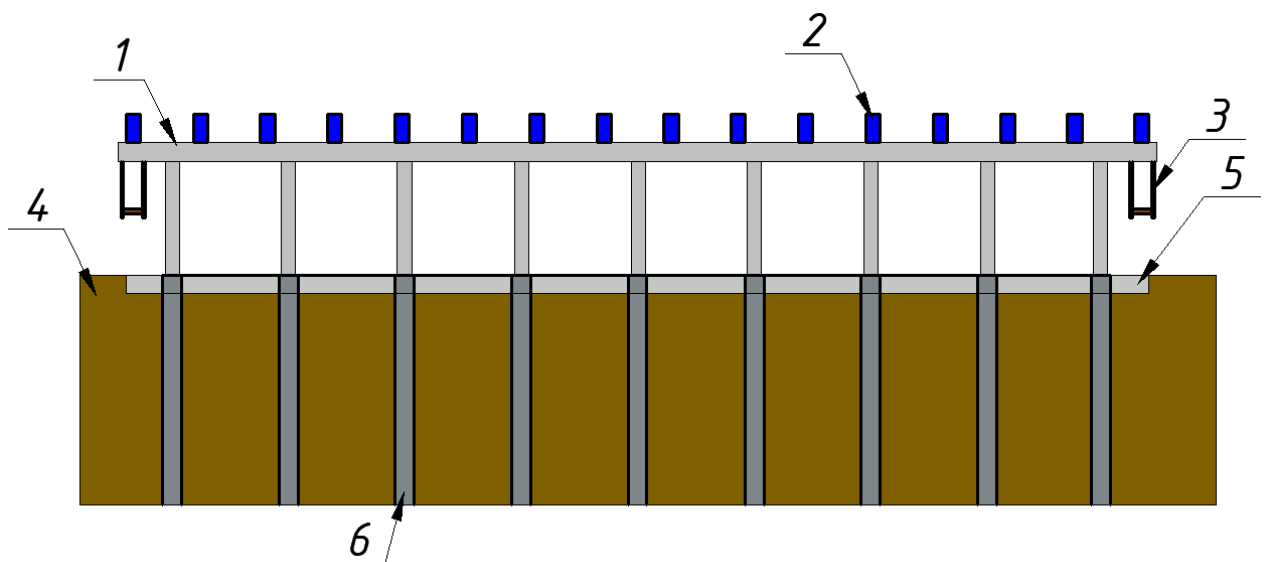


Рис.4.4 – Устройство рабочей площадки

- 1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;

3 – опалубочная система для устройства конструкций стен;

4 – основной грунт; 5 – несжимаемый грунт; 6 – буронабивные сваи-колонны

На горизонтально выровненной поверхности на отм. +0,000, немного уступая в диаметре сооружения, армируются и бетонируются по всей площади плиты перекрытия расчетной толщины, две плиты – одна над другой. После окончания строительства подземной части эти плиты перекрытия окажутся в его основании. Данные плиты перекрытия закреплены на колоннах-сваях и одновременно подвешиваются к гидродомкратам.

В качестве горизонтально выровненной поверхности выступает заранее подготовленная поверхность грунта, на который уложена полиэтиленовая пленка.

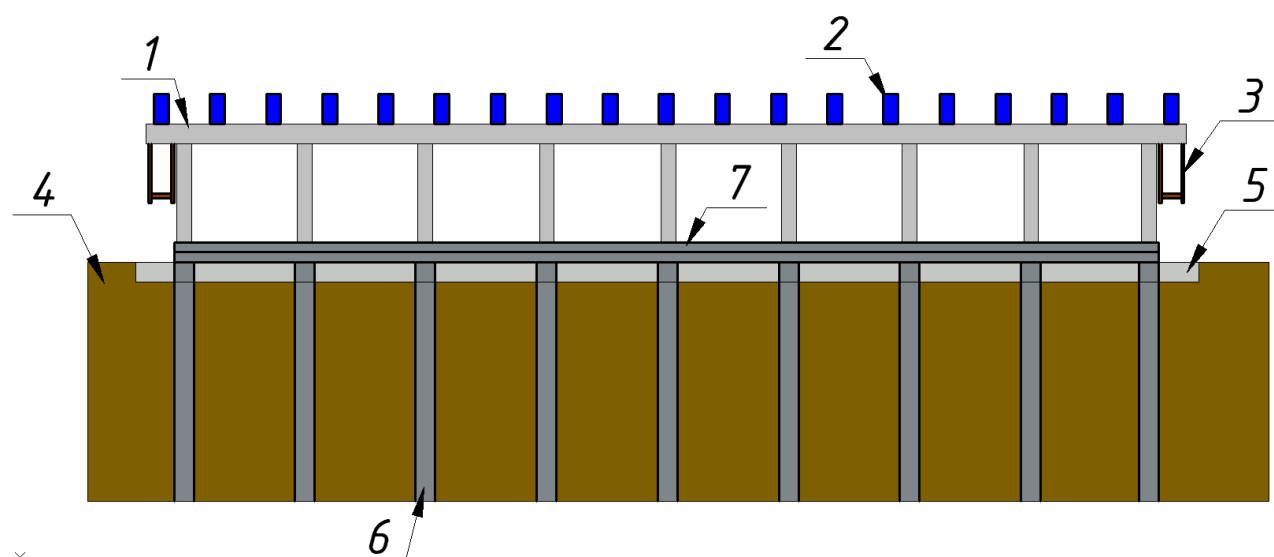


Рис.4.5 – Бетонирование плит перекрытия

1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;

3 – опалубочная система для устройства конструкций стен;

4 – основной грунт; 5 – несжимаемый грунт;

6 – буронабивные сваи-колонны; 7 – забетонированные плиты перекрытия

После набора распалубочной прочности бетона конструкциями плит осуществляется выемка грунта на глубину 9 – 12 м и он перемещается при помощи ленточного транспортера (или другим способом) наружу.

Для обеспечения закрепления грунта стенок котлована в его стенки под углом 25–30 градусов к горизонту устраиваются грунтовые анкеры (анкеры

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		165

своими корнями должны выходить за призму обрушения грунта). С помощью оголовков анкеров закрепляем грунт против обрушения – это временная вертикальная система крепления.

Также возможен вариант навешивания резино-стальных подушек на внешние вертикальные стены, накаченные газом с роликами для лучшего скольжения сооружения вниз. Подушки управляемые и при вибрации грунта увеличиваются или уменьшаются в объеме. Их функция – поглощение сейсмического воздействия на бетонную оболочку сооружения и дополнительная защита от обрушения стенок выемки.

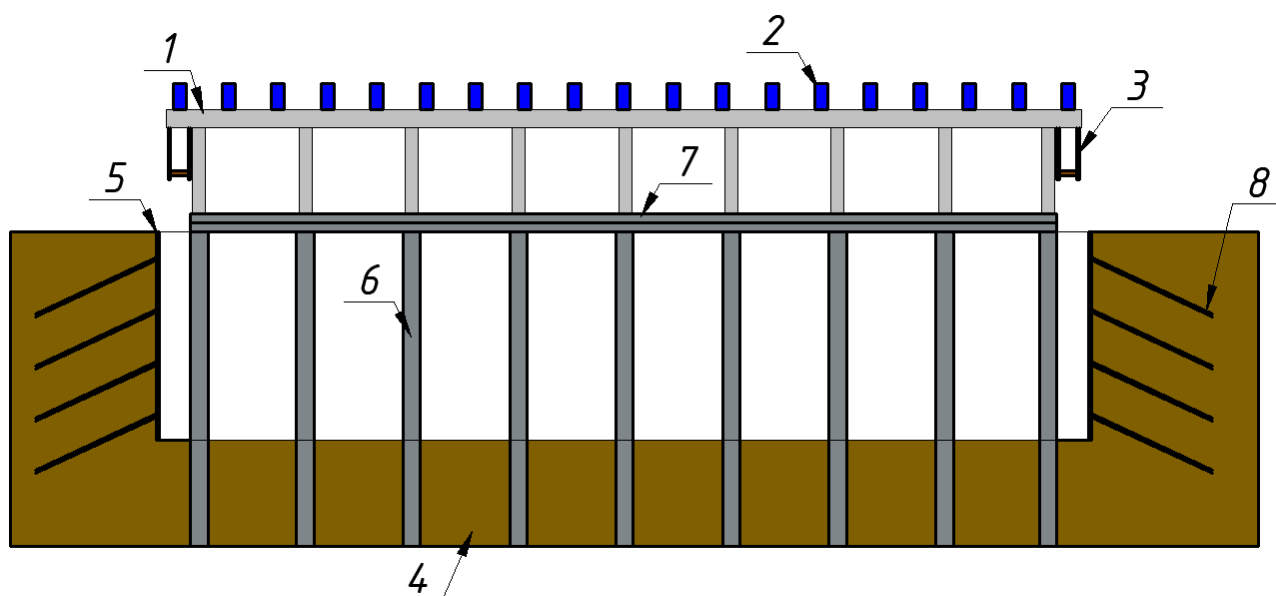


Рис.4.6 – Бетонирование плит перекрытия

- 1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;  
 3 – опалубочная система для устройства конструкций стен;  
 4 – основной грунт; 5 – несжимаемый грунт; 6 – буронабивные сваи-колонны;  
 7 – забетонированные плиты перекрытия; 8 – грунтовые анкеры

Следующий шаг – возведение стен методом опускающегося бетона. Устройство стен ведется до достижения нижним краем стены уровня нижней плоскости первого перекрытия. После чего бетонируют стык между нижней плитой перекрытия и стеной. Для осуществления стыка в стенах перед бетонированием устанавливают заглушки, которые после устройства стены будут извлечены и предоставят доступ к арматуре.

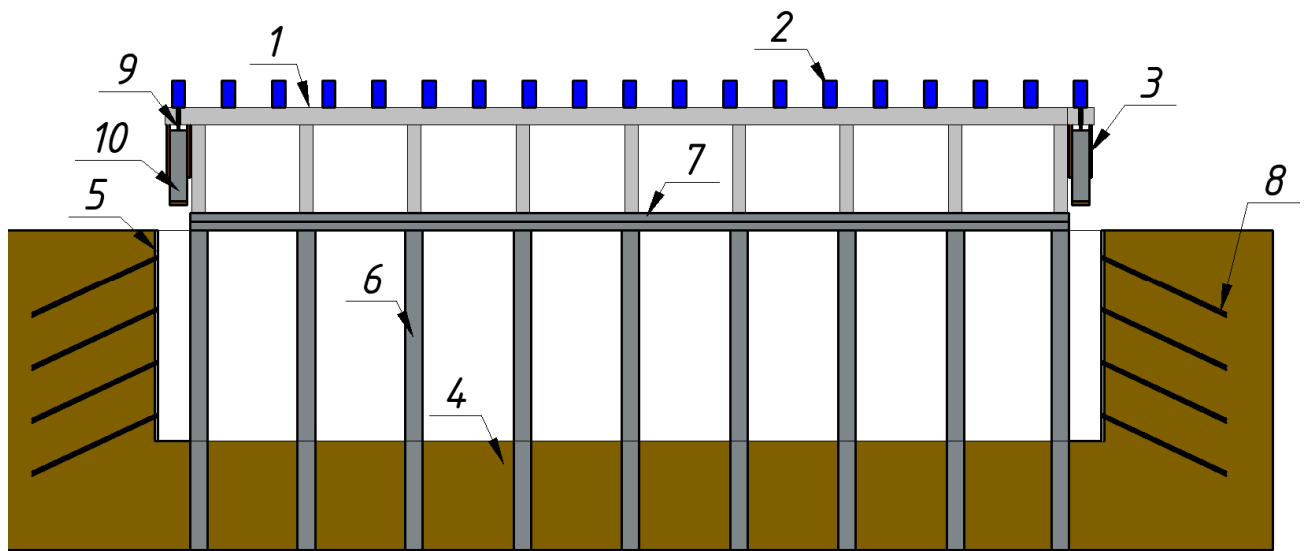


Рис.4.7 – Бетонирование конструкций стен

- 1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;  
 3 – опалубочная система для устройства конструкций стен; 4 – основной грунт;  
 5 – несжимаемый грунт; 6 – буронабивные сваи-колонны;  
 7 – забетонированные плиты перекрытия; 8 – грунтовые анкеры;  
 9 – тяга подъемного механизма; 10 – конструкции стены

Затем переходят к следующему шагу – опусканию при помощи гидродомкратов соединенных нижней плиты и стен, с одновременным дальнейшим возведением конструкций стен.

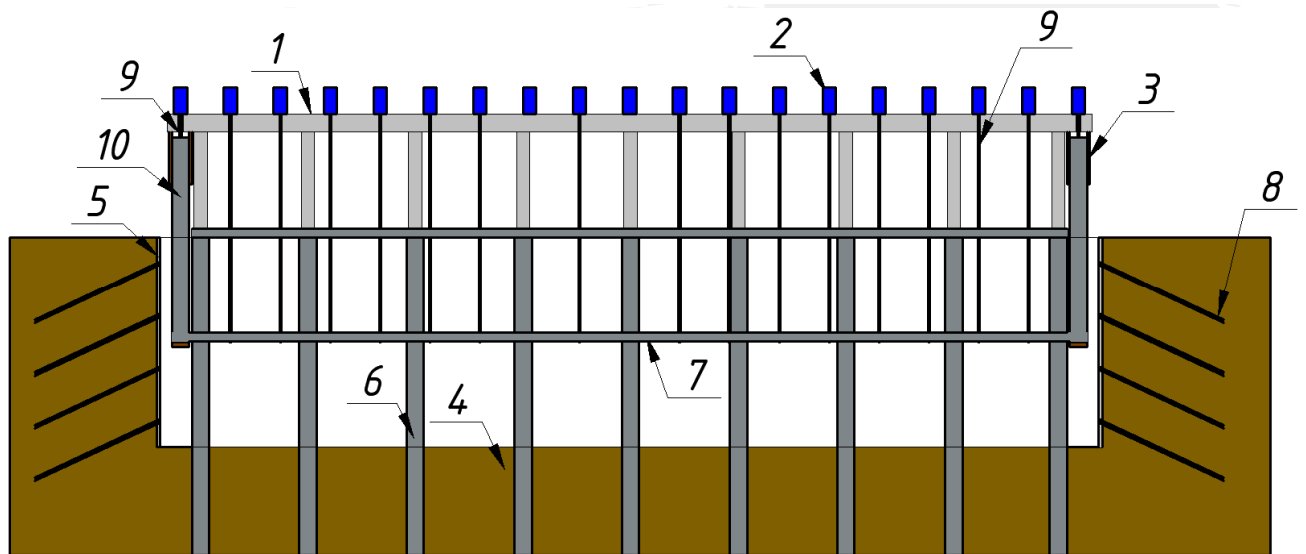


Рис.4.8 – Опускание плиты перекрытия и стены

- 1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;  
 3 – опалубочная система для устройства конструкций стен; 4 – основной грунт;

- 5 – конструкции ограждения; 6 – буронабивные сваи-колонны;  
 7 – забетонированные плиты перекрытия; 8 – грунтовые анкеры;  
 9 – тяга подъемного механизма; 10 – конструкции стены

После того как нижняя плита перекрытия достигнет отм. -6,000 м, процесс погружения сооружения останавливается происходит временное закрепление всех конструкций. На плите перекрытия находящейся на отм. +0,000 происходит устройство следующей плиты перекрытия и устройство стыка между конструкциями стен и плиты перекрытия. Затем происходит дальнейшая разработка грунта и опускание сооружения на следующий уровень до отм. -12,000.

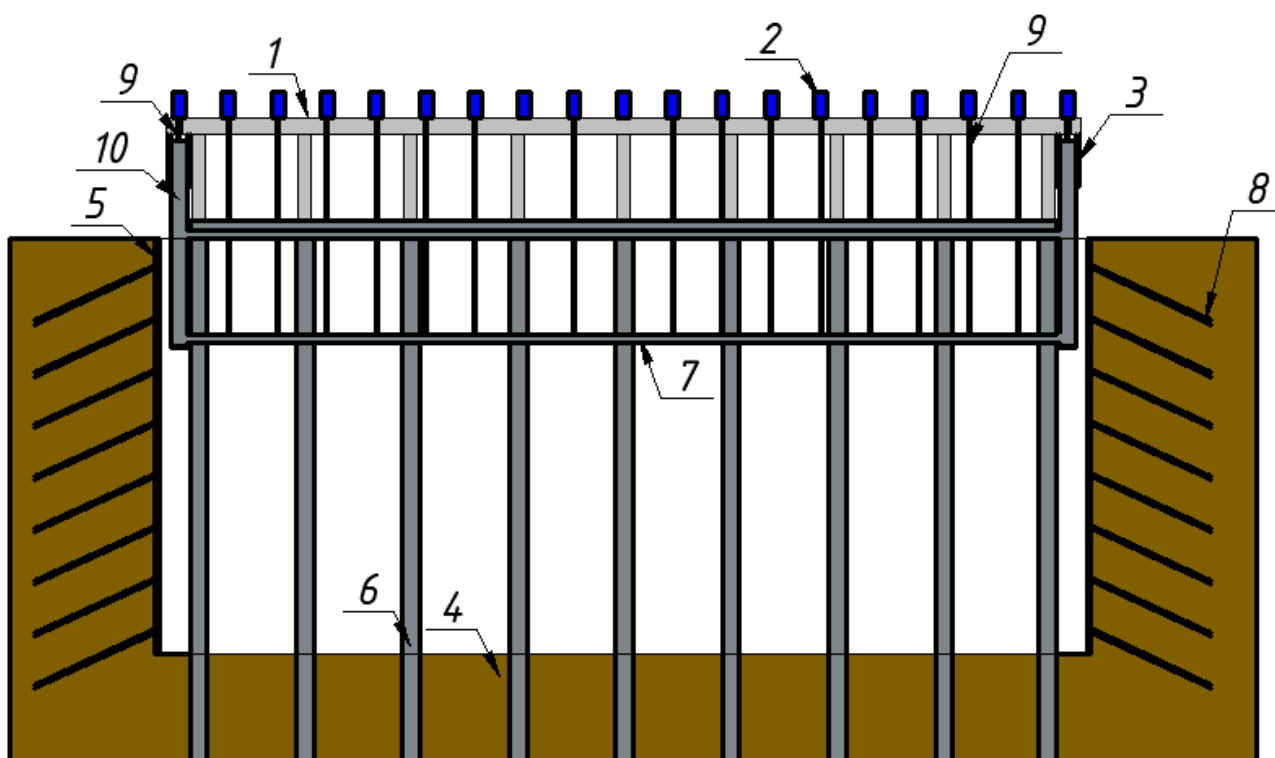


Рис.4.9 – Устройство следующей плиты перекрытия и дальнейшая разработка котлована

- 1 – конструкции рабочей площадки; 2 – гидродомкраты;  
 3 – опалубочная система для устройства конструкций стен; 4 – основной грунт;  
 5 – конструкции ограждения; 6 – буронабивные сваи-колонны;  
 7 – забетонированные плиты перекрытия; 8 – грунтовые анкеры;  
 9 – тяга подъемного механизма; 10 – конструкции стены

Этот процесс продолжается до тех пор пока сооружение не опустится до отм. -54,000. Для дополнительной связи колонн с межэтажными плитами перекрытий может быть введено устройство – «скользящие металлические связи» (горизонтальные и вертикальные). Эти связи перемещаются при необходимости, для обеспечения устойчивости колонн.

Затем происходит устройство фундаментной плиты лежащей в основании сооружения. Возведение данной плиты требуется для дополнительного увеличения жесткости сооружения, а также создания в его основании жесткого диска дополнительно связывающего все сваи-колонны между собой.

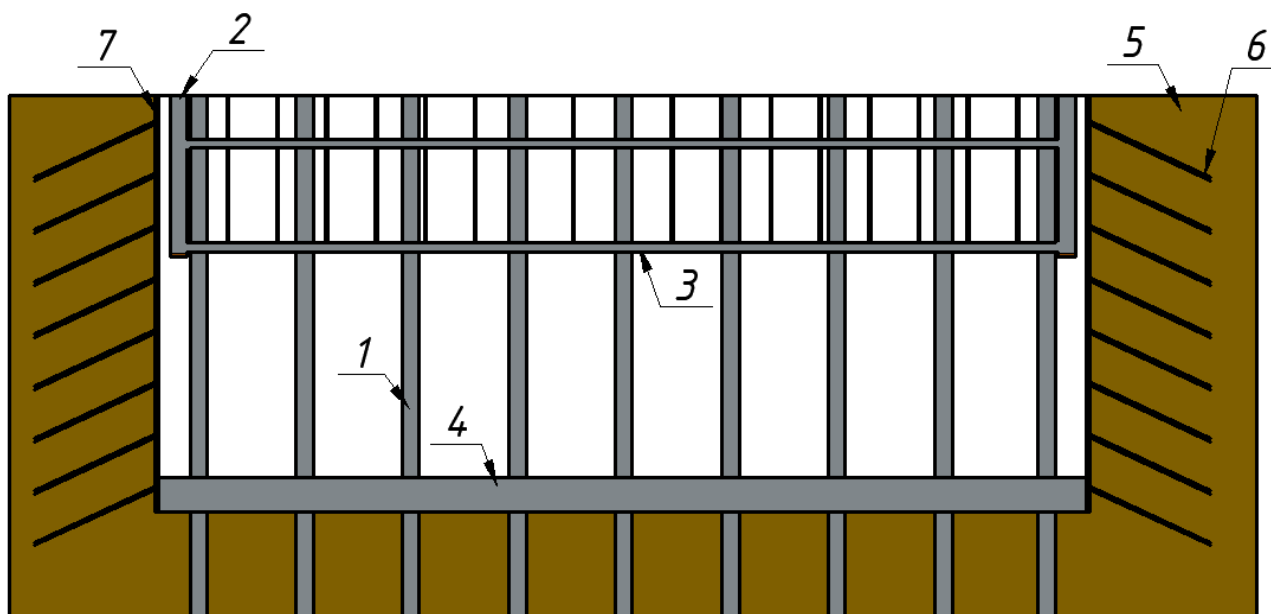


Рис.4.10 – Устройство фундаментной плиты

- 1 – буронабивные сваи-колонны; 2 – конструкции стены;  
 3 – плиты перекрытия; 4 – фундаментная плита; 5 – основной грунт;  
 6 – грунтовые анкеры; 7 – конструкции ограждения

После достижения фундаментной плитой требуемой прочности, происходит окончательное опускание сооружения до отм. -60,000. В процессе опускания сооружения продолжается возведение стен методом опускающегося бетона. По возведение стен требуемой высоты их бетонирование прекращается, но продолжается опускание сооружения. После достижения конструкций стен плоскости перекрытия происходит устройство стыка верхнего перекрытия подземного сооружения и конструкций стен.



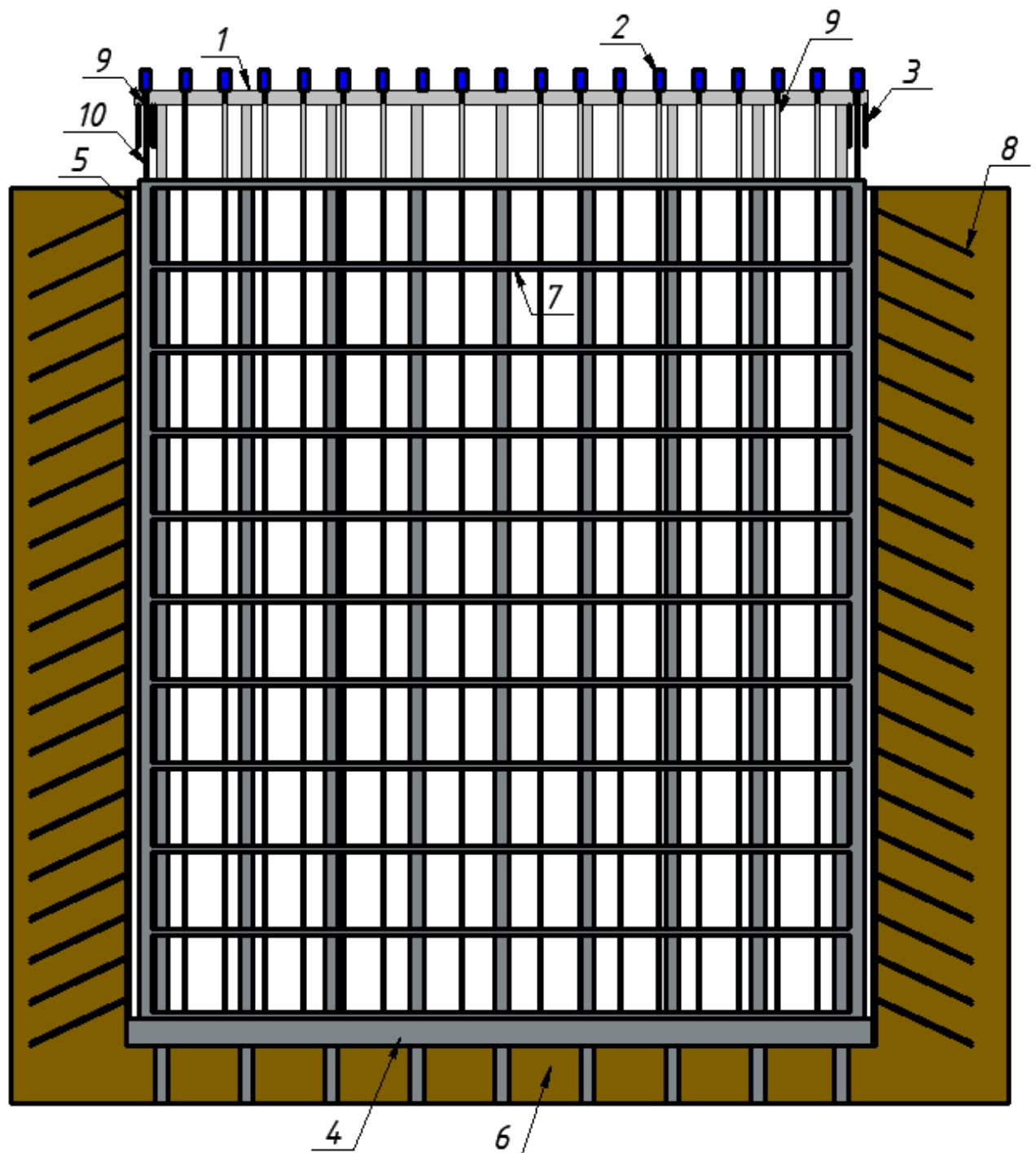


Рис.4.11 – Завершение процесса возведения подземной части сооружения

- 1 – рабочая площадка; 2 – гидродомкраты;
- 3 – опалубочная система для устройства конструкций стен;
- 4 – фундаментная плита; 5 – конструкции ограждения;
- 6 – основной грунт; 7 – плиты перекрытия; 8 – грунтовые анкеры;
- 9 – тяга подъемного механизма; 10 – конструкции стены

По завершении процесса возведения подземной части происходит демонтаж технологической площадки, гидродомкратов и опалубочной системы.

После окончания монтажа подземной части комплекса переходят к устройству надземной части.

Наземная часть сооружения представляет собой здание, выполненное в сборном металлическом каркасе. Схема монтажа надземной части – стандартная схема возведения промышленного здания.

Особенностью возведения надземной части может являться то, что в качестве фундаментов для некоторых колонн могут применяться оголовки свай-колонн подземной части, в которых заранее предусмотрены элементы для крепления колонн надземной части сооружения.

#### **4.4. Дополнительные рекомендации к процессу возведения**

##### **4.4.1. Устройство разделительного слоя между перекрытиями**

При изготовлении пакета перекрытий для предотвращения сцепления свежееуложенного бетона с поверхностью ранее установленного перекрытия на верхней грани нижележащего перекрытия должен быть устроен разделительный слой.

Материал разделительного слоя должен удовлетворять следующим требованиям: полностью предотвращать сцепление смежных перекрытий; не вступать в химическую реакцию и не разлагать структуру поверхностного слоя бетона; быстро твердеть в случае нанесения в жидком состоянии; обеспечивать гладкую поверхность нижней грани перекрытия и не оставлять на ней следов и пятен; обладать достаточной механической прочностью против повреждений; обладать влагостойкостью и несгораемостью.

В качестве разделительного слоя может применяться полиэтиленовая пленка,

##### **4.4.2. Особенности проектирования плит перекрытий для возводимого объекта**

При проектировании плит перекрытия требуется предусмотреть их дополнительное усиление в местах крепления к плитам тяг подъемного механизма, а также в местах опирания плит перекрытия на буронабивные сваи-колонны.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						171
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В плитах также должны быть предусмотрены закладные детали для возможности крепления их к тягам системы гидродомкратов, которая выполняет роль механизма для подъема/опускания плиты.

#### **4.4.3. Возможные способы доставки строительных материалов на этаж**

Доставка материалов на этаж может производиться различными способами. Строительные материалы могут доставляться через технологические отверстия в плитах перекрытия, а также есть возможность доставлять материалы в процессе опускания плит перекрытия. Такой метод позволит сократить сроки строительства и трудозатраты, однако потребует дополнительных расчетов при установке плит в проектное положение и ужесточит требования к ее прочности в процессе монтажа.

#### **4.4.4. Учет поведения грунтового массива**

Во время проектно-изыскательских работ тщательно изучается гидрогеологический массив во всем объеме в формате 3D и предварительно временно купируются все опасные гидрогеологические воздействия такими способами как цементация, глинизация, силикатизация, смолизация или замораживание.

Дополнительно начинается управление внешней гидрогеологической сферой путем искусственного перенаправления подземных гидротоков.

Особо подчеркнем, что геомассив в пределах воздействия на возводимое сооружение в данной работе мы рассматриваем не как «враждебный» и воздействующий давлением и грунтовыми водами на подземный комплекс, а как изученный и временно управляемый.

#### **4.5. Технология устройства конструкций стен**

В основе возведения конструкций стен лежит метод опускающегося бетона. Суть данного способа заключается в следующем:

В исходном состоянии горизонтальная палуба 4 находится ниже относительно верха вертикальной палубы 3 на 30-50 см. Опалубочная система представляет собой две вертикальные палубы 3 с минимальным уклоном от вертикали 1-5°. Вертикальные палубы 3 неподвижны во время всего

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		172

процесса, находящаяся между ними горизонтальная палуба 4 опускается или поднимается под воздействием гидродомкратов 1. Горизонтальная палуба 4 соединена с гидродомкратом 1 посредством металлических вертикальных стержней или тросов 2. Две вертикальные палубы 3 и находящаяся между ними горизонтальная палуба 4 образуют внутриопалубочное пространство для укладки бетона. Во внутриопалубочное пространство устанавливают арматурные каркасы из вертикальных стержней и горизонтальных сеток с частотой, равной числу укладываемых слоев. Композитный материал (бетонная смесь) 5 подается в опалубочную систему, где бетонная смесь укладывается в пространство между вертикальной и горизонтальной палубами 3 и 4, набирая минимальную прочность под воздействием внешних и внутренних факторов.

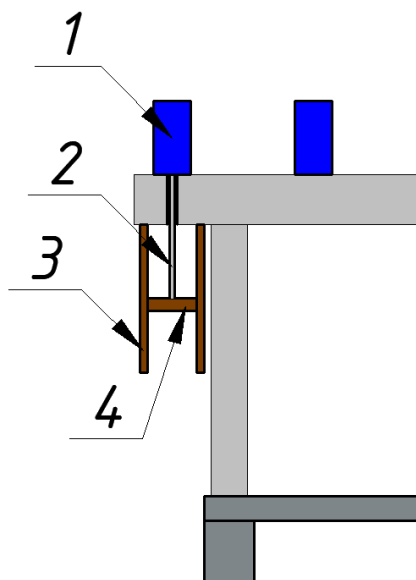


Рис. 4.12. Исходное положение горизонтальной палубы

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба

Затем производится запуск гидродомкратов 1 и горизонтальная палуба 4 вместе со свежееуложенным первым слоем бетона 5 опускается вертикально вниз постепенно с малой скоростью в пределах 0,1-0,5 см в минуту. Верхняя часть бетона 5 удерживается учащенной горизонтальной арматурой от отрыва от общей массы слоя бетона 5.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						173
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

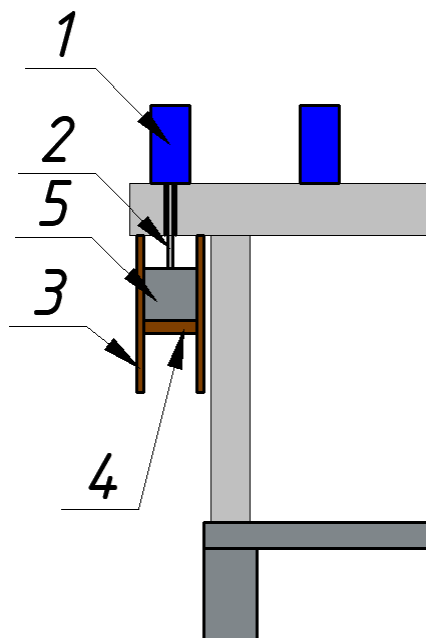


Рис. 4.13. Укладка первого слоя бетона

- 1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;  
 3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба;  
 5 – первый слой конструкций стены

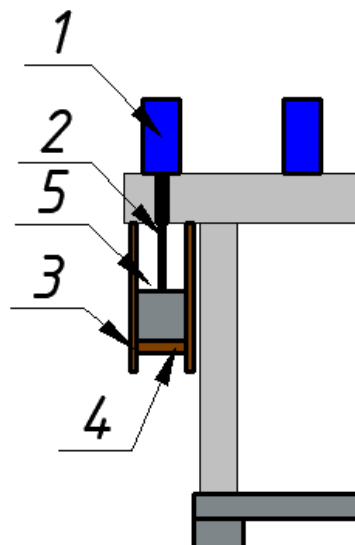


Рис. 4.14. Опускание горизонтальной палубы с первым слоем бетона

- 1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;  
 3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба;  
 5 – первый слой конструкций стены

После того как первый слой бетона 5 опущен на глубину 30-50 см относительно верха, горизонтальная палуба 4 останавливается. Начинают процесс укладки второго слоя бетона 5, толщиной 30-50 см.

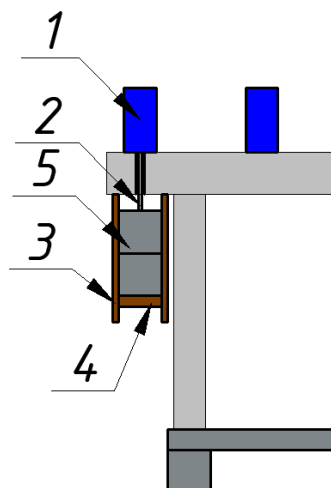


Рис. 4.15. Укладка второго слоя бетона

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба; 5 – бетон

Горизонтальная палуба 4 возобновляет движение вниз с прежней скоростью. В процессе движения бетона им набирается минимальная прочность необходимая для того, чтобы можно было уложить третий слой. Чтобы дополнительно исключить отрыв или «срыв» слоя бетона между вертикальными палубами 3 и бетоном 5 находится толстая полимерная пленка, которая движется вместе с бетоном 5, создавая минимальное трение между палубой 3 и слоем бетона 5. При остановке не наблюдается процесса сцепления бетон-палуба.

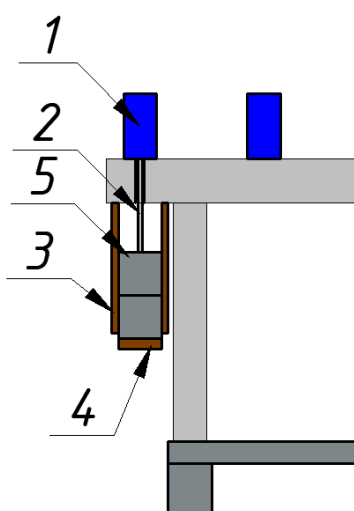


Рис. 4.16. Опускание горизонтальной палубы с двумя слоями бетона

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба; 5 – бетон

После того как второй слой бетона 5 опустится на глубину 60-100 см, а первый слой 5 на глубину 90-150 см, укладывается третий слой бетона 5. Нижняя палуба 4 продолжает движение. Третий слой 5 набирает постепенно прочность, опускаясь, в это время первый слой 5, набрав необходимую прочность, выходит за пределы вертикальной палубы 1, образовав монолитную стену.

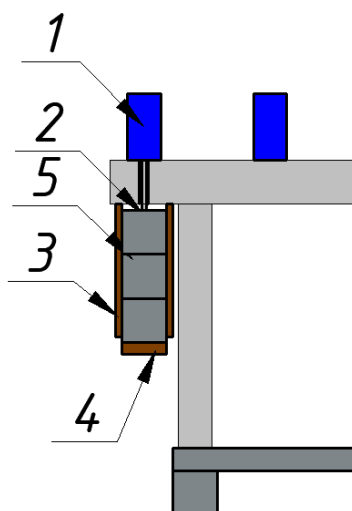


Рис. 4.17. Укладка третьего слоя бетона

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба; 5 – бетон

После того как первый слой 5 вышел из границ опалубки, укладывается четвертый 5 и последующие слои бетона 5.

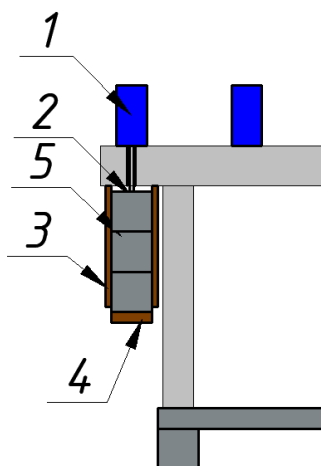


Рис. 4.17. Укладка третьего слоя бетона

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба; 5 – бетон

С первым слоем возможны бетонирования плиты перекрытия и дальнейшее опускание или подъем вместе с вертикальным бетонным элементом, образуя монолитный объемный элемент.

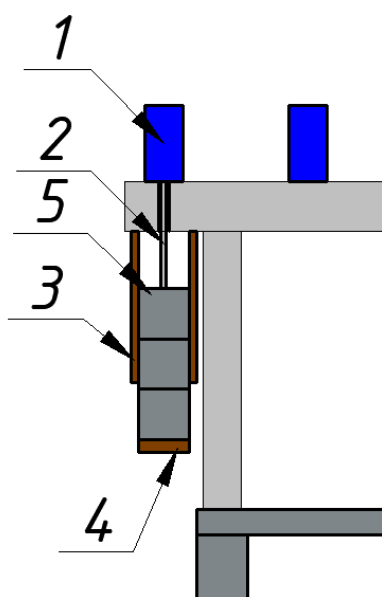


Рис. 4.18. Опускание горизонтальной палубы с несколькими слоями бетона.

1 – гидродомкраты; 2 – металлический стержень;

3 – вертикальная палуба; 4 – горизонтальная палуба; 5 – бетон

#### 4.6. Особенности применяемой бетонной смеси при производстве конструкций стен

##### 4.6.1. Рекомендации по выбору бетонной смеси

Согласно методу опускающегося бетона предлагается использовать для производства конструкций не традиционный бетон, а некую смесь материалов, возможно, с использованием полимеров или только с применением полимеров. Предложение такого типа материала связано, в первую очередь, с особенностями предлагаемого метода возведения сооружений. Поскольку, в случае, если распалубочная прочность бетонной смеси будет достигаться в течении короткого промежутка времени, то продолжительность возведения стен каркаса сооружения будет зависеть только от времени поставки смеси на строительную площадку.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						177
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



#### **4.6.2. Особенности укладки смеси**

Бетонирование методом опускающегося бетона, как и в методе скользящей опалубки, имеет ряд особенностей. В обоих методах особые требования предъявляются к темпу набора прочности и ранним срокам твердения.

Укладка бетонной смеси происходит слоями. Высота слоя ограничивается величиной давления смеси на вертикальные стенки опалубки и условием выхода из опалубки смеси, набравшей распалубочную прочность.

При превышении давления возможна потеря плоскостности вертикальными щитами опалубки или даже их разрушение. При недостаточной прочности выходящей смеси возможны деформации в виде оползания бетона.

Также в методе опускающегося бетона не предусмотрены меры для производства работ в зимнее время. Решением проблемы набора прочности бетона может стать утепление щитов вертикальной опалубки конструкции. Также можно утеплить и выходящую снизу готовую конструкцию, но это приведет к усложнению технологического процесса.

#### **4.6.3. Рекомендации к составу бетонной смеси**

На основании вышесказанного, можно сделать вывод о целесообразности применения различных добавок – ускорителей твердения бетона, которые позволят ускорить процесс производства конструкций стен и меньше беспокоиться о дефектах получаемой конструкции.

При производстве работ в зимнее время рекомендуется применение противоморозных добавок. Но при их выборе надо обращать внимание на то, чтобы они не оказали отрицательного воздействия на сроки схватывания бетонной смеси.

Конкретные наименования добавок следует принимать исходя из сырьевой базы строительства и конкретных условий производства строительномонтажных работ.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						178
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

#### 4.7. Расчет требуемого количества монтажного оборудования

Согласно предлагаемой технологии возведения подземного сооружения необходимо выполнить расчет требуемого количества гидравлических домкратов, применяемых в процессе монтажа стен и плит перекрытия подземной части сооружения.

Требуемая общая грузоподъемность домкратов представляет собой сумму всех нагрузок от конструктивных элементов сооружения.

$$Q_{\text{треб}} = \sum P_{\text{стен}} + \sum P_{\text{перекрыт.}}$$

где  $Q_{\text{треб}}$  – требуемая общая грузоподъемность гидравлических домкратов,  $\sum P_{\text{стен}}$  – суммарный вес конструкций стен,  $\sum P_{\text{перекрыт.}}$  – суммарный вес конструкций перекрытий.

$$P_{\text{стен}} = S \cdot h \cdot \gamma,$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения конструкций стен,  $h$  – высота стены,  $\gamma$  – объемный вес конструкций стен, принимаемый равным для железобетона  $2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot t,$$

где  $R$  – радиус сооружения,  $t$  – толщина конструкций стен.

$$S = 2 \cdot \pi \cdot 25 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м} = 47,15 \text{ м}^2$$

Тогда,

$$P_{\text{стен}} = 47,15 \text{ м}^2 \cdot 60 \text{ м} \cdot 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 7073 \text{ т} \approx 7100 \text{ т}$$

Аналогично подсчитаем вес конструкций перекрытий.

$$S = \pi \cdot (25 \text{ м})^2 \approx 1965 \text{ м}^2$$

$$P_{\text{перекр.}} = 11 \cdot 1965 \text{ м}^2 \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 16225 \text{ т}$$

Тогда,  $Q_{\text{треб}} = 7100 \text{ т} + 16225 \text{ т} = 23325 \text{ т} \approx 23500 \text{ т}$ .

Таким образом, в случае применения гидравлических домкратов грузоподъемностью 50 т необходимое количество будет равно:

$$N_{\text{треб}} = Q_{\text{треб}} / \text{ГП} = \frac{23500 \text{ т}}{50 \text{ т}} = 470 \text{ шт.}$$

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		179

Таким образом примем требуемое количество необходимых гидродомкратов равное 500 шт.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>180</i>

## 5. Расчет грунтовых анкеров

### 5.1. Обзор методов закрепления стенок котлована от обрушения

Согласно предлагаемой технологии возведения здания предполагается устройство котлована, глубина которого составляет 60 метров, а диаметр поперечного сечения равен 52 метрам.

Для осуществления строительства сооружения по данной технологии необходимо разработать технологические решения по закреплению стенок котлована от обрушения под нагрузкой от собственного веса грунта.

Конструкция и технология устройства ограждения котлована должны соответствовать следующим критериям [100]:

- обеспечивать устойчивость стен котлована в процессе разработки грунта и после полного его завершения;
- воспринимать нагрузку от сооружения, в случае если ограждение входит в состав конструкции подземного сооружения;
- обеспечивать водонепроницаемость, при невозможности или экономической нецелесообразности водопонижения;
- должна быть предусмотрена многократная оборачиваемость элементов крепи, если ограждение является временным;
- крепление не должно загромождать котлован, препятствовать выемке и обратной засыпке грунта и монтажу основных конструкций;
- обеспечивать снижение материалоемкости, трудоемкости и сокращение сроков строительства;
- обеспечивать сохранность эксплуатируемых наземных и подземных объектов, попадающих в зону влияния строящегося подземного сооружения;
- обеспечивать соблюдение экологических требований (соблюдение допустимых норм по шуму, вибрации, защите окружающей среды).

На сегодняшний день в строительстве применяются следующие методы закрепления стенок котлована от обрушения:

#### 1. С применением ограждающих конструкций:

- Ограждение по типу «стена в грунте»;

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		181

- Ограждения из свай;
- Шпунтовые ограждения;
- Балочные ограждения;
- Устройство распорно-подкосных систем;
- Анкерное крепление.

## 2. Методы закрепления грунта:

- Инъекционное закрепление;
- Искусственное замораживание;
- Нагельное укрепление.

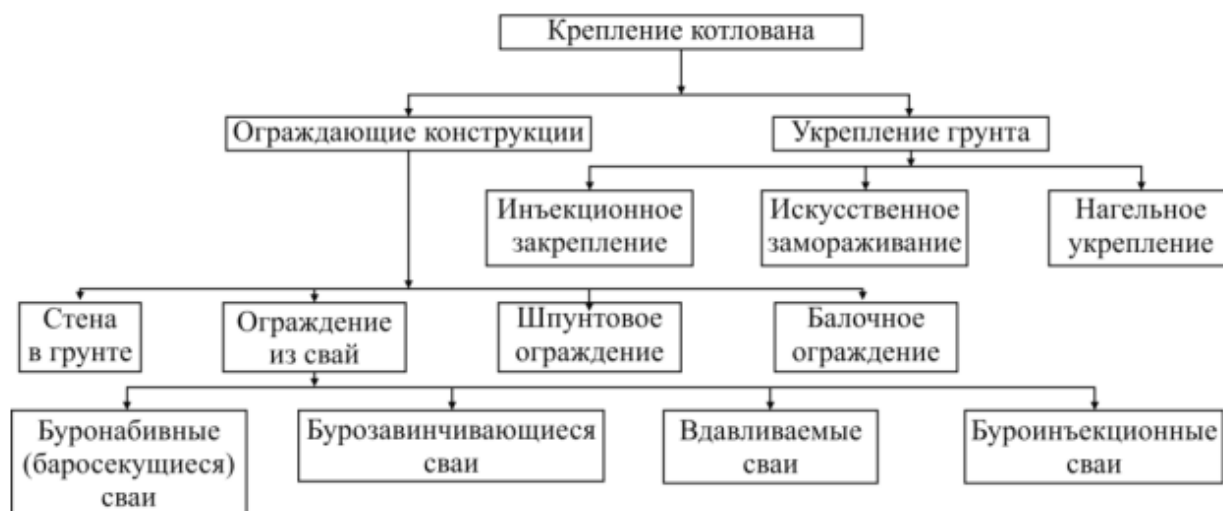


Рис.5.1 Классификация методов крепления ограждения котлована

### Шпунтовое ограждение

Шпунтовые ограждения представляют собой инвентарные щиты, выполненные из металла, дерева, железобетона или полимерных материалов, удерживающие стены траншеи или котлована от обрушения, а также защищающие котлован от затопления со стороны стенок.

Деревянные шпунтовые ограждения (дощатые и брусчатые) применяют для крепления неглубоких котлованов (3–5 м). Дощатый шпунт изготавливают из досок толщиной до 8 см; брусчатый – из брусьев толщиной от 10 до 24 см. Длина шпунтин определяется глубиной их погружения, но, как правило, не превышает 8 м, в силу экономической целесообразности. Деревянное шпунтовое ограждение отличается простотой изготовления, однако невозможность

забивки шпунтин в плотные грунты, небольшая длина шпунтин (6–8 м) и относительно малая прочность ограничивают область его применения неглубокими котлованами в слабых грунтах.

С увеличением высоты стенки котлована целесообразным становится применение металлического шпунтового ограждения. Металлический шпунт представляет собой прокатный металлический профиль длиной от 12 до 25 м и шириной до 0,5 м. На рисунке расположенном ниже представлены 4 стандартных профиля металлического шпунта.

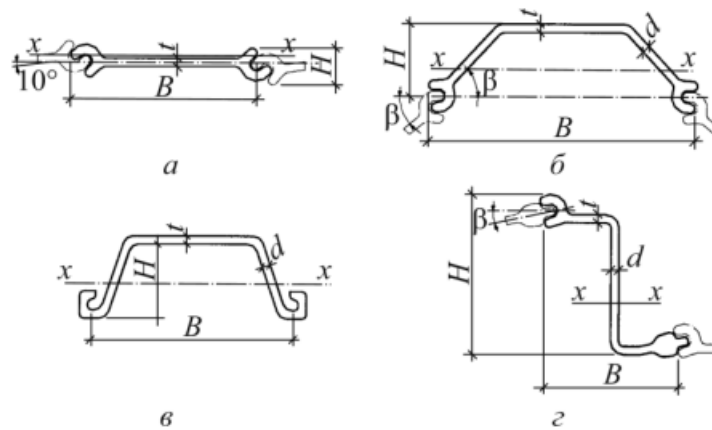


Рис.5.2 – Профили металлического шпунта: а – плоский; б – корытный; в – корытный типа «Ларсен»; г – Z-образный

Основное преимущество металлического шпунта – его технологичность. В следствие чего из шпунтин стандартного профиля возможно устроить ограждение практически любой конфигурации и с заданными прочностными характеристиками. При необходимости возможно наращивание шпунтин в длину до 35-40 м. В этом случае стыки перекрываются накладками с применением сварных или заклепочных соединений. Связь между шпунтинами по вертикали осуществляется при помощи замков. Их конструкция обеспечивает плотное и прочное соединение шпунтин между собой.

Железобетонный шпунт часто применяют в тех случаях, когда он может использоваться в качестве несущего элемента, например, при постройке набережных и причалов, а также в при производстве работ в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.,

Полимерный шпунт – используется для создания ограждающих и противодиффузионных конструкций в водонасыщенных некарстовых грунтах. Достоинствами такого шпунта являются его низкая стоимость, малый вес, коррозионная стойкость элементов.

Погружение шпунтовых элементов в грунт осуществляется обычно тремя способами: ударным (забивкой), вибрационным и вдавливанием. Выбор способа погружения определяется: грунтовыми условиями, наличием вблизи котлована эксплуатируемых зданий и сооружений, массой и длиной погружаемых элементов, а также наличием необходимого оборудования.

Для дальнейшего использования после окончания земляных работ шпунт предусматривается извлекаемым из грунта. Для его извлечения применяются механизмы аналогичные применяемым для погружения.

### **Балочные ограждения котлована**

Балочные ограждения применяются в связных грунтах и состоят из сваренных швеллеров или двутавров №40-№60, забиваемых на расстоянии не более 3 м друг от друга.

Принцип работы балочного ограждения заключается в том, что в связных грунтах между вертикальными балками образуются горизонтальные своды, передающие на эти балки давление грунта. Балочное ограждение возможно использовать только при отсутствии вблизи котлована значительных нагрузок. Это связано с дополнительным горизонтальным давлением в грунте от веса вышерасположенного строения, а также с тем, что в глинистых грунтах до глубины 20–25 м от дневной поверхности практически всегда имеются линзы и прослойки водонасыщенных песчаных грунтов. При вскрытии их котлованом происходит излив водонасыщенной песчаной массы, что, в свою очередь, вызывает деформации дневной поверхности и расположенной на ней застройки.

### **Ограждение стенок котлована с применением распорно-подкосных систем крепления**

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		184

Наиболее часто для временного крепления ограждений котлованов при возведении подземных сооружений открытым способом применяется распорно-подкосная система из металлических труб или прокатных профилей.

Распорные крепления применяются при ширине котлованов и траншей, не превышающих 15 м. По глубине котлована распорки могут устанавливаться в один или несколько рядов. Также распорки в основном применяются в совокупности с щитовыми и балочными ограждениями.

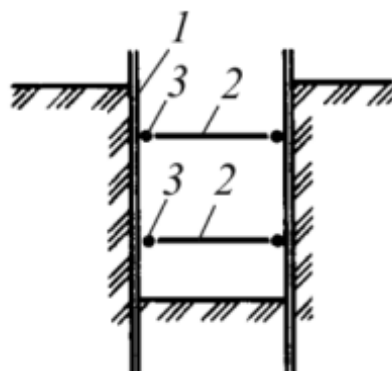


Рис.5.3 Распорное крепление стен котлована

1 – стойка; 2 – распорки; 3 – обвязка (распределительный элемент)

По глубине котлована обычно монтируется не более трех ярусов распорок, упираемых либо в противоположные борта котлована (при ширине котлована более 20 м могут использоваться промежуточные металлические сваи-стойки), либо в предварительно изготовленный фрагмент фундаментной плиты

Подкосные крепления применяются для крепления ограждений стен широких котлованов. По высоте подкосы могут устанавливаться в один или два ряда.

Основными недостатками распорно-подкосной конструкции временного крепления ограждения котлована являются:

- значительная технологическая сложность производства земляных работ в котловане вблизи распорок, подкосов и промежуточных опор;
- значительные затруднения при бетонировании стен и перекрытий подземной части около временных металлоконструкций, их последующий демонтаж и добетонирование несущих конструкций.



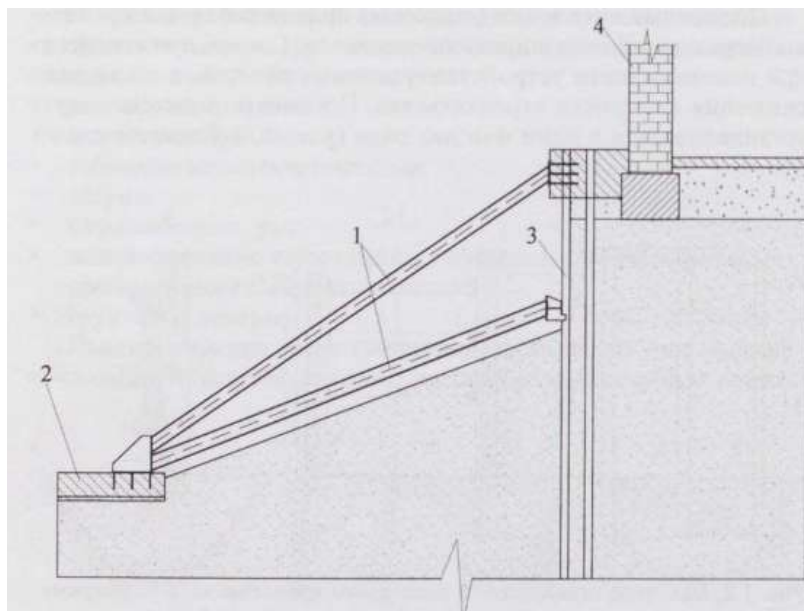


Рис.5.4 – Подкосное крепление стен котлована:

1 – подкосы из металлических труб; 2 – пионерная плита;

3 – ограждение; 4 – стена существующего сооружения

В последние годы за рубежом нашли применение сборные распорные элементы многократного применения с заменяемыми концевыми частями, преднапрягаемые распорные элементы, распорные элементы в виде ферм. В нашей стране такие конструкции пока не нашли применения.

#### **Анкерное крепление грунта**

Грунтовые анкеры (анкерные устройства) — это устройства, предназначенные для перераспределения усилий в ограждающих конструкциях на удаленные или глубоко расположенные слои грунта. Применение анкеров в подпорных и ограждающих стенах позволяет отказаться от распорных поясов, тем самым значительно облегчая последующую разработку котлованов.

В основе принципа работы грунтовых анкеров находится использование несущей способности грунта воспринимать создаваемые им же нагрузки на ограждающие конструкции. Для этого замковая часть анкера должна располагаться за пределами возможной призмы обрушения.

По сроку службы анкеры подразделяют на постоянные и временные. Постоянные анкеры входят в состав ограждающей конструкции стен котлована

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		186

и обеспечивают ее работу на весь период эксплуатации. Временные анкеры выполняют роль временного ограждения котлована на период строительства.

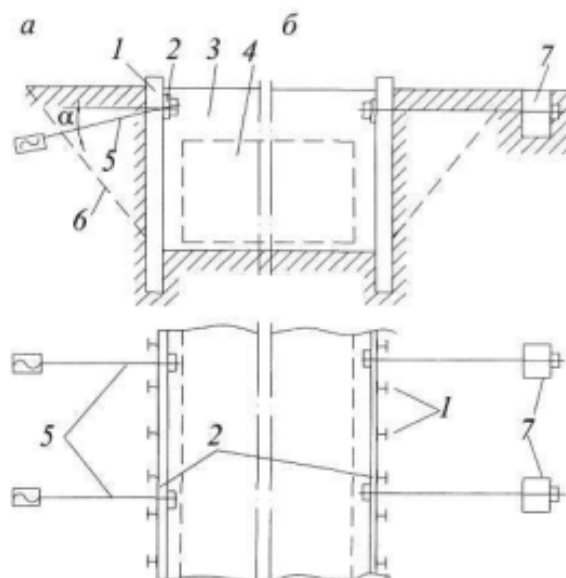


Рис. 5.5. Схемы анкерного крепления стен котлована:

а – анкер, расположенный под углом к горизонтали;

б – горизонтальный анкер: 1 – сваи; 2 – пояса; 3 – котлован;

4 – контур подземного сооружения; 5 – анкеры; 6 – призма обрушения;

7 – железобетонный упор

По схеме взаимодействия с грунтом анкеры подразделяют на следующие группы:

- наземные (гравитационные), располагающиеся на поверхности грунта: смещению анкеров препятствуют силы трения между грунтом и конструкцией анкеров;
- заглубленные, находящиеся в массиве грунта; перемещению элементов анкера препятствует сопротивление грунта,

Заглубленные анкеры могут быть изготовлены с предварительным натяжением или без него.

По основным принципиальным схемам грунтовые анкеры могут быть:

- с теряемым башмаком;
- с опорной трубой;
- с инъекционной трубкой;

- с манжетной трубой при внутреннем расположении тяги;
- с манжетной трубой при внешнем расположении тяги.

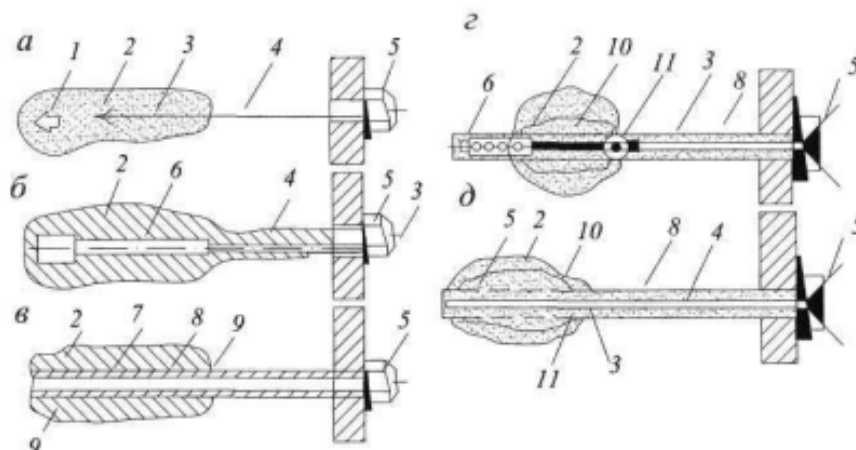


Рис. 5.6. Принципиальные схемы грунтовых анкеров: а анкер с теряемым башмаком; б — анкер с опорной трубой; в — анкер с инъекционной трубкой; — анкер с манжетной трубой при внутреннем расположении тяги; Д — анкер с манжетной трубой при наружном расположении тяги:

- 1 – теряемый башмак; 2 – заделка; 3 – тяга; 4 – изолирующая оболочка; 5 – оголовок; 6 – замок; 7 – инъекционная трубка; 8 – обойма; 9 – фиксатор; 10 — манжетная труба; 11 — пакер

Конструктивно грунтовые анкеры состоят из оголовка, заделки и анкерной тяги.

Оголовок — опорная часть анкера, обеспечивающая натяжение и закрепление анкерной тяги и передачу усилий на ограждающую конструкцию.

Заделка — рабочая фиксирующая часть анкера, предназначенная для передачи выдергивающего усилия от ограждающей конструкции на окружающий грунтовый массив.

Анкерная тяга — напрягаемая часть анкера, предназначенная для передачи выдергивающего усилия от ограждающей конструкции на заделку анкера, обычно выполняемая из:

- стальной трубы;

- отдельного стержня; • пучка отдельных стержней; • проволочных прядей.

Технология устройства анкеров состоит из следующих процессов: проходки скважины, установки анкера, цементации зоны заделки, натяжения и закрепления анкера.

На рис. 5.7 показана последовательность устройства грунтового анкера с теряемым башмаком. Она включает:

- проходку скважины с забивкой обсадных труб с башмаком
- установку внутри обсадных труб тяги с изолирующей оболочкой;

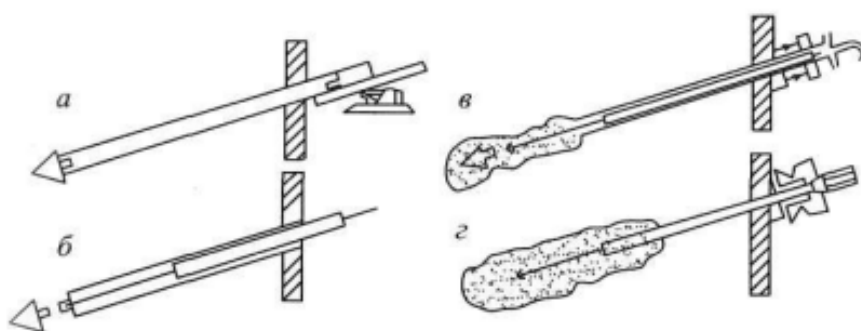


Рис.5.7 – Технология устройства анкера с теряемым башмаком: а — бурение скважины; б — погружение анкера; в — нагнетание цементного раствора в скважину; — натяжение анкера и его закрепление на конструкции

- высаживание теряемого башмака в грунт;
- нагнетание в скважину цементного раствора с параллельным извлечением обсадных труб;
- натяжение и закрепление анкера на оголовке (производится после набора цементным раствором проектной прочности).

Анкеры располагают в один или несколько ярусов по высоте.

Угол наклона анкеров к горизонту не превышает  $25\text{—}30^\circ$ . При больших значениях угла наклона снижается горизонтальная составляющая удерживающего усилия.

В некоторых случаях возможно устройство горизонтальных анкерных оттяжек, помещаемых в траншеях и закрепляемых на специальных сваях или

железобетонных массивах, которые располагают за пределами возможной призмы обрушения.

Грунтовые анкеры имеют следующие преимущества перед другими способами крепления стен котлована: они не занимают рабочее пространство в котловане, т.е. не мешают при разработке грунта и устройстве конструкций, и имеют гораздо меньшую материалоемкость.

### **Методы закрепления грунта**

Сущность методов закрепления грунтов заключается в искусственном преобразовании строительных свойств грунтов в условиях их естественного залегания разнообразными физико-химическими методами. В процессе закрепления между частицами грунта возникают прочные структурные связи из-за инъецирования в объем грунта и последующего затвердевания определенных реагентов. Благодаря этому происходит возрастание прочности грунтов, снижение их сжимаемости, водопроницаемости и чувствительности к изменениям, протекающим во внешней среде. Для обеспечения высокой эффективности данной группы методов необходимым условием является высокая проницаемость грунтов.

### **Инъекционное закрепление грунта**

Технология инъекционного закрепления грунта осуществляется следующим образом: в грунте бурятся скважины, через которые в массив нагнетают химический или цементационно-тампонажный раствор, распространяющийся на определенное расстояние от скважины и заполняющий собой поры и трещины. После затвердевания раствора повышаются прочность и водонепроницаемость массива, что позволяет вести строительные работы в достаточно благоприятных инженерно-геологических условиях.

В строительстве на сегодняшний день инъекционное закрепление грунтов применяется в следующих случаях:

- усиление оснований фундаментов как существующих зданий и сооружений, так и возводимых;

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						190
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- устройства защитных стен и иных подземных конструкций из закрепленных грунтов в качестве мероприятий против подвижек грунта при их подработке горными выработками;
- устройства подпорных стен и укрепления откосов при вскрытии строительных котлованов и других открытых выработках;
- повышения несущей способности свай и других опор.

Существует несколько методов закрепления грунтов инъекцией: цементация, силикатизация, смолизация, глинизация, битумизация, электро-химическое закрепление грунтов, термическое закрепление грунтов.

### **Цементация**

Этот способ применяется при закреплении грунтов путем заполнения через скважины пор, трещины и другие пустоты грунтового массива цементным, цементно-песчаным или цементно-глинистым раствором под давлением. Со временем раствор затвердевает и образуется грунто-цементный или грунто-цементно-глинистый камень, в результате чего полученный уплотнённый массив обладает более высокими прочностными и противодиффузионными характеристиками.

Цементация используется не только для улучшения прочностных, деформационных и противодиффузионных характеристик грунтового массива, но и для заполнения крупных пустот полостей под подошвой фундаментов, образовавшихся после разложения органических образований. Также цементация применяется в совокупности с другими методами инъекционного закрепления грунтов с целью снижения стоимости процесса закрепления.

Стоит отметить, что применение цементных и цементно-песчаных растворов не обеспечивает полной водонепроницаемости грунтового массива. Однако, добавка в цементный раствор глины улучшает характеристики раствора: такие растворы не расслаиваются, хорошо прокачиваются насосами и, заполняя не крупные поры, обеспечивают более высокие показатели водонепроницаемости.

### **Глинизация**

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						191
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сущность способа заключается в заполнении глинистым раствором трещин и карстовых пустот в сухих породах, способных после нагнетания раствора впитывать из него воду, поэтому после заполнения пустот раствор в течение нескольких суток должен находиться под гидравлическим давлением. В результате достаточного повышения давления вода отжимается из глинистого раствора, а обезвоженное глинистое тесто плотно заполняет пустоты и придаёт породе водонепроницаемость.

Для глинизации применяются глинистая суспензия, глиносиликатные и цементно-глинистые растворы. Применение глинистых растворов на основе бентонитовых глин позволяет повысить противofiltrационные свойства массива по сравнению с обычными глинистыми растворами.

Способ применяется при наличии карстовых пустот в основании фундаментов или пустот за обделкой подземных сооружений, т.е. в тех случаях, когда требуется большой расход цемента.

К достоинствам способа можно отнести его низкую стоимость и способность глины противостоять агрессивному действию подземных вод, а к недостаткам – большой расход тампонажных материалов и малую сопротивляемость тампонажного камня внешним нагрузкам.

### **Битумизация**

Способ применяется в трещиноватых горных породах с высокими скоростями фильтрации грунтовых вод, исключая применение цементации или глинизации.

Существуют два метода битумизации: горячий и холодный.

Сущность способа горячей битумизации состоит в том, что через предварительно пробуренные скважины в массив нагнетается расплавленный битум, который, остывая в трещинах, придает породе водонепроницаемость. Поскольку битум не смешивается с водой и при соприкосновении с ней образует плохо проводящую тепло пленку, то при нагнетании он заполняет большие пустоты. Распространению битума в массиве способствует его низкая

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		192

теплопроводность и, следовательно, чрезвычайно медленное остывание в крупных трещинах и пустотах.

Горячая битумизация имеет и ряд существенных недостатков: с течением времени под действием напора грунтовых вод происходит выдавливание битума из трещин с шириной раскрытия от 5–6 см и выше. Другой недостаток заключается в том, что из-за его значительной вязкости расплавленный битум не может полностью заполнить трещины с шириной раскрытия менее 1 мм. Стоит отметить, что в силу указанных недостатков данный метод применяется достаточно редко.

Для придания водонепроницаемости песчаным грунтам используется метод холодной битумизации, заключающийся в нагнетании в грунт битумной эмульсии. Этот способ не изменяет прочностных и деформационных свойств песчаных грунтов, а лишь повышает их водонепроницаемость.

Способ холодной битумизации также применяется достаточно редко, так как технология приготовления битумной эмульсии значительно сложнее технологии приготовления растворов при использовании силикатизации или смолизации песчаных грунтов.

### **Силикатизация**

Способ силикатизации, заключается в поочерёдном нагнетании, используя погружённую в песчаный грунт перфорированную трубу-инъектор, химических растворов силиката натрия и хлористого кальция. В результате химической реакции между ними в порах грунта образовывался гидрогель кремниевой кислоты, грунт быстро и прочно закреплялся и становился водонепроницаемым. Двухрастворная силикатизация применяется для закрепления крупного и средней крупности песка с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут.

Для закрепления мелких песков и супесей применяется однорастворная силикатизация, отличающаяся от двухрастворной тем, что используется слбоконцентрированный маловязкий силикатный раствор. Его отверждение в

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		193



строго заданное время производится добавкой химических реагентов (отвердителей).

Для закрепления лессовых грунтов, отличающихся высокой химической активностью, применяется силикатный раствор без отвердителя. Однорас-творная силикатизация лессовых грунтов применяется для закрепления про-садочных грунтов, обладающих водопроницаемостью более 0,2 м/сут и влажностью не более 0,7. В более влажных лессовых грунтах применяется газовая силикатизация, сущность которой заключается в том, что в грунт, подлежащий закреплению, через специальные скважины и инъекторы после-довательно нагнетают углекислый газ, раствор силиката натрия и вторично углекислый газ. После такой обработки грунты приобретают прочность, во-доустойчивость и водонепроницаемость.

### **Смолизация**

Этот метод заключается во введении в грунт гелеобразующего раствора высокомолекулярных смол (карбамидной, фенолформальдегидной) вместе с отвердителем (соляная и щавелевая кислоты, хлорное железо). В результате происходящих химических реакций смола переходит из жидкого состояния в твердое, горные породы упрочняются, снижается их водопроницаемость, увеличивается прочность.

Через определенное время в результате взаимодействия с отвер-дителями смола полимеризуется. Обычное время гелеобразования 1,5–2,5 ч при вре-мени упрочнения до 2 сут. Метод смолизации рекомендуется для закреплени-я сухих и водонасыщенных песков с коэффициентом фильтрации 0,5–25 м/сут. Организация работ по закреплению грунтов смолами аналогична орга-низации работ по силикатизации. Метод относится к числу дорогостоящих.

### **Электрохимическое закрепление грунтов**

Метод применяется для закрепления суглинистых и илистых грунтов, за-легающих ниже уровня грунтовых вод. Он основан на сочетании воздействия постоянного электрического тока на грунты и вводимых в него химических

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						194
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

добавок. Электрический ток ускоряет и облегчает проникновение химических растворов в грунт.

Вид электрохимического закрепления зависит от типа вводимых добавок.

Так, метод электросиликатизации грунтов основан на обработке грунта постоянным электрическим током в сочетании с инъецированием растворов жидкого стекла и хлористого кальция. При электролитической обработке в инъекторы-аноды (положительный полюс) последовательно подают растворы хлорида кальция и серно-кислого алюминия, а через инъекторы-катоды (отрицательный полюс) откачивают поступившую в них воду.

В этом случае в грунте происходят следующие процессы:

- электроосмос, при котором грунт обезвоживается и уплотняется;
- реакции обмена, при которых поглощённые натрий и кальций замещаются водородом и алюминием;
- структурообразование, являющееся результатом образования алюмогеля.

Электрохимические процессы ведут к изменению химико-минералогического и гранулометрического составов грунта и его упрочнению.

Возможно также проведение электроосмотического уплотнения без введения в грунт химических добавок. В этом случае в электрическом поле связанная вода переходит в свободное состояние и от стержней-анодов движется к иглофильтрам-катодам, откуда и откачивается. В результате происходит обезвоживание и уплотнение грунта.

### **Термическое закрепление грунтов**

Сущность метода заключается в том, что через грунт в течение некоторого времени пропускают раскаленный воздух или раскаленные газы. Под воздействием высокой температуры отдельные минералы, входящие в состав скелета грунта, оплавляются. В результате чего происходит образование прочных водостойких структурных связей между частицами грунта. Температура газов, которыми производится обработка грунта, не должна превышать 750–850°C. Если температура газов окажется выше, стенки скважин

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		195

оплавляются и становятся газонепроницаемыми. При температурах ниже 300°С ликвидации просадочности лессов не происходит.

Достоинствами данного метода является то, что при обжиге грунты теряют значительную часть химически связанной воды, что изменяет свойства грунтов и уменьшает или полностью ликвидирует просадочность, размокаемость, а также способность к набуханию.

### **Искусственное замораживание грунта**

Метод искусственного замораживания грунтов применяется в слабых, неустойчивых водоносных грунтах и горных породах, при наличии разнородных пластов водоносных грунтов.

Способ искусственного замораживания основывается на способности водоносных грунтов приобретать высокую механическую прочность и водонепроницаемость под действием низких температур. При замораживании находящаяся в трещинах и порах вода замерзает, превращаясь в лед, прочно связывающий пласты и различные отделенности грунтов.

В настоящее время применяется два способа искусственного замораживания грунтов:

- **Рассольный** – сущность метода заключается в том, что по контуру будущего подземного сооружения пробуриваются вертикальные, наклонные или горизонтальные замораживающие скважины, в которые помещают замораживающие колонки и питающие трубки, по которым циркулирует хладоноситель (рассол).

- **Безрассольный** способ основывается на получении холода за счёт испарения сжиженных газов непосредственно в замораживающих скважинах. В качестве хладагента обычно используют жидкий азот, поэтому безрассольную схему ещё называют схемой замораживания жидким азотом.

Льдогрунтовое ограждение поддерживают в замороженном состоянии до тех пор, пока не будет закончено строительство, после чего ограждение ликвидируют. В редких случаях, для наиболее сложных и уникальных объектов,

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		196

возможно использование льдогрунтового ограждения на весь период эксплуатации объекта.

Оттаивание могут производить естественным, либо искусственным путем. Естественное оттаивание происходит только под влиянием теплопритока со стороны незамороженного массива и тёплого воздуха в выработке. Достоинство естественного оттаивания – отсутствие материальных затрат на его проведение. Основные недостатки – большая продолжительность процесса и невозможность управления им, что может приводить к неравномерному оттаиванию пород по периметру ствола, деформированию обделки, нарушению её гидроизоляционных свойств.

Искусственное оттаивание производят путём циркуляции в колонках подогретого хладоносителя; заполнения ствола водой с последующим подогревом её паром; подогревом воздуха, подаваемого в выработку.

Возможно использование комбинированного метода: интенсивное проветривание выработки подогретым влажным воздухом в сочетании с одновременной прокачкой через замораживающие колонки подогретого хладоносителя.

После выполнения всех строительно-монтажных работ и оттаивания льдогрунтового ограждения производят демонтаж холодильного оборудования и извлечение замораживающих колонок. Скважины в процессе извлечения из них замораживающих колонок тампонируются.

В качестве достоинств метода можно отметить полное устранение водопритока и исключение опасности прорыва плывунов. В качестве недостатков можно выделить: трудность разработки мерзлого грунта, высокая стоимость замораживания, отрицательная температура в забое.

### **Нагельное закрепление грунта**

Прогрессивным методом крепления вертикальных и крутопадающих грунтовых стен котлованов глубиной до 12 - 15 м является использование в качестве подпорной конструкции самого грунта, укрепленного системой

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						197
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

нагелей. В качестве нагелей могут применяться стальные и неметаллические композитные арматурные стержни, трубчатые винтовые штанги.[Сто ностро]

Область применения метода по грунтовым условиям - связные глинистые грунты от твердой до пластичной консистенции при отсутствии водоносных и трудно осушаемых песчаных прослоев.

Армирование грунта стальными стержнями осуществляется постепенно по мере разработки котлована. Для защиты грунтовой стены от местных вывалов между нагелями в период экскавации ее поверхность покрывается набрызг-бетонной облицовкой или устраивается сборный экран из плит, а также могут использоваться полимерные рулонные материалы.

В зависимости от типа грунта существует 2 варианта устройства нагель-ного крепления. В устойчивых глинистых грунтах устройство нагелей происходит в следующей последовательности: бурение скважины шнеком; погружение в скважину армирующего элемента; заполнение скважины цементным раствором через инвентарную инъекционную трубку; закрепление головки нагеля на защитном покрытии после схватывания цементного раствора в скважине.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						198
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

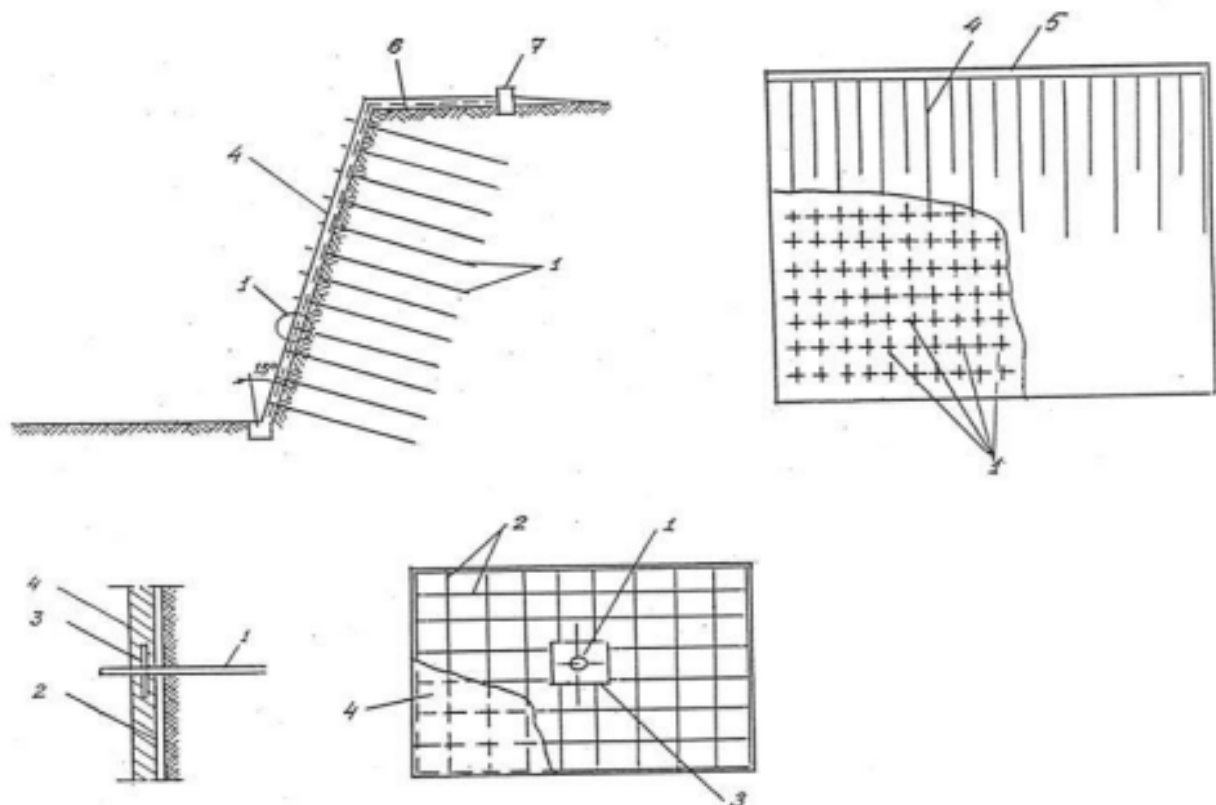


Рис.5.8 Типовая конструкция нагельного крепления с защитой поверхности откоса котлована набрызг-бетоном: 1 – армирующие стержни; 2 – сетка; 3 – упорная пластина; 4 – слой набрызг-бетона; 5 – слой бетона; 6 – слой щебня, втрамбованного в землю; 7 – бетонный бортик

В супесчаных грунтах, при возможности осыпания скважины, в технологию устройства нагелей вносят следующие изменения: бурение скважины происходит с обсадкой; заполнение скважины цементным раствором происходит через обсадные трубы по мере их извлечения.

В случае устройства грунтовых нагелей на длительный срок (свыше 2-х лет), они должны иметь дополнительную антикоррозийную защиту.

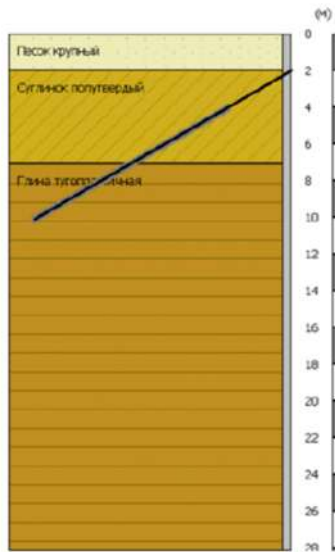
Достоинством метода является его простота и экономичность, т.к. нет необходимости в специально возводимой ограждающей стенке и ее дополнительном креплении.

В качестве метода крепления стенок котлована нашего подземного сооружения был выбран метод крепления стенок котлована грунтовыми анкерами.

## 5.2. Расчет грунтовых анкеров крепления ограждения котлована

### 5.2.1. Расчет грунтовых анкеров

#### 1. Исходные данные:



длина анкера  $L_a=16$  м;  
 длина тяги анкера  $l_a=4$  м;  
 длина заделки (корня) анкера  $l_k=12$  м;  
 глубина установки анкера  $h_a=2$  м;  
 глубина заделки корня (по центру)  $h_k=7$  м;  
 угол наклона анкера  $\alpha=30^\circ$ ;  
 модуль упругости тяги анкера  $E_T=2,1 \cdot 10^5$  МПа;  
 сопротивление тяги анкера  $R_T=200$  МПа;  
 диаметр тяги  $d=51$  мм;  
 диаметр скважины  $D_c=90$  мм;  
 диаметр корня анкера  $D_k=100$  мм;  
 коэффициент запаса по грунту – 1,4;  
 коэффициент запаса по материалу – 1,58.

Рис. 5.9 Разрез по ИГЭ

Табл.5.1

#### Физико-механические свойства грунтов

Тип грунта	Мощность слоя Н, м	Удельный вес, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Удельное сцепление с, кПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , °	Модуль деформации Е, Мпа	Коэффициент Пуассона, $\nu$
Песок крупный	2,0	19,6	1,5	42	45	0,3
Суглинок полутвердый	5,0	18,3	28	24	19,5	0,3
Глина тугопластичная	60	18,1	43	16	15	0,4

#### Расчет несущей способности анкера по грунту основания

Существует несколько методик расчета грунтовых анкеров. Проведем расчет по каждой из них и сопоставим результаты.

#### 2. Расчет по ВСН 506-88

Несущую способность инъекционных анкеров по грунту основания определяют по формуле:

$$P_d = \pi D_k l_k (1 + \sin \varphi_I) (\sigma_0 \operatorname{tg} \varphi_i + c_I) K_p \gamma_c,$$

где  $D_k$  – диаметр заделки (корня) анкера;

$\varphi_I$  и  $c_I$  – расчетные средневзвешенные значения по длине заделки: угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта соответственно;

$\sigma_0$  – усредненное по боковой поверхности заделки анкера природное напряжение грунта;

$K_p$  – коэффициент, зависящий от отношения диаметра скважины  $D_c$  к диаметру заделки  $D_k$ , природного напряжения, прочностных и деформационных характеристик грунта, находящегося в зоне заделки анкера;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый для песчаных грунтов равным 0,72, для пылевато-глинистых – 0,64.

Несущая способность инъекционных анкеров:

$$\begin{aligned} P_d &= \pi D_k l_k (1 + \sin \varphi_I) (\sigma_0 \operatorname{tg} \varphi_i + c_I) K_p \gamma_c = \\ &= \pi \cdot 10 \cdot 1200 \cdot (1 + \sin 20^\circ) (2,357 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ + 0,355) \cdot 1,843 \cdot 0,68 = \\ &= \pi \cdot 10 \cdot 1200 \cdot 1,342 \cdot 1,213 \cdot 1,843 \cdot 0,68 = 76870 \text{ кгс} = \mathbf{76,870 \text{ тс}}. \end{aligned}$$

Проверка размерности:  $[P_d] = [\text{см} \cdot \text{см} (\text{кгс}/\text{см}^2 + \text{кгс}/\text{см}^2)] = [\text{кгс}]$ .

Средневзвешенные значения по длине заделки (6 м суглинок и 6 м глина):

угол внутреннего трения  $\varphi_I = (24 + 16)/2 = 20^\circ$ ;

удельное сцепление грунта  $c_I = (28 + 43)/2 = 35,5 \text{ кПа} = 0,355 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ;

коэффициент условий работы  $\gamma_c = (0,72 + 0,64)/2 = 0,68$ .

Величину  $\sigma_0$  определяют по формуле:

$$\sigma_0 = 0,5 (\gamma_I h_k + g) (\xi_0 + \sqrt{\cos^2 \alpha + \xi_0^2 \cdot \sin^2 \alpha})$$

где  $\gamma_I$  – средневзвешенное значение по глубине  $h_k$  удельного веса грунта с учетом взвешивающего действия воды;

$h_k$  – глубина заложения центра заделки анкера от поверхности грунта;

$\xi_0$  – коэффициент бокового давления грунта в природном состоянии (покоя), принимаемый для песков и супесей равным  $\xi_0 = 0,43$ ; для суглинков  $\xi_0 = 0,55$ ; для глин  $\xi_0 = 0,72$ ;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						201

АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ



$g$  – приведенная к равномерно-распределенной в уровне центра заделки нагрузка на поверхности и от соседних фундаментов зданий;

$\alpha$  – угол наклона анкера к горизонтали.

$$\sigma_0 = 0,5(\gamma_I h_k + g) \left( \xi_0 + \sqrt{\cos^2 \alpha + \xi_0^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right) = 0,5(1,867 \cdot 10^{-3} \cdot 700 + 2) \cdot (0,52 + \sqrt{\cos^2 30 + 0,52^2 \cdot \sin^2 30}) = 1,655(0,52 + \sqrt{0,8176}) = 2,357 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Проверка размерности:  $[\sigma_0] = [\text{кгс}/\text{см}^3 \cdot \text{см} + \text{кгс}/\text{см}^2] = [\text{кгс}/\text{см}^2]$ .

Величину  $K_p$  определяют по формуле:

$$K_p = \left( (1,01 - (D_c/D_k)^2) / (1,01 - \frac{A_1^2}{1+A_1^2}) \right)^\theta, \text{ где}$$

$$A_1 = E_0 / (1 + \nu_0) (\sigma_0 + c_I \text{tg} \varphi_I) \sin \varphi_I = 172,5 / ((1 + 0,35)(2,357 + 0,355 \text{ctg} 20)) \sin 20 = 172,5 / (1,35(2,357 + 0,355 \cdot 2,747)) 0,342 = 172,5 / 1,538 = 112,16.$$

Проверка размерности:  $[A_1] = [\text{кгс}/\text{см}^2 / \text{кгс}/\text{см}^2] = [1]$ .

$$\theta = \sin \varphi_I / (1 + \sin \varphi_I) = \sin 20 / (1 + \sin 20) = 0,342 / (1 + 0,342) = 0,255.$$

$E_0, \nu_0$  – средневзвешенные значения по длине заделки модуля деформации грунта и коэффициента Пуассона соответственно.

Средневзвешенные значения по длине заделки:

- Модуля деформации грунта  $E_0 = (19,5 + 15) / 2 = 17,25 \text{ МПа} = 172,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ;
- Коэффициента Пуассона  $\nu_0 = (0,3 + 0,4) / 2 = 0,35$ .

$$\text{Тогда, } K_p = \left( (1,01 - (9/10)^2) / (1,01 - \frac{112,16^2}{1+112,16^2}) \right)^{0,255} = 11^{0,255} = 1,843.$$

Расчетная нагрузка на анкер по несущей способности основания  $P_d$  должна устанавливаться из условия:

$$P_d \geq P_w \gamma_n,$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным: 1,4 – для постоянных анкеров; 1,2 – для временных.

Нагрузка на анкер:

$$P_w = \frac{P_d}{\gamma_n} = \frac{76,870}{1,4} = 54,907 \text{ тс.}$$

Расчет прочности материала тяг анкера по ВСН 506-88

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						202
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Площадь сечения тяги анкера  $F_a$  должна удовлетворять условию для постоянных анкеров

$$F_a \geq 1,58P_w / \sigma_T = 1,58 \cdot 54907 / (420 \cdot 9,81) = 21 \text{ см}^2.$$

По СП 16.13330.2011 [4] табл. В5 для стали С440 по ГОСТ 27772 расчетное значение предела текучести  $R_u=420$  МПа при  $\gamma_m = 1,05$  (для стали С255  $R_u=225$  МПа).

$$\text{Тогда диаметр тяги } d_T = \sqrt{4F_a / \pi} = \sqrt{4 \cdot 21 / 3,14} = 5,17 \text{ см.}$$

**3.**

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						203
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## Расчет по методике ЦНИИС Минтрансстроя

Несущая способность инъекционных анкеров:

$$F_d = m\pi D_k l_k \left\{ \gamma h_k \left[ \left( \frac{1+\chi}{2} + \frac{1-\chi}{2} \cos 2\alpha \right) \operatorname{tg} \varphi + \frac{1-\chi}{2} \sin 2\alpha \right] + c \right\},$$

где  $m=0,8$  – коэффициент неоднородности грунта;

Средний удельный вес грунта над центром корня

$$\gamma = (19,6 \cdot 2 + 18,3 \cdot 5) / (2 + 5) = 18,67 \text{ кН/м}^3 = 1867 \text{ кгс/м}^3 = 1,867 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^3.$$

Средневзвешенные значения по длине заделки (6 м суглинок и 6 м глина):

$$\text{угол внутреннего трения } \varphi_I = (24 + 16) / 2 = 20^\circ;$$

$$\text{удельное сцепление грунта } c_I = (28 + 43) / 2 = 35,5 \text{ кПа} = 0,355 \text{ кгс/см}^2.$$

Коэффициент бокового давления грунта

$$\chi = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 (45 - 20/2) = \operatorname{tg}^2 35 = 0,49.$$

$$\begin{aligned} F_d &= m\pi D_k l_k \left\{ \gamma h_k \left[ \left( \frac{1+\chi}{2} + \frac{1-\chi}{2} \cos 2\alpha \right) \operatorname{tg} \varphi + \frac{1-\chi}{2} \sin 2\alpha \right] + c \right\} = \\ &= 0,8 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 1200 \left\{ 1,867 \cdot 10^{-3} \cdot 700 \left[ \left( \frac{1+0,49}{2} + \frac{1-0,49}{2} \cos 60 \right) \operatorname{tg} 20 + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \frac{1-0,49}{2} \sin 60 \right] + 0,355 \right\} = 30144 \left\{ 1,307 \left[ (0,745 + 0,255 \cdot 0,5) \cdot 0,364 + \right. \right. \\ &+ \left. \left. 0,255 \cdot 0,866 \right] + 0,355 \right\} = 30144 \left\{ 1,307 \left[ 0,3176 + 0,2208 \right] + 0,355 \right\} = \\ &= 30144 \cdot 1,059 = 31913 \text{ кгс} = \mathbf{31,913 \text{ тс}}. \end{aligned}$$

Проверка размерности:  $[F_d] = [\text{см} \cdot \text{см} \cdot (\text{кгс/см}^3) \cdot \text{см}] = [\text{кгс}]$ .

Нагрузка на анкер  $P_w = P_d / \gamma_n = 31,913 / 1,4 = \mathbf{22,80 \text{ тс}}$ .

Площадь сечения тяги анкера  $F_a$  должна удовлетворять условию для постоянных анкеров

$$F_a \geq 1,58 P_w / \sigma_T = 1,58 \cdot 22800 / (225 \cdot 9,81) = 16,32 \text{ см}^2.$$

По СП 16.13330.2011 [4] табл. В5 для стали С255 по ГОСТ 27772 расчетное значение предела текучести  $R_u = 225 \text{ МПа}$  при  $\gamma_m = 1,05$ .

Тогда диаметр тяги  $d_T = \sqrt{4F_a / \pi} = \sqrt{4 \cdot 16,32 / 3,14} = 4,56 \text{ см}$ .

## 4. Расчет по методике Фундаментпроекта Минмонтажспецстроя СССР

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		204

Несущая способность инъекционных анкеров:

$$F_d = km_p \pi d_b l_b p_b \operatorname{tg} \varphi$$

где  $k=0,6$  – коэффициент неоднородности грунта;

$m_p=0,3$  – коэффициент напряженного состояния грунта;

$d_b=9$  см – диаметр скважины;

$l_b=1200$  см – длина заделки (корня) анкера;

$p_b=15$  кгс/см<sup>2</sup> – величина избыточного давления в зоне заделки при инъектировании (согласно прил. 5 ВСН 506-88 нагнетание раствора производится растворонасосами под давлением 1,5–10 МПа или 15–100 атм.);

средневзвешенное значение угла внутреннего трения  $\varphi_l=(24+16)/2=20^\circ$ .

$$F_d = km_p \pi d_b l_b p_b \operatorname{tg} \varphi = 0,6 \cdot 0,3 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 1200 \cdot 15 \cdot \operatorname{tg} 20 = 33329 \text{ кгс} = \mathbf{33,329 \text{ тс.}}$$

Проверка размерности:  $[F_d] = [\text{см} \cdot \text{см} \cdot \text{кгс}/\text{см}^2] = [\text{кгс}]$ .

### 5. Расчет радиальных затяжек

В дополнение к грунтовым анкерам по окружности сооружения за границей возможной призмы обрушения радиально установлены вертикальные анкеры с затяжкой, удерживающей грунтовые анкера. Количество затяжек и анкеров – 32 шт.

Рассчитаем радиальные затяжки на вес грунта в призме обрушения за минусом удерживающей силы, составленной силами трения поверхности скольжения призмы обрушения и силами сцепления грунта по поверхности скольжения.

За призму обрушения примем объемную фигуру в виде усеченного конуса за минусом цилиндра самого сооружения. Величину откоса при обрушении примем как для глины 1:0,5 (угол откоса  $63^\circ$ ). Заложение откоса  $60 \cdot 0,5 = 30$  м.

Малый диаметр равен диаметру сооружения –  $d = 50$  м.

Большой диаметр конуса  $D = 50 + 2 \cdot 30 = 110$  м.

Отсюда, найдем объем усеченного конуса:

$$V_k = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + Rr + r^2) = \frac{1}{3} \pi \cdot 60 \cdot (55^2 + 55 \cdot 25 + 25^2) = 315570 \text{ м}^3$$

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		205

Объем цилиндра сооружения:

$$V_c = \pi r^2 H = \pi \cdot 25^2 \cdot 60 = 117750 \text{ м}^3$$

Объем фигуры обрушения:

$$V = V_k - V_c = 315570 - 117750 = 197820 \text{ м}^3$$

Тогда вес грунта в призме обрушения:

$$P = \gamma V = 1,81 \cdot 197820 = 358054 \text{ тс (для глины } \gamma=1,81 \text{ тс/м}^3\text{)}.$$

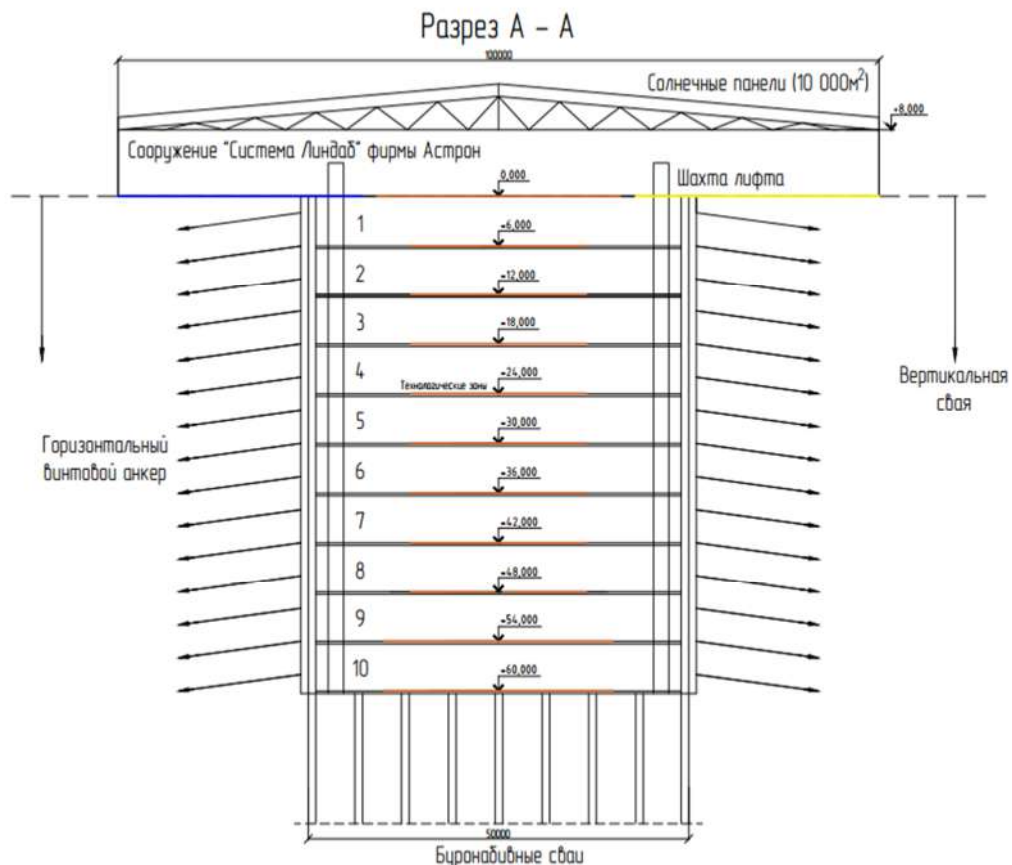
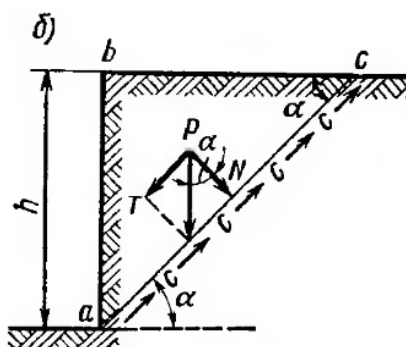


Рис. 5.10. Разрез подземного сооружения

Найдем удерживающую силу, составленную силой трения поверхности скольжения призмы обрушения  $abc$  и силой сцепления грунта по поверхности скольжения  $ac$ .



Из рис. 5.11.

$$\text{ctg} \alpha = (bc)/h = 30/60 = 0,5 \Rightarrow \alpha = 63^\circ,$$

Сила от веса соскальзывающей призмы обрушения:

$$T = P \cdot \sin \alpha = 358054 \cdot \sin 63^\circ = 319028 \text{ тс}$$

Рис. 5.11. Устойчивость откоса

Перпендикулярная сила:

$$N = P \cdot \cos\alpha = 358054 \cdot \cos 63^\circ = 162553 \text{ тс}$$

Площадь боковой поверхности призмы обрушения (усеченного конуса):

$$S = \pi(R + r)L = \pi(55 + 25)67 = 16830 \text{ м}^2$$

где образующая усеченного конуса равна:

$$L = \sqrt{h^2 + a^2} = \sqrt{60^2 + 30^2} = \sqrt{4500} = 67 \text{ м}$$

$a$  – основание откоса (размер  $bc$ ).

Суммарная удерживающая сила (сила трения + сила сцепления):

$$C = Ntg\varphi + cS = 162553 \cdot tg 16^\circ + 4,3 \cdot 16830 = 119022 \text{ тс}$$

Суммарная сила от веса призмы обрушения:

$$F = T - C = 319028 - 119022 = 200004 \text{ тс}$$

Тогда сила, приложенная к каждой из 32-х радиальных затяжек и вертикальных анкеров равна:

$$F_a = \frac{200004 \text{ тс}}{32} = 6250 \text{ тс}$$

Канат по ГОСТ 7668-80  $6 \times 36(1+7+7/7+14)+7 \times 7(1+6)$  диаметром 57 мм имеет разрывное усилие  $P=200$  тонн при  $R=18000$  кгс/см<sup>2</sup>.

Если грунтовые анкера будут выходить за призму обрушения, то они будут воспринимать часть общей нагрузки (см. рис. 3). Верхние анкера будут самыми длинными (около 25–30 м), далее чем ниже, тем короче.

При установке грунтовых анкеров через 3 м по высоте их количество составит  $60/3-2=18$  шт. По окружности количество анкеров - 32 шт. Общее количество равно  $18 \cdot 32=576$  шт. Пусть расчетная нагрузка на усредненный анкер длиной 16 м при расчете по методике ЦНИИС Минтрансстроя – 22,8 тс. Тогда все наклонные анкера воспримут усилие  $22,8 \cdot 576=13133$  тс.

Суммарная сила от веса призмы обрушения уменьшится на эту величину.

$$F=200004-13133=186871 \text{ тс.}$$

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						207
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сила, приложенная к каждой из 32-х радиальных затяжек и вертикальных анкеров равна:

$$F_a = 186871 / 32 = 5840 \text{ тс.}$$

### 5.2.2. Расчет по измененной схеме

Из полученных результатов видно, что применение только грунтовых анкеров с затяжкой не целесообразно. Поэтому для снижения нагрузки на грунтовые анкеры и перераспределения усилий в системе «стена – грунт – анкер», введем в нее дополнительный элемент, а именно буронабивные сваи по периметру сооружения, на расстоянии 10 м от стенки котлована. Это решения призвано снизить нагрузку на грунтовые анкеры, путем уменьшения призмы обрушения грунта. Также такой метод закрепления грунта является более технологичным.

Произведем расчет совместной системы: горизонтальный грунтовый анкер – затяжка – вертикальная буронабивная свая на несущую способность инъекционного анкера по грунту основания и расчет радиальных затяжек на вес грунта в призме обрушения.

Вместо изменяющихся по длине грунтовых анкеров предусматривается универсальный анкер длиной 16 м.

Согласно расчетам проведенным выше несущая способность такого анкера равна 22,8 тс.

Произведем повторный расчет радиальных затяжек с учетом внедрения нового компонента системы.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						208
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем радиальные затяжки на вес грунта в призме обрушения за минусом удерживающей силы, составленной силами трения поверхности скольжения призмы обрушения и силами сцепления грунта по поверхности скольжения.

За призму обрушения примем объемную фигуру в виде усеченного конуса за минусом цилиндра самого сооружения. Заложение откоса 10 м.

Малый диаметр равен диаметру сооружения –  $d = 50$  м.

Большой диаметр конуса  $D = 50 + 2 \cdot 10 = 70$  м.

Отсюда, найдем объем усеченного конуса:

$$V_K = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + Rr + r^2) = \frac{1}{3} \pi \cdot 60 \cdot (35^2 + 35 \cdot 25 + 25^2) = 171130 \text{ м}^3$$

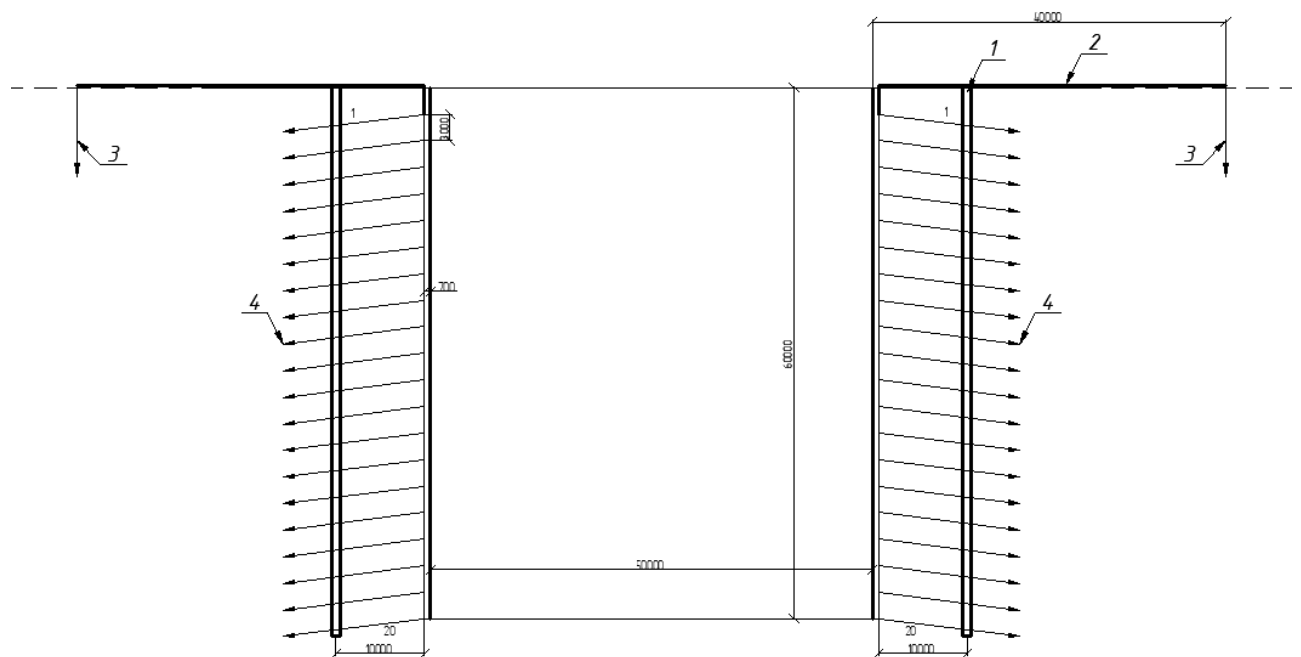


Рис. 5.13. Разрез котлована с дополнительными элементами крепления стенок

1 – буронабивная свая; 2 – затяжка; 3 – вертикальные анкеры;  
4 – грунтовый анкер

Объем цилиндра сооружения:

$$V_C = \pi r^2 H = \pi \cdot 25^2 \cdot 60 = 117750 \text{ м}^3$$

Объем фигуры обрушения:

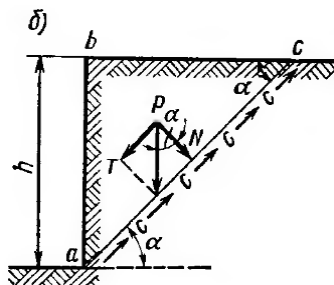
$$V = V_K - V_C = 171130 - 117750 = 53380 \text{ м}^3$$



Тогда вес грунта в призме обрушения:

$$P = \gamma V = 1,81 \cdot 53380 = 96618 \text{ тс (для глины } \gamma=1,81 \text{ тс/м}^3\text{)}.$$

Найдем удерживающую силу, составленную силой трения поверхности скольжения призмы обрушения  $abc$  и силой сцепления грунта по поверхности скольжения  $ac$ .



Из рис. 5.14.

$$\operatorname{ctg}\alpha = (bc)/h = 10/60 = 0,1678 \Rightarrow \alpha = 81^\circ,$$

Сила от веса соскальзывающей призмы обрушения:

$$T = P \cdot \sin\alpha = 96618 \cdot \sin 81^\circ = 95362 \text{ тс}$$

Рис. 5.14. Устойчивость откоса

Перпендикулярная сила:

$$N = P \cdot \cos\alpha = 96618 \cdot \cos 81^\circ = 15115 \text{ тс}$$

Площадь боковой поверхности призмы обрушения (усеченного конуса):

$$S = \pi(R + r)L = \pi(35 + 25)60,83 = 11460 \text{ м}^2$$

где образующая усеченного конуса равна:

$$L = \sqrt{h^2 + a^2} = \sqrt{60^2 + 10^2} = \sqrt{3700} = 60,83 \text{ м}$$

$a$  – основание откоса (размер  $bc$ ).

Суммарная удерживающая сила (сила трения + сила сцепления):

$$C = Ntg\varphi + cS = 15115 \cdot tg 16^\circ + 4,3 \cdot 11460 = 53612 \text{ тс}$$

Суммарная сила от веса призмы обрушения:

$$F = T - C = 95362 - 53612 = 41750 \text{ тс}$$

Тогда сила, приложенная к каждой из 32-х радиальных затяжек и вертикальных анкеров равна:

$$F_a = \frac{41750 \text{ тс}}{32} = 1305 \text{ тс}$$

Канат по ГОСТ 7668-80  $6 \times 36(1+7+7/7+14)+7 \times 7(1+6)$  диаметром 57 мм имеет разрывное усилие  $P = 200$  тонн при  $R = 18000$  кгс/см<sup>2</sup>.

Тогда все наклонные анкера воспримут усилие  $22,8 \cdot 576 = 13133$  тс.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						210
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Суммарная сила от веса призмы обрушения уменьшится на эту величину:

$$F=41750-13133=28617 \text{ тс.}$$

Сила, приложенная к каждой из 32-х радиальных затяжек и вертикальных анкеров равна:

$$F_a=28617/32=895 \text{ тс.}$$

### 5.3. Анализ полученных результатов

1. Был рассчитан усредненный анкер длиной 16 м с заделкой 12 м на несущую способность по грунту. При расчете тремя методами был принят наименьший результат – 22,8 тс. При этом диаметр тяги – 4,56 см.

2. В первом рассмотренном варианте в случае если грунтовые анкера попадут в призму обрушения, то вес соскальзывающей призмы грунта должен будет полностью восприниматься радиальными затяжками, но при этом усилие в каждой из 32-х затяжек будет очень значительным (порядка 6000 тс). Если же все грунтовые анкера будут выходить своим корнем за призму обрушения (верхние будут самыми длинными около 25–30 м, далее чем ниже, тем короче), то они воспримут часть нагрузки, но усилия в радиальных затяжках изменятся незначительно, в пределах 7-15%.

3. При втором варианте закрепления стенок котлована, большую часть нагрузки от грунта воспринимают на себя промежуточные буронабивные сваи. Затяжки, идущие от буронабивной сваи к вертикальному анкеру, как и в предыдущем варианте, будут подвержены значительному загрузению (порядка 6000 тс). Но применяя стандартный анкер длиной 16 м, нагрузка на затяжку подходящую от анкеров к промежуточной свае будет составлять порядка 900 тс. Что упрощает процесс устройства данного варианта ограждения. Также в этом случае затяжки идущие от промежуточной сваи к вертикальному анкеру могут быть выполнены в виде стандартных жестких профилей. Вторая схема также позволяет снизить материалоемкость оснастки, так как затяжки от анкеров к промежуточной свае должны быть значительно меньшего сечения, чем в первом случае.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		211

4. Такой способ устройства ограждения котлована также позволяет уйти от мокрых процессов, предусмотренных для большинства технологий по возведению ограждений котлована и подземных сооружений.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		212

## 6. Разработка рекомендаций для практического применения

В этом разделе выделим основные преимущества нового метода возведения многоэтажных подземных зданий, проанализируем каждое из них и попробуем выделить некоторые особенности процесса строительства, которые бы позволяли получить максимальный эффект.

### 6.1. Условия застройки

Метод идеально подходит для условий плотной городской застройки. Строительство здания в стесненных условиях становится возможным благодаря переносу большинства работ во внутреннюю площадь здания. Также прочное закрепление стенок котлована позволяет минимизировать влияние процесса возведения на существующие рядом здания.

Помимо процесса возведения актуальность применения данного метода подчеркивается практикой. Новая технология позволяет получить максимальный эффект при увеличении количества подземных этажей. Все эти площади позволяют увеличить количество производственных площадей, а в случае применения данной концепции к общественным и жилым зданиям, коммерческой недвижимости, парковок и пр., что является важным аспектом жизнедеятельности человека.

### 6.2. Характеристики грунта

Степень освоения подземного пространства требует довольно глубокого котлована. Например, в описанном нами здании грунт вынимается до отметки -60.000, что создает много трудностей и предъявление высоких требований к грунту основания. Однако описанная технология производства работ минимизирует список этих требований.

Во-первых, поэтапная разработка котлована уменьшает высоту незакрепленной стенки. Во-вторых, постепенно по мере углубления котлована производится закрепление стенок. Грунтовые анкеры надежно фиксируют грунтовые массы.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		213

Все эти меры направлены на смягчение требований к характеристикам грунта. Работы можно производить даже в нестабильных водонасыщенных грунтах.

### **6.3. Используемые материалы конструкций**

Все предложенные новшества касательно конструкций перекрытий не требуют применения новых материалов, в работе могут быть использованы традиционные составы бетона.

Смесь, используемая при устройстве буронабивных свай-колонн, также может иметь привычные свойства.

Поиск новых материалов наиболее актуален для конструкций стен, то есть для метода опускающегося бетона. При всех прочих преимуществах предложенного метода стоит отметить факт, что он ни разу не применялся на практике и требования к смеси имеют пока лишь теоретические основания.

Авторы метода опускающегося бетона в ссылаются даже не на бетонную, а на композитную смесь. По их мнению, для нового способа бетонирования подойдет абсолютно новый, еще не подобранный материал. Однако ввиду его отсутствия нам придется исходить из требований к реальным бетонным смесям. Эффективным будет применение добавок, ускоряющих схватывание раствора. Это позволит не только существенно увеличить скорость возведения конструкций, но и избавит от необходимости длительного прогрева полученной конструкции в холодное время.

### **6.5. Тепловлажностный режим на площадке строительства**

При заливке конструкций стен рекомендуется использовать добавки-ускорители твердения. Так что даже в холодное время возможны условия, при которых будет отсутствовать необходимость в прогреве конструкции.

Заливка конструкций плит перекрытия производится традиционным методом, за исключением отсутствия горизонтальной опалубки в привычном понимании. Однако одновременная заливка пакета из 2 плит позволяет добиться некоторых преимуществ. Помимо сокращения конструкций опалубки также достигается значительно уменьшение модуля поверхности бетона.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						214
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Следовательно, метод максимально приспособлен для применения в холодное время, что существенно уменьшит требования к показателю температуры окружающей среды при производстве работ в сравнении с известными ранее методами.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						215
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 7. Экономическое обоснование разработанных решений

### 7.1. Сроки строительства

Попробуем представить примерный срок строительства подземной части комплекса:

- Свайные работы – 2 месяца
- Производство конструкций стен, колонн и перекрытия – 4 месяца

Продолжительность работ подготовительного периода, как правило, не превышает 16 - 19 % продолжительности основного периода строительства.

Продолжительность строительства комплекса с десятиэтажной подземной частью диаметром 50 м и высотой 60 м и надземным этажом высотой 9 м, 18 месяцев.

- Подготовительный период – 1 месяц
- Возведение подземной части – 6 месяцев
- Возведение надземной части – 6 месяцев
- Отделочные работы – 5 месяца

### 7.2. Определение сметной стоимости объекта строительства

Сметная стоимость является составной частью сметных расчетов, наиболее важным и значительным результатом разработки смет на строительство здания или сооружения, и устанавливает потребность строительства в финансовых ресурсах. Исходными данными для определения сметной стоимости могут служить проектная и рабочая документация, в составе которых принимаются параметры зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов, ведомости объемов строительных и монтажных работ, а так же ведомость и спецификация на оборудование.

В зависимости от этапа жизненного цикла проекта и целей оценки применяются различные виды и методы оценки стоимости проекта. Исходя из целей оценок, разной бывает и точность таких оценок. На этапе концепции проекта оценивается жизнеспособность финансовой реализуемости проекта.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		216

Предварительная смета может показать каков порядок необходимый инвестиций и время окупаемости проекта.

Сметная стоимость строительно-монтажных работ определяется на основе объемов работ, принятых и согласованных единичных расценок.

По экономическому содержанию сметная стоимость складывается из затрат на строительное производство и сметную прибыль. Затраты на производство работ делятся на две группы: прямые затраты и накладные затраты.

Соответственно этому определению формула единичной сметной стоимости работ может быть представлена в следующем виде:

$$C_{\text{смп}} = Z_{\text{п}} + H_{\text{з}} + H_{\text{п}},$$

где  $Z_{\text{п}}$  – прямые затраты;  $H_{\text{з}}$  – накладные затраты;  $H_{\text{п}}$  – сметная прибыль.

Прямые затраты включают в себя: оплату труда рабочих, стоимость материалов и изделий, расходы на эксплуатацию машин и механизмов.

Накладные расходы предусматриваются в сметах на строительство для покрытия собственных расходов строительной организации, связанных с организацией и управлением строительством. Накладные расходы зависят от вида строительства. Сметная прибыль – это отчисление денежных средств для покрытия расходов строительной организации на развитие производства и материальное стимулирование работников. Норматив сметной прибыли при выполнении строительно-монтажных работ бетонных и железобетонных монолитных конструкций в строительстве составляет 65% от фонда оплаты труда рабочих.

Локальная смета – первичный документ сметной документации. Локальные сметные расчеты составляются на основе физических объемов работ, конструктивных чертежей элементов зданий и сооружений, принятых методом производства работ.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						217
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



## Локальный сметный расчет

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.		Сметная стоимость, руб.				
				на ед.	всего	в базисных ценах		в текущих (прогнозных) ценах		
						на ед. изм.	общая	на ед. изм.	общая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Раздел 1.</b>										
1	ТЕР01-02-027-03	Планировка площадей: механизированным способом, группа грунтов 3	1000 м2		12.10	165.15	1998.32	1152.97		13950.94
2	ТЕР01-01-036-02	Щебень из природного камня для строительных работ марка: 1000, фракция 20-40 мм	1000 м2		24.20	12.99	314.36	174.10		4213.22
3	ТСЦ-408-0011	Устройство буронабивных свай диаметром 1000 мм под защитой обсадной трубы буровыми установками с крутящим моментом 150-250 кНм: в грунтах 4 группы	м3		1178.00	126.00	148428.00	550.83		648877.74
4	ТЕР05-01-076-04	Цена бетона В60	1 м3							43850800.00
5	ТЕР04-04-005-01	Откачка воды насосом при роторном бурении при глубине скважины: до 500 м	1 сутки откачки		15661.00			5600.00		87701600.00
6	ТЕР01-01-012-03	Разработка грунта с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью: 2,5 (1,5-3) м3, группа грунтов 3	1000 м3		117.81	3752.28	442056.11	21085.98		2484139.30
7	ТССЦпг03-21-01-010	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами грузоподъемностью 10 т, работающих вне карьера, на расстояние: до 10 км I класс груза	1 т		176715.00	14.21	251120.15	66.76		11797493.40
8	ТЕР06-01-091-08	Бетонирование перекрытий с помощью автобетононасоса в крупнощитовой и объемно-переставной опалубках толщиной: свыше 20 см	10 м2		2355.00	31819.89	74935840.95	153001.85		360319356.75

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ

Лист

218

## Локальный сметный расчет

10	ТЕР06-01-092-05	Установка каркасов и сеток: в перекрытиях массой одного элемента до 50 кг	1 т	1059.40	7879.98	8348050.81	44741.03	47398647.18
11	ТЕР06-01-089-01	Монтаж и демонтаж блочной опалубки стен	10 м2	31.42	462.15	14520.75	3518.60	110554.41
12	ТЕР06-01-090-11	Бетонирование конструкций наружных стен с помощью автобетононасоса в крупнощитовой, объемно-переставной и блочной опалубках (без вычета проемов) толщиной: свыше 30 см	10 м2	31.42	518.21	16282.16	2366.48	74354.80
13	ТСЦ-401-0208	Бетон гидротехнический, класс: В60	м3	24103.00			5600.00	134976800.00
14	ТЕР06-01-092-02	Установка каркасов и сеток: в стенах массой одного элемента до 50 кг	1 т	353.00	8013.72	2828843.16	46347.42	16360639.26
15	ТЕР06-01-089-01	Монтаж и демонтаж блочной опалубки стен	10 м2	31.42	462.15	14520.75	3518.60	110554.41
16	ТЕР22-05-002-08	Продавливание без разработки грунта (прокол) на длину: до 30 м труб диаметром 100 мм /винтовые сваи/	100 м	576.00	17016.98	9801780.48	218419.45	125809603.20
17	ТЕР30-08-048-01	Укрепление поверхности матрацами "Рено". габионные из оцинкованной сетки из проволоки	10 м2	942.00	2669.89	2515036.38	19682.04	18540481.68
18	ТСЭМ-030203	Домкраты гидравлические грузоподъемностью: до 63т	маш.-ч	9000.00	197.16	1774440.00	903.12	8128080.00
		Итого по разделу 1, млн Р						860.07
		Итого по разделу 1, млн €						11.95
		НДС 20%, млн €						2.39
		Раздел 2.						
19		Надземная часть	м2	10000.00			30000.00	300.00
		Итого по разделу 1, млн Р						300.00
		Итого по разделу 1, млн €						4.17
		Раздел 3.						
20		Оборудование для комплекса	млн Р					1798.50
21		Солнечные панели	млн Р					25.00
		Итого по разделу 1, млн Р						1823.50
		Итого по разделу 1, млн €						25.33
		ВСЕГО по смете						43.83

Сметная стоимость всего объекта 44 млн. евро. Основная часть расходов это возведение подземной части здания и подбор необходимого оборудования. Оценка стоимости проекта является примерной, т.к. расчет выполнен не на основе проектной документации. Увеличим стоимость строительства подземной и надземной части до 25 млн. евро.

### **7.3. Технико-экономические показатели комплекса:**

Надземная часть комплекса переработки отходов представляет собой здание 100×100 м и высотой 9 м.

Внутреннее пространство надземной части поделено на:

- 1) зона приёма бытовых отходов с шахтными бункерами, для приема отходов из авто мусоровозов (в час – 16 мусоровозов, 160т, в год – 1.4 млн. т);
- 2) зона инженерного оборудования (очистка, вентиляция, рекуперация);
- 3) производственно-складская зона (энергохозяйство и т.д.);
- 4) зона складирования упакованных, прессованных отходов площадью 5500 кв. м. для продажи на переработку (с трехдневным запасом хранения);
- 5) административно бытовая зона (офисы, служебные и бытовые помещения).
- 6) На крыше комплекса располагается 1728 солнечных панелей

Подземная часть представляет собой бетонный цилиндр диаметром 50 м и глубиной 60 м. Количество подземных этажей – 10, с общей площадью около 20 000 м<sup>2</sup>.

Общая стоимость комплекса – около 50 млн. евро;

Стоимость 1 м<sup>2</sup> – 1667 евро; стоимость 1 м<sup>3</sup> = 424 евро

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						220
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе проведен анализ некоторых современных методов строительства подземных сооружений, рассмотрены их преимущества, отмечены недостатки. Также рассмотрено современное состояние отрасли обращения с отходами в РФ.

Результатом проведенного исследования является сформированная концепция подземного комплекса по управлению отходами, с функциями сортировки, сжигания и утилизации ТКО. Выстроена полная технологическая цепочка процесса переработки, а также процесса производства работ по строительству данного сооружения.

Для обеспечения автономности и ресурсоэффективности применены солнечные панели производящие электроэнергию, которая вливается в общий энергетический баланс комплекса.

Для резервации и сохранения электроэнергии запроектированы гравитационные энергонакапливающие элементы, позволяющие в нужный момент дополнить недостающую электроэнергию.

Данная концепция базируется на изобретенном недавно способе формирования железобетонных конструкций, пока еще не применяемого на практике, и известных ранее методах с частичным решением их основных недостатков.

Также предложено решение по одному из основных сложных элементов данной технологии, а именно закрепление стенок котлована от обрушения в процессе возведения подземного комплекса

В ходе исследования подготовлена к печати статья в «Вестнике ЮУрГУ».

Основные преимущества предлагаемого способа заключаются в существенном сокращении сроков строительства, возможности практически полного отказа от производства мокрых работ. Также данная технология имеет потенциал для высокой степени автоматизации и роботизации.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		221

Важно, что при всех описанных выше плюсах новой технологии экономическое сравнение ее с традиционными методами строительства дает весьма неплохие результаты. Конечно, однозначно говорить об общем удешевлении строительства говорить пока рано, но, учитывая высокое качество получаемых сооружений и снижение стоимости некоторых отдельных процессов, можно отметить, что метод найдет свое применение на практике.

Как и любая инновация, концепция не лишена недостатков. Основные из них – отсутствие или недостаточность данных по некоторым внедренным технологиям, сложность и дороговизна выполнения некоторых отдельных технологических процессов, требования в высококвалифицированном рабочем составе.

Важно, что есть идеальный конечный результат, цель, к которой необходимо стремиться. Может и не полностью, может, от части новшеств придется все-таки отступить, но идея в целом должна найти применение на практике. А перед этим надо доработать некоторые моменты. Это и узлы опирания «стена-колонна», «перекрытие-колонна», узлы сопряжения «перекрытие-стена».

Также требуется разработка технологической площадки для применения технологии опускающегося бетона и грузоподъемных механизмов.

По завершении исследований по этим вопросам вполне вероятно, что метод найдет широкое применение в различных промышленных отраслях.

					<i>АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						222
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голушко А. Д., Александрова Е. В. Метод «Стена в грунте» // Молодой ученый. – 2017. – №15. – С. 18–23. URL <https://moluch.ru/archive/149/42129/> (дата обращения: 12.06.2019).

2. Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Королевский К.Ю., Король Е.А. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов: Научное издание. –М.: Издательство АСВ, 2010. – 360 с.

3. Зубков В.М. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте». Под ред. канд. техн. наук В.М.Зубкова / В.М.Зубков, Е.М.Перлей, В.Ф. Раюк, Н.В. Феоктистова, С.П.Шик – Л.: Стройиздат, Ленингр.отд-ние, 1977. – 200 с.

4. Пономарев, А.Б. Подземное строительство: учеб. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. Унта, 2014 – 262 с.

5. Уланова О.В. Комплексное устойчивое управление отходами. Жилищно-коммунальное хозяйство: учебное пособие / О.В. Уланова и др.; под общ. ред. О.В. Улановой. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 520 с.

6. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелко-го заложения. Специальные работы / Д.С. Конюхов. Учеб. пособие для вузов. – М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.

7. Тетиор А.Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений / А.Н. Тетиор, В.Ф. Логинов. – К.: Будивэльнык, 1990. – 168 с.

8. Клинков А.С. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов.: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 100 экз. – 188 с.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		223

9. Теличенко В.И. Технология строительных процессов: В 2 ч. Ч. 1.: Учеб. для строит. вузов/ В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 392 с.

10. Саакян А.О. Возведение зданий и сооружений методом подъема: Исследования, проектирование, строительство/ А. О. Саакян, Р. О. Саакян, С. Х. Шахназарян – М.: Стройиздат, 1982. – 551 с. ил.

11. Смородинов М.И. Анкерные устройства в строительстве. – М.: Стройиздат, 1983. – 184 с.

12. СТО НОСТРОЙ 109-2013. Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ. – М.: ООО «Издательство «БСТ», 2013. – 234 с.

13. Штоль Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений: Учеб. пособие для вузов: Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т. М. Штоль, В.И. Теличенко, В.И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288 с.

14. СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация.- Введ. 18.05.18 г. – М.: Минстрой России, 2017. – 10 с.

15. Бобович Б.Б. Переработка промышленных отходов / Б.Б. Бобович. Учебник для вузов. – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. – 445 с.

16. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. – Введ. 04.06.2017 г. – М.: Минстрой России, 2016. – 96 с.

17. СП 16.13330.2017.Стальные конструкции. – Введ. 28.08.2017г. – М.: Минстрой России, 2017. – 154 с.

18. Пономарев, А.Б. Подземное строительство: учеб. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 262 с.

19. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов / РААСН. – М., 2004. – 208 с.

21. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др. – М.: Стройиздат, – 1985.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		224

22. Руководство по проектированию и технологии устройства анкерного крепления в транспортном строительстве. М., НИИТрансстрой, – 1987.
23. ВСН 506-88 Проектирование и устройство грунтовых анкеров. – М., Минмонтажспец-строй СССР, - 1985.
24. Мостков, В.М. Подземные сооружения большого сечения / В.М. Мостков. – М.: Недра, 1974. – 320 с.
25. Рассказова, Н.С. К вопросу о системе обращения с отходами в России (на примере субъекта РФ Челябинской области) / Н.С. Рассказова, Н.Т. Шеремет, В.И. Пронин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №3. – С. 347–352.
26. Банин, Л.А. Специальные методы строительства заглубленных помещений в сложных инженерно-геологических условиях / Л.А. Банин. – М.: ЦБНТИ, 1983. – 40 с.
27. Пат. RU2566540C1 Российская Федерация, МПК7 Е 04 В 2/84 (2006.01); Е 04 G 11/22 (2006.01). Способ формования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, С.Г. Головнев, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов. – № 2014139756/03; заявл. 30.09.14; опубл. 27.10.2015, Бюл. №30. – 2 с.
28. Пат. RU2604098C1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 29/045 (2006.01); Способ строительства подземного многоэтажного сооружения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов. – № 2015147095/03; заявл. 02.11.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. №34. – 2 с.
29. Рассказова, Н.С. К вопросу о системе обращения с отходами в России (на примере субъекта РФ Челябинской области) / Н.С. Рассказова, Н.Т. Шеремет, В.И. Пронин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №3. – С. 347–352.
30. Мацкевич, А.Ф. Проектирование и применение скользящей опалубки / А.Ф. Мацкевич. – Горький: ГТУ, 1984. – 70 с.

					АС-278-08.04.01-2019-161-ПЗ	Лист
						225
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		