

УСТРОЙСТВО ДРЕНАЖА ПОДЗЕМНОГО КОНТУРА В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

С.В. Сольский¹, А.С. Алимирзоев², Е.В. Булганин³, С.В. Кубетов⁴

Безаварийная и безопасная эксплуатация промышленных и гражданских зданий и сооружений во многом зависит от правильного водообустройства и, в частности, от системы дренирования, которая в общем случае предназначена для понижения уровня грунтовых вод, организованного отвода профильтровавшейся воды, а также понижения давления грунтовых вод на подземные, заглубленные элементы конструкций. Для профилактики отказов дренажа, оборудованного в сложных инженерно-геологических условиях, необходимо выявить все негативные факторы, влияющие на его работоспособность, и минимизировать их влияние путем разработки оригинальных конструктивных решений для каждого конкретного случая [1]. Однако, не смотря на многообразие условий и факторов, влияющих на выбор той или иной конструкции, отраслевую принадлежность или функциональное назначение дренируемого объекта, можно сформулировать общий алгоритм принятия решений для проектирования и строительства дренажных систем в сложных инженерно-геологических условиях, обеспечивающих в дальнейшем надежную и безопасную эксплуатацию сооружений с заглубленным подземным контуром.

Решение такой задачи рассмотрим на примере дренажного обустройства здания производственного назначения, проект которого реализован строительством и принят в эксплуатацию.

Объект расположен на территории промплощадки в районе северо-восточной окраины г. Белоусово Жуковского района Калужской области. Проектируемое сооружение – одноэтажное, прямоугольное, из монолитного железобетона с размерами основного объема в плане 70,5х60,0 м и площадью 4230 м², со сложной конфигурацией подземного контура и значительной глубиной заложения фундамента (до 10 м). Абсолютные отметки заглубления подошвы фундамента составляют 177,50 м основной части, 174,10 м заглубленной части. Здание относится к сооружениям повышенного уровня ответственности.

¹ Докт. техн. наук, зав. отделом

Тел.: (812) 493-93-47, E-mail: SolskiySV@vniig.ru

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 195220, Санкт-Петербург, Гжатская, 21

² Инженер

Тел.: (812) 458-56-62, E-mail: AAlimirzoev@proektvodstroi.ru

³ Инженер

Тел.: (812) 458-56-62, E-mail: EBulganin@proektvodstroi.ru

⁴ Инженер

Тел.: (812) 458-56-62, E-mail: SKubetov@proektvodstroi.ru

ООО «НПК Проектводстрой», 195220, Санкт-Петербург, пр. Непокоренных, 47А

строительный период, а также обеспечение высокой надежности сооружения в период эксплуатации.

На основе имеющегося опыта проектирования [2 – 4] были выбраны следующие технические решения.

На строительный период (обеспечение безопасных условий производства работ в котловане откосного типа):

устройство открытых водосборных канав для сбора водопритока по периметру основной части котлована. Для сбора грунтовых вод в котловане в месте его углубления устраиваются приямки с установкой насосов, с разуклонкой водосборных канав к ним;

устройство разгрузочных скважин по периметру заглубленной части котлована;

тампонаж разгрузочных скважин по окончании строительного периода;

устройство наблюдательных скважин по периметру основной и заглубленной частей дренажа;

противоэрозионное крепление откосов котлована.

На период эксплуатации сооружения (снижение притока к дренажу):

устройство противодиффузионного экрана по дну заглубленной части котлована из геосинтетического материала на основе бентонита типа Bentomat;

устройство дренажа, конструктивно представляющего собой систему из пластового дренажа в основании, усиленного бесполостными дренами, и кольцевого трубчатого дренажа по периметру подземного контура здания.

После принятия принципиальных конструктивных решений необходимо выполнить обоснование параметров всех элементов системы дренирования как на строительный, так и на эксплуатационный периоды, включающие следующие расчеты:

грунтовый сток на периоды строительства и эксплуатации;

поверхностный сток на период строительства;

фильтрационная прочность основания от действия напорных вод;

устойчивость откосов котлована, выбор заложения и величины берм;

гидравлические расчеты пропускной способности каналов на период строительства и дрен на период эксплуатации.

Максимальный мгновенный расход дождевого стока 10% обеспеченности с площади котлована составляет 2,17 л/с или 0,002 м³/с. Задача отведения поверхностного стока решена организацией водосборной сети с доотливом.

Исходя из анализа гидродинамического режима подземных вод рассматриваемого участка, необходимости учета условий питания и разгрузки подземных вод, сложного двухступенчатого строительного котлована, расчет водопритоков осуществлялся на численной геофильтрационной модели.

Рассматриваемое общее трехмерное, нестационарное уравнение фильтрации для напорного режима в изолированном пласте имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) = \eta(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

Таблица 1

Прогнозные водопритоки в котлованы и к пластовому дренажу

K_{ϕ} водоносного горизонта, м/сут	Приток в большой котлован, м ³ /сут	Приток в малый котлован, м ³ /сут
0,1	0,1	5
1	0,07	44
5	0,07	216

Из рис.2 и табл. 1 видно, что основная часть притока в большой котлован перехватывается малой заглубленной частью котлована. В связи с низкой проводимостью перекрывающих суглинков и глин приток в большой котлован будет незначительным.

Исходя из результатов гидродинамического численного моделирования, водоприток в котлован без специальной дренажной защиты, в худшем случае (при коэффициенте фильтрации напорного водоносного горизонта $K_{\phi} = 5$ м/сут) составит: в основную часть – 43 м³/сут, в заглубленную часть – 216 м³/сут. В качестве мероприятий по защите котлована на строительный период в данных гидрогеологических условиях предложено использовать разгрузочные скважины, дренирующие напорный водоносный горизонт. Цель разгрузочных скважин – обеспечить эффективное снижение напоров в водоносном горизонте на период строительства. Разгрузочные скважины устраиваются по периметру основной и заглубленной частей котлована с шагом 5 м. Скважины выполняются диаметром 400 мм с заполнением щебнем фракцией 5 – 20 мм. Отметка низа скважин назначалась из условия прохода через весь пласт песчаного водовмещающего грунта с заглублением в последующий слой минимум на 500 мм. Водоприток при проходке большого котлована глубиной 6,7 м при этом не превысит 43 м³/сут. Поэтому проходку большого котлована рационально производить при организации водоотлива из самого котлована.

При проходке малого глубокого котлована будут вскрыты пески напорного водоносного горизонта. Учитывая недостаточную изученность напорного водоносного горизонта, существенные прогнозные притоки в малый котлован (около 200 м³/сут) и напоры до 10 м над дном котлована, при строительстве сооружения необходимы специальные мероприятия для обеспечения безопасного вскрытия водонасыщенных отложений [6].

На численной модели задавались разгрузочные скважины, оборудованные на напорный водоносный горизонт, расположенные по периметру глубокого котлована. В каждую из скважин задан с помощью модуля «дрена» уровень, соответствующий отметке водоотлива (дно котлована).

Разгрузочные скважины должны обеспечивать снижение напоров в водоносном горизонте до отметки 172,50 м БС. При этом определен суммарный расход, поступающий в разгрузочные скважины на начальном этапе проходки котлована (отметка 177,10 м БС) и конечном (отметка 173,50 м БС) (табл. 2).

Следующим этапом численного моделирования являлась оценка водопритоков к дренажной системе сооружения на период эксплуатации.

На модели рассматривался вариант защиты проектируемого сооружения с помощью активного дренажа (без использования специальных

гидроизоляционных материалов). Учитывая, что приток к дренажной системе будет зависеть в первую очередь от коэффициентов фильтрации песков напорного водоносного горизонта, для расчетов приняты три значения $K_{\phi} - 0,1; 1,0$ и $5,0$ м/сут [7].

Таблица 2

Прогнозные водоприток к разгрузочным скважинам

K_{ϕ} напорного водоносного горизонта, м/сут	Приток в глубокий котлован на отметке 177,10 м, м ³ /сут	Приток в глубокий котлован на отметке 173,50 м, м ³ /сут
0,1	2	6
1	15	48
5	60	220

Основная часть притока перехватывается дренажем, оборудованным в нижней части сооружения, вскрывающим напорный водоносный горизонт. В связи с низкой проводимостью перекрывающих суглинков и глин, приток в дренаж верхней части сооружения будет незначительным.

Учитывая существенные водоприток в дренажную систему при коэффициенте фильтрации больше 1 м/сут, для обеспечения безопасной эксплуатации сооружения было принято решение о гидроизоляции основания проектируемого сооружения.

Для исключения гидроразрыва основания оценена фильтрационная прочность грунта по выпору, которая обеспечивается при выполнении условия[7]

$$J_u \leq \frac{1}{\gamma_n} J_{cr,u} \quad (2)$$

где J_u – действующий градиент напора выпора; $J_{cr,u}$ – критический градиент выпора; γ_n – коэффициент надежности, равный 1,1.

Проанализировав данные по инженерно-геологическим выработкам, был выполнен расчет и сравнительный анализ фактических градиентов, действующих на основание котлована, и допустимых градиентов для грунта основания. Сравнительный анализ, проведенный для наиболее слабых в отношении фильтрационной прочности грунтов, показал, что допустимыми отметками дна котлована являются отметки 177,60 и 177,30 м.

При выходе котлована на отметку абс. 177,60 м производится анализ динамики изменения уровней водоносного горизонта по установленной сети пьезометров. В случае подтверждения опасности гидроразрыва рекомендуется выполнить превентивные мероприятия по предотвращению его развития.

Расчет устойчивости бортов котлована определен в соответствии с п.5.9 [6]. Расчет устойчивости откосов выполнен в программном комплексе PLAXIS 2D.

В качестве расчетной модели использовалась модель Кулона-Мора (модель MC). Модель Кулона-Мора содержит пять входных параметров: E и ν – параметры упругости грунта; ϕ и c – параметры пластичности грунта; ψ – угол дилатансии. Модель Кулона-Мора представляет собой аппроксимацию первого порядка поведения грунта или скальной породы.

Коэффициенты устойчивости склона на участке определялись из условия

$$k_{st} \geq [k_{st}], \quad (3)$$

где $[k_{st}]$ – нормированное значение коэффициента устойчивости склона (откоса), вычисляемое согласно п. 5.8 [6] применительно к сооружениям II класса ответственности.

Для зданий и сооружений IV класса нормативный коэффициент запаса $[k_{st}]$ имеет следующие значения:

Основное сочетание $[k_{st}] = 1,15$.

Нормативные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления для грунтов представлены в табл.3.

Таблица 3

Показатели угла внутреннего трения и сцепления

Наименование грунта	Угол внутреннего трения φ , град	Удельное сцепление c , кПа
Насыпной грунт	19	38
Суглинок тяжелый песчанистый, тугопластичный	22	28
Песок пылеватый, насыщенный водой, плотный	35	17
Супесь пластичная, песчанистая	32	24
Глина легкая, песчанистая, полутвердая	17	48

В представленных далее результатах расчета изображены теоретические поверхности обрушения откоса с наименьшим коэффициентом устойчивости.

В расчете рассматривается возможность устройства котлована с заложением откосов 1:0,75. В конечно-элементном анализе было рассмотрено два расчетных разреза, обозначения которых представлены на рис. 3.

По результатам расчета по сечению 1-1 откос устойчив, коэффициент устойчивости $k_{st} = 1,71$. По результатам расчета по сечению 2-2 откос в естественном состоянии устойчив, коэффициент устойчивости $k_{st} = 1,56$. Теоретическая поверхность обрушения откосов проектного заложения изображена на рис. 4.

Гидравлический расчет водосборной канавы на строительный период выполнялся по методике [9] из условия равномерного движения воды в канале.

В качестве расчетного расхода, основного расчетного случая, принят максимальный мгновенный расход дождевого стока обеспеченностью 10% с учетом поверхностного стока на период строительства и грунтового стока.

По результатам расчетов принимаем отводной канал со следующими параметрами:

ширина по дну 0,5 м; заложение откосов 1:1;

уклон дна >3‰; рекомендуемая глубина канала 0,5 м.

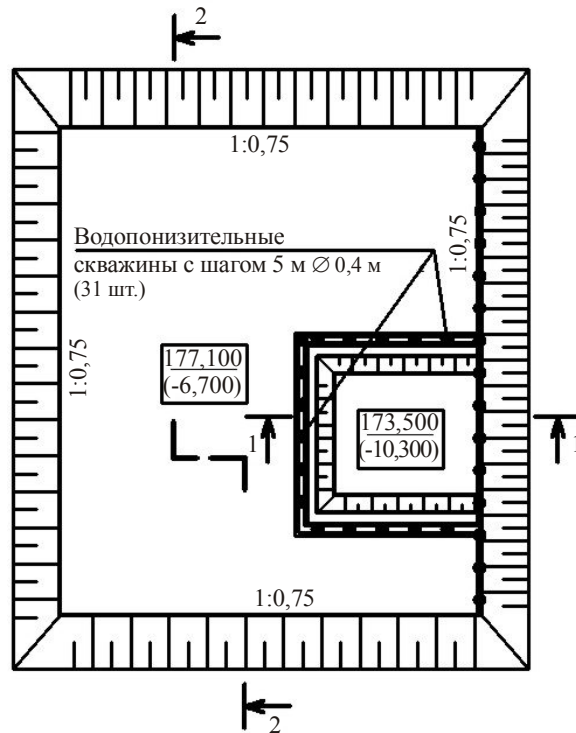


Рис. 3. Схема котлована

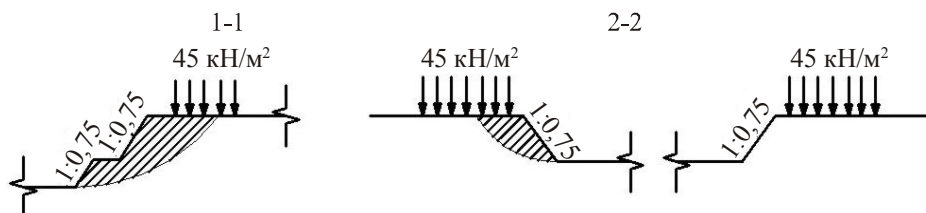


Рис.4. Теоретическая поверхность обрушения бортов котлована (проектное заложение) по сечениям 1-1 и 2-2 (коэффициент устойчивости $k_{st} = 1,71$)

Скорость течения в канале составит 0,2 м/с, что больше на 0,15 м/с допустимой незаилающей скорости, определенной по приложению №18 [9], и меньше максимальной неразмывающей средней скорости 0,52 м/с, следовательно, канал размыву и заилению подвергаться не будет.

Кольцевой трубчатый дренаж на период эксплуатации сооружения представляет собой поливинилхлоридную перфорированную трубу в обертке из защитно-фильтрующего материала для предотвращения возможности заиливания. В качестве расчетного расхода (основного расчетного случая) принят расход, спрогнозированный при проведении гидрогеодинамического моделирования на эксплуатационный период $Q = 2,5$ л/с.

Гидравлический расчет выполняем по методике [10] из условия работы трубы в безнапорном режиме.

По результатам расчетов принимается труба наружным диаметром 250 мм. Максимальная скорость потока, согласно [10], должна быть не больше 3,5 м/с. Условие выполняется.

Для предотвращения выпора напорных грунтовых вод в заглубленной части котлована, разгрузки напорного горизонта и, как следствие, снижения притоков грунтовых вод на период эксплуатации была разработана конструкция гидроизоляции, включающая в себя водонепроницаемую пленку толщиной 1 мм, беспесчаный малоцементный бетон толщиной 200 мм, выравнивающий слой из песка средней крупности с коэффициентом уплотнения 0,95, толщиной 300 мм, бентонитовый мат, еще один выравнивающий слой из песка средней крупности с коэффициентом уплотнения 0,95, толщиной 300 мм. Схема гидроизоляции представлена на рис. 5.

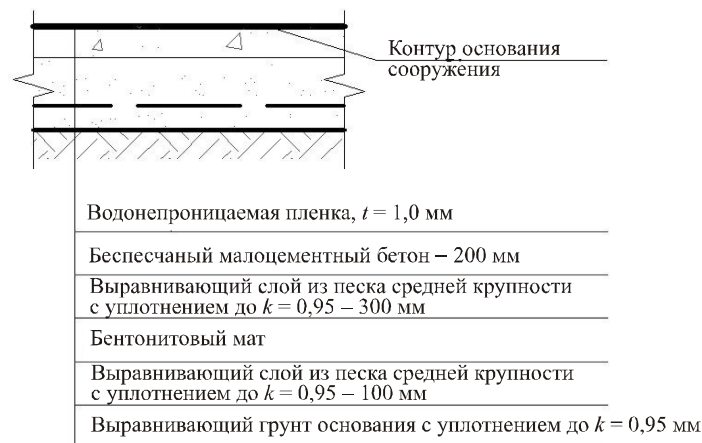


Рис.5. Схема конструкции гидроизоляции подземного бетонного массива сооружения

Таким образом, для защиты котлована и самого сооружения от притока грунтовых и поверхностных вод устроена сеть разгрузочных скважин, система дренажа, состоящая из бесполостных дрен, дренажного коллектора и водоотводящего канала, а так же многослойная гидроизоляция для защиты подземного контура сооружения и самого дренажа. Данные мероприятия позволили снизить приток воды к верхней части до $0,6 \text{ м}^3/\text{сут}$ и к нижней части до $0,7 \text{ м}^3/\text{сут}$, тем самым снизив объемы стока, которые необходимо перекачивать насосами к точке сброса. Кроме того, дренирование обеспечивает снижение противодавления на подземный контур. Схема конструкции дренажа на эксплуатационный период представлена на рис. 6.

Примененный комплексный подход при рассмотрении проблем, возникающих при дренировании подземных контуров заглубленных сооружений (до 10 м) в сложных инженерно-геологических условиях, позволил выявить основные факторы, представляющие техногенную опасность на периоды строительства и эксплуатации, а также негативно влияющие на системы дренирования и водообустройства.

Для решения приведенных задач были проведены гидрогеодинамическое моделирование притока грунтовых вод, расчет устойчивости откосов котлована, гидравлический расчет дренажных систем на периоды строительства и эксплуатации, а также расчет потенциально подверженных гидроразрыву областей фундамента. По результатам расчетов на строительный период разработан и принят ряд решений по защите котлована. С

учетом сложных инженерно-геологических условий, проработана защита не только заглубленных частей здания, но и дренажной системы. Включение в состав гидроизолирующего прослоя в основании предложенной конструкции дренажа служит для уменьшения приточности.



Рис. 6. Схема конструкции дренажа на эксплуатационный период

Опыт успешно реализованных проектных решений позволит применять данный комплексный подход при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов промышленного и гражданского строительства с заглубленным подземным контуром.

Выводы

1. Для сложных инженерно-геологических условий определен перечень основных факторов, осложняющих строительство и эксплуатацию подземных контуров заглубленных зданий и сооружений.

2. Разработанный комплексный подход, включающий расчетное обоснование, новые конструктивные решения и применение современных геосинтетических материалов, позволил решить задачу по гидроизоляции геомассива от подземного контура здания.

3. Подобные решения также будут актуальны при строительстве объектов гражданского и промышленного строительства, имеющих заглубленный подземный контур и расположенных в сложных инженерно-геологических условиях, в частности, в гидротехническом строительстве при возведении подземных бетонных сооружений и зданий ГЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сольский С.В. Основные технические решения по ремонту и реконструкции дренажа грунтовых плотин // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2004. Т. 243. С. 193-203.

2. Исследование гидрогеологической обстановки при строительстве котлована 1-го энергоблока Ленинградской АЭС-2 / С.В.Сольский, Д.П.Самофалов, Е.В.Булганин, М.П.Головина // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2009. Т. 256. С. 72–81.

3. Научное обоснование водообустройства при проектировании магистральных газопроводов Севера и Северо-Запада РФ / С.В.Сольский, Д.П. Самофалов, С.В.Кубетов, Е.В.Булганин, А.А.Архипов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2012. Т. 265. С. 72–81.

4. Сольский С.В., Новицкая О.И и др. Обоснование технических решений по давлению гидроразрыва основания при строительстве котлована хранилища нефтепродуктов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2012. Т. 265. С. 81-91.

5. Сидоренко Г.И., Артемчук С.В. Автоматизация решения фильтрационных задач в САПР ГЭС // Экологический вестник. 2011. № 3(17). С.120-124.

6. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: Изд-во Московского университета. 1979.

7. Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотин из грунтовых материалов. П12-73 / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева Л.1991.

8. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.

9. СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения.

10. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения / Актуализированный СНиП 2.04.03-85.