

УДК 699.82

С.А. Сазонова, Т.М. Бочкарева

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Отмечена актуальность темы гидроизоляции подземных зданий и сооружений. Обоснована необходимость расчета и моделирования реальных условий эксплуатации гидроизоляции. Предложена расчетная модель для выполнения вычислений в программном комплексе Plaxis.

Ключевые слова: гидроизоляция, подземные здания и сооружения, газ радон, отверстия под анкеры, поровое давление, фильтрация грунтовых вод.

За последние десятилетия во всем мире идет стремительный рост городов, в которых, помимо нового наземного строительства и реконструкции памятников архитектуры, интенсивно осваивается подземное пространство: строятся метро, коллекторы глубокого заложения, тоннели различного назначения, многоэтажные подземные гаражи и другие подземные сооружения.

Основными факторами, влияющими на долговечность конструкций подземных сооружений, в первую очередь, в регионах с резко континентальным климатом, являются воздействия воды, водяного пара, солей-антиобледенителей, отрицательных и положительных температур и т.п. [1].

В 95 % подземных и заглубленных сооружений гидроизоляция выходит из строя на ранней стадии эксплуатации, что способствует ускоренному износу железобетонных конструкций. Обычной причиной выхода из строя подземных сооружений является их затопление подземными водами в результате ошибочной конструкции или низкого качества гидроизоляции. Повре-

ждения гидроизоляции приводят к увеличению расходов на ремонтно-восстановительные работы, а порой и к преждевременному, катастрофическому износу сооружений вплоть до обрушения. Насыщенные влагой материалы теряют прочностные и другие важные эксплуатационные качества, а наличие во влаге солей приводит к разрушению материалов и, следовательно, конструкций [2].

Повышение влажности конструкции создает также благоприятные условия для развития в них патогенных микроорганизмов: различных мхов, лишайников, грибков и т.д. Деятельность патогенных микроорганизмов ведет к деструкции материала конструкций и создает внутри помещений атмосферу, вредную для проживания. Таким образом, гидроизоляция – ответственный элемент подземных частей зданий и сооружений [3].

Также одним из актуальных вопросов возведения подземных зданий и сооружений является защита подземного пространства от радиоактивного газа радона. Радон – благородный газ без цвета и запаха, ядовит и радиоактивен. Радон довольно тяжел (в 7,5 раза тяжелее воздуха), он накапливается в толщах земных пород и выделяется в атмосферу.

На открытом пространстве радон содержится в такой низкой концентрации, что обычно не вызывает беспокойства. Однако внутри закрытых объемов радон накапливается. Радон может поступать в помещения из почвы через грунтовый пол, трещины в бетонном полу и стенах, в местах ввода коммуникаций, через дренаж пола, водостоки, стыки, трещины или поры в стенах из пустотелых блоков. Радон также может проникать в помещение вместе с водой из артезианских скважин и выделяться из некоторых материалов, использованных при строительстве здания. Максимальная активность радона обычно наблюдается в подвальных помещениях и на нижних этажах зданий.

Последние исследования в данной области показали, что наибольшую долю радиоактивного облучения человек получает именно от радона. Он составляет $3/4$ годовой дозы облучения, получаемой людьми от земных источников радиации, и примерно половину этой дозы от всех природных источников. Продукты распада радона попадают в легкие человека вместе с воздухом и задерживаются в них. Распадаясь, выделяют альфа-частицы, поражающие клетки эпителия. Распад ядер радона в легочной ткани вызывает микроожоги, а повышенная концен-

трация газа в воздухе может привести к раку. Также альфа-частицы вызывают повреждения в хромосомах клеток костного мозга человека, что увеличивает вероятность развития лейкозов. К сожалению, наиболее уязвимы для радона самые важные клетки – половые, кроветворные и иммунные [4].

В настоящее время, когда актуальность проблемы радиации увеличивается, необходимо делать все возможное во избежание дополнительных факторов облучения. При активном освоении подземного пространства, по нашему мнению, изоляция от этого опасного газа должна рассматриваться наряду с гидроизоляцией. При необходимости проектировщиками должны предусматриваться специальные меры по предотвращению проникновения радона в помещения.

В современный период формирования рыночных отношений проектировщикам предлагается масса новых, часто не проверенных и низкокачественных гидроизоляционных материалов, закладываемых в технологические решения гидроизоляционных систем. Строительный рынок буквально наводнен массой самых разнообразных и дешевых гидроизоляционных материалов. К сожалению, большинство из предлагаемых гидроизоляционных материалов пригодны только для устройства кровель. Гидроизоляция, применяемая в настоящее время для реконструкции подвалов, малопригодна для таких подземных сооружений, как автостоянки, подземные торговые центры, станции метрополитенов и прочие аналогичные сооружения [3].

Подводя итог всему вышесказанному, можно выделить три основные проблемы, связанные с гидроизоляцией подземных зданий и сооружений:

1. В технологиях возведения подземных сооружений не уделяется должного внимания проблеме гидроизоляционных работ: отсутствуют регламенты на применение современных материалов в данных технологиях.

2. Отсутствуют регламенты и нормативная литература по проектированию защиты и отвода газа радона в подземном пространстве.

3. Существуют такие проблемные вопросы, не имеющие оптимальных решений в гидроизоляции подземных сооружений, как рабочие швы, отверстия под анкеры, стыки стен с горизонтальными плитами.

Перечисленные выше проблемы, связанные с защитой подземного пространства, можно отнести к любому подземному сооружению: выполненному по технологии «стена в грунте»; выполненному способом «опускного колодца»; метрострою; тоннелю и др.

Особое внимание при изучении способов изоляции подземного пространства необходимо уделить проблемным зонам, требующим применения современных методов создания гидроизоляции. К ним относятся:

1) вертикальные стыки в сборные подземные сооружения из панелей;

2) горизонтальные (рабочие) стыки при бетонировании подземных сооружений в блочной несъемной опалубке;

3) отверстия в монолитных стенах, предназначенные для пропуска анкеров и коммуникаций;

4) стыки, образованные вертикальными стенами подземных сооружений с горизонтальными монолитными плитами.

В ходе исследований по данному направлению было изучено воздействие воды на строительные конструкции, влияние газа радона на здоровье человека, существующие виды гидроизоляционных материалов. Блок-схема направлений исследования представлена на рис. 1.

К сожалению, в литературе о гидроизоляции подземных частей здания уделено мало внимания вопросам моделирования и расчета гидроизоляционных материалов. Считается, что гидроизоляцию можно проектировать на основе опытных данных, не привязанных к настоящим условиям строительства, но это лишь ведет к преждевременному выходу конструкций из строя и большим затратам на ремонт. Поэтому гидроизоляцию подземных зданий и сооружений, по нашему мнению, нужно проектировать с особой тщательностью, учитывая все параметры, влияющие на ее долговечность и надежность.

Существуют различные методики расчета гидроизоляционных покрытий:

- расчет толщины гидроизоляционного слоя,
- расчет гидроизоляционного слоя на температурные воздействия,
- расчет на трещиностойкость гидроизоляционных покрытий,
- расчет на неравномерную усадку основания под гидроизоляцию.

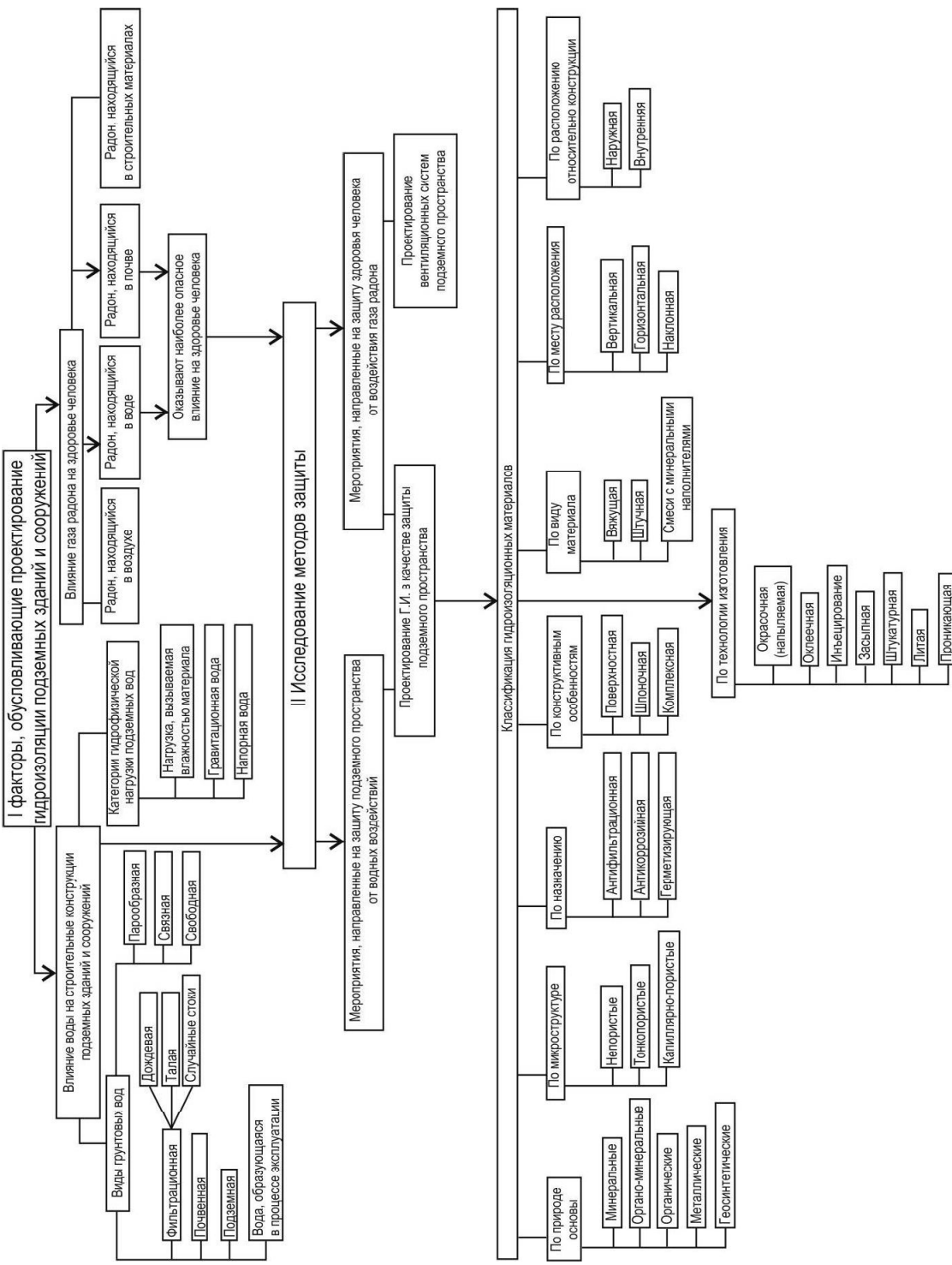


Рис. 1. Блок-схема направлений исследований

Но выполнение всех расчетов не гарантирует 100%-ной защиты подземного пространства, поскольку параметры материала во многом зависят от требований долговечности. Так, например, толщина гидроизоляционного слоя, независимо от величины гидростатического давления, обуславливается обеспечением надежности, старением и охрупчиванием материала во времени и т.д. [1].

Таким образом, проектирование гидроизоляции должно основываться:

- 1) на моделировании работы системы ГИ;
- 2) на регламентах, базирующихся на экспериментальных данных;
- 3) на результатах контроля качества в процессах апробирования и выполнения технологии по созданию гидроизоляции.

Для численного моделирования был принят программный комплекс Plaxis. Из всех продуктов Plaxis, наиболее подходящей для расчетов, связанных с расчетами фильтрации грунтовых вод, является программа PlaxFlow. PlaxFlow совместим с Plaxis, версия 8.2, предназначенный для деформационных расчетов и расчетов устойчивости. PlaxFlow позволяет решать широкий спектр задач, связанных с установившейся и неуставившейся фильтрацией совместно с расчетами напряженно-деформированного состояния и устойчивости. PlaxFlow объединяет сложные модели насыщенной и ненасыщенной фильтрации, используя хорошо известные зависимости Ван Генухтена между давлением в поровой воде, водонасыщенностью и проницаемостью. PlaxFlow численно устойчива и предоставляет реальные возможности для включения зависящих от времени граничных условий [5].

В качестве исходных были приняты следующие данные:

- подземное сооружение выполнено по технологии монолитной «стены в грунте»;
- гидроизоляция предусмотрена с внутренней стороны;
- для обеспечения устойчивости стен котлована учтено применение анкеров.

Геологические условия приняты из диссертации С.В. Калошиной [6] (табл. 1).

Таблица 1

**Осредненные значения физико-механических
характеристик инженерно-геологических элементов**

Параметр	ИГЭ-1. Суглинок тугопла- стичный	ИГЭ-2. Гравийный грунт с пес- чаным за- полнителем	ИГЭ-3. Аргиллит трещино- ватый
Мощность слоя, м	12	2	1
Объемный вес грунта γ_{unsat} , кН/м ³	18	21	21
Удельное сцепление c_{ref} , кПа	18	1	34
Угол внутреннего трения ϕ , град	19	37	28
Коэффициент Пуассона ν	0,35	0,3	0,27
Модуль общей деформации E , МПа	11	28	30

При задании расчетной схемы было принято допущение, что «стена в грунте» задается абсолютно непроницаемым экраном, что возможно только при наличии надежной гидроизоляции. Разработка грунта в котловане производится ярусами: по 3 м (высота этажа) с последующим устройством анкеров (рис. 2).

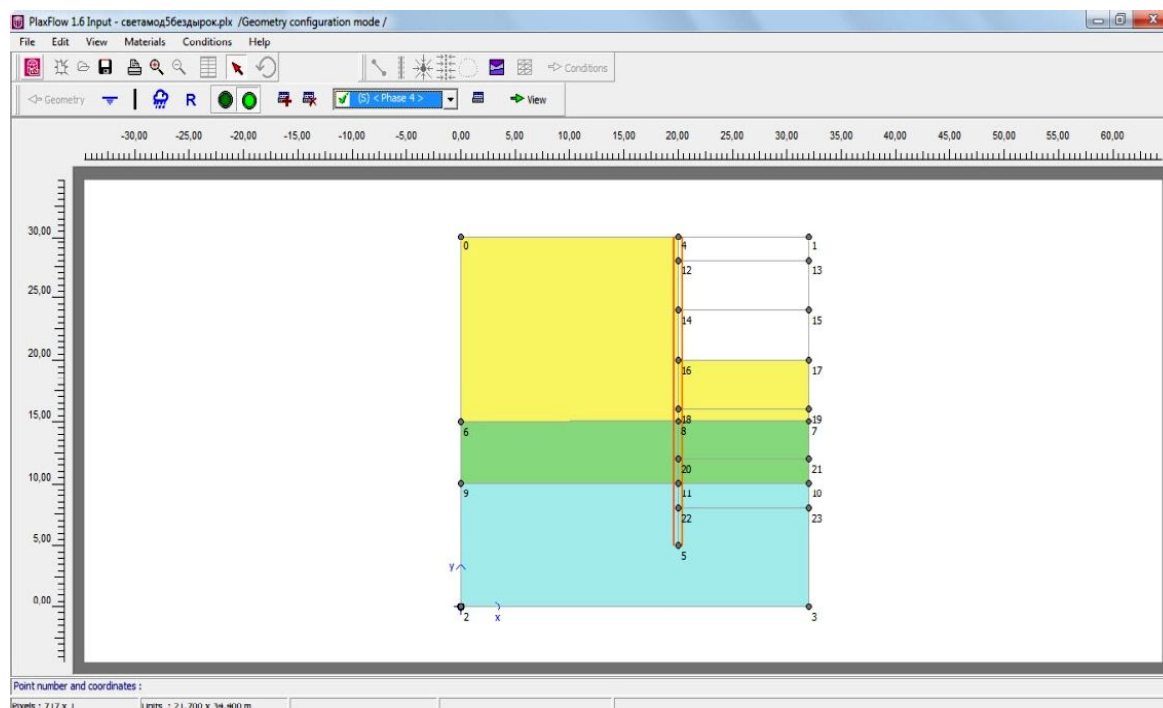


Рис. 2. Расчетная схема

В результате расчета удалось найти значения активного порового давления и фильтрации грунтовых вод на различных этапах выемок грунта.

Поровое давление – это гидродинамическое давление воды, находящейся в порах грунта. Величина порового давления зависит от глубины, исчисляемой от уровня грунтовых вод, условий фильтрационного потока. Ниже уровня грунтовых вод поровое давление положительно. В сухой почве поровое давление равно нулю. Выше уровня грунтовых вод, когда грунт насыщен, поровое давление будет отрицательным. Результаты расчета активного порового давления воды представлены на рис. 3–5.

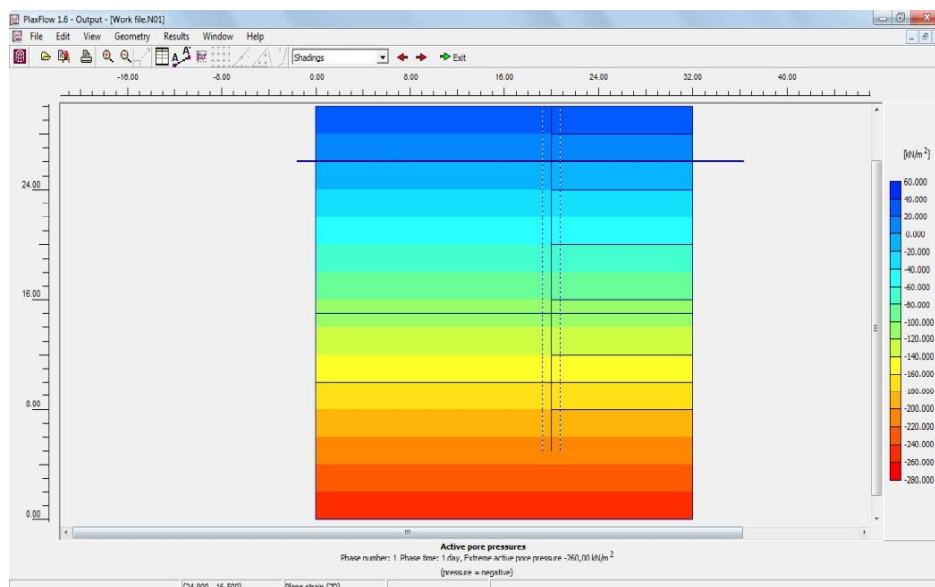


Рис. 3. Результаты расчета активного порового давления до начала разработки котлована

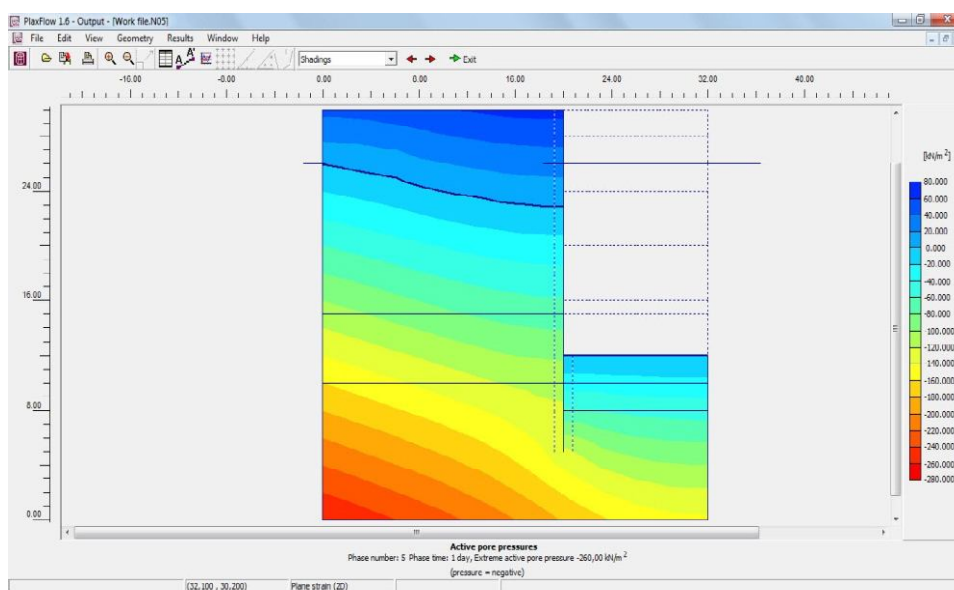


Рис. 4. Результаты расчета активного порового давления при разработке после 4-го этапа разработки грунта в котловане

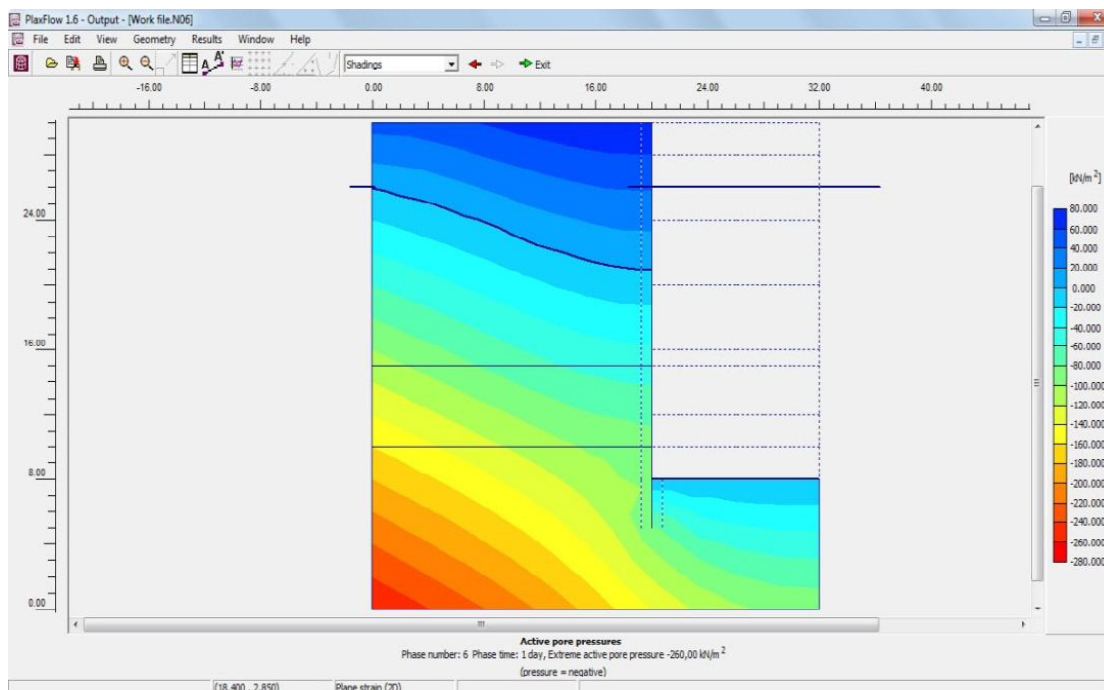


Рис. 5. Результаты расчета активного порового давления при окончании разработки грунта в котловане

Результаты расчета фильтрации грунтовых вод воды представлены на рис. 6–8.

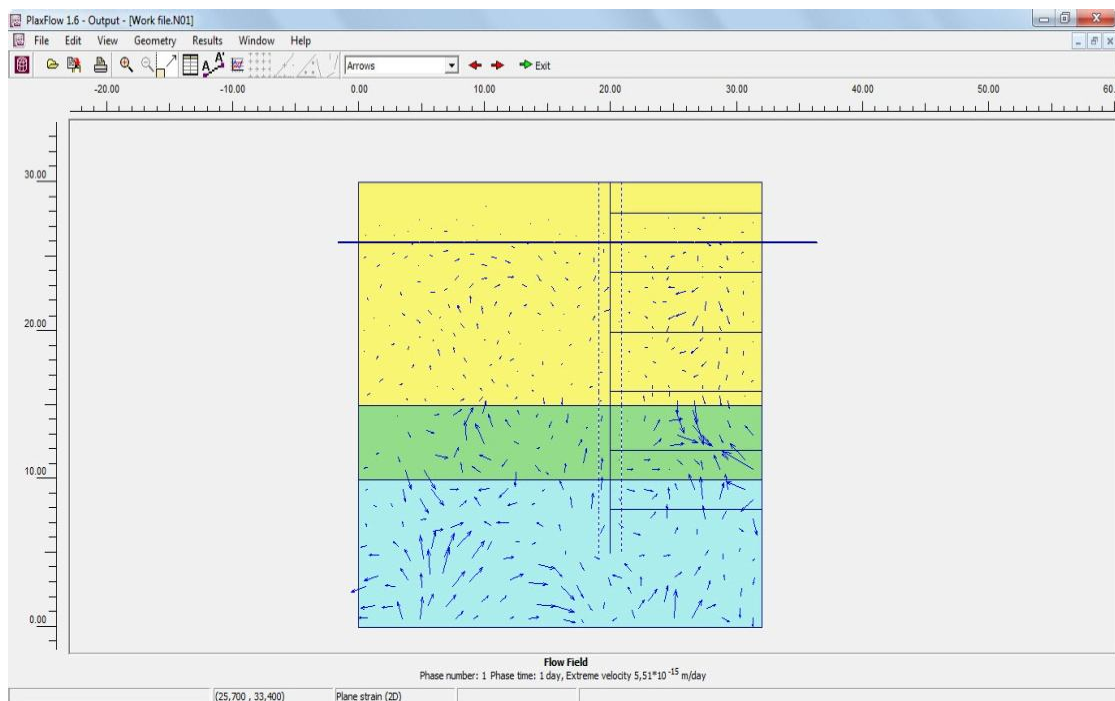


Рис. 6. Результаты расчета фильтрации грунтовых вод до начала разработки котлована

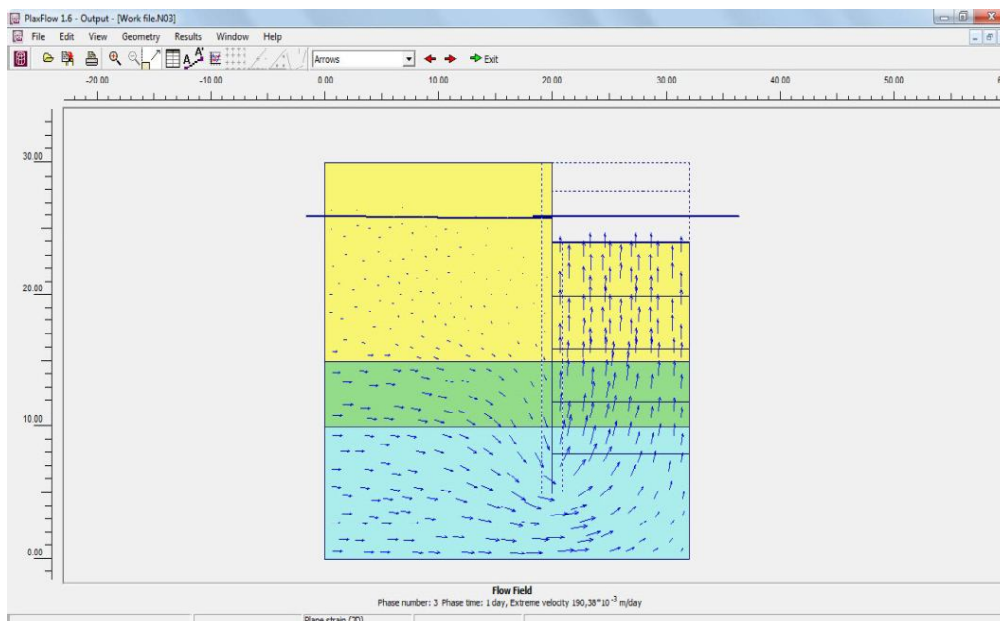


Рис. 7. Результаты расчета фильтрации грунтовых вод при разработке после 2-го этапа разработки грунта в котловане

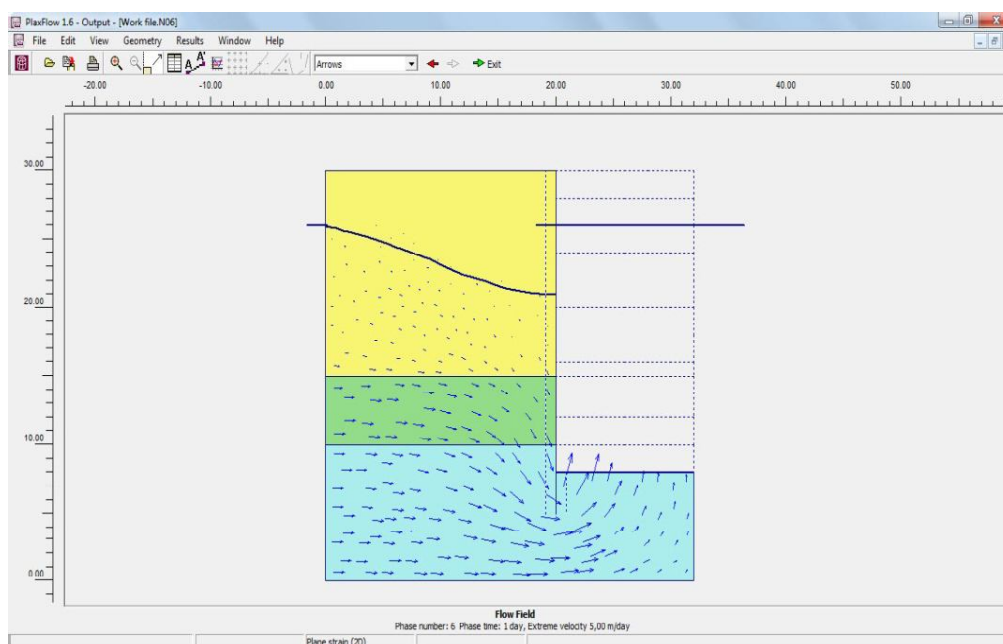


Рис. 8. Результаты расчета фильтрации грунтовых вод при разработке при окончании разработки грунта в котловане

В ходе работы была предпринята попытка расчета порового давления и фильтрации грунтовых вод при создании отверстий под анкеры. К сожалению, как показали результаты, данная постановка расчетной схемы оказалась не учитываемой возможностями этой программы. Результаты расчета приведены на рис. 9.

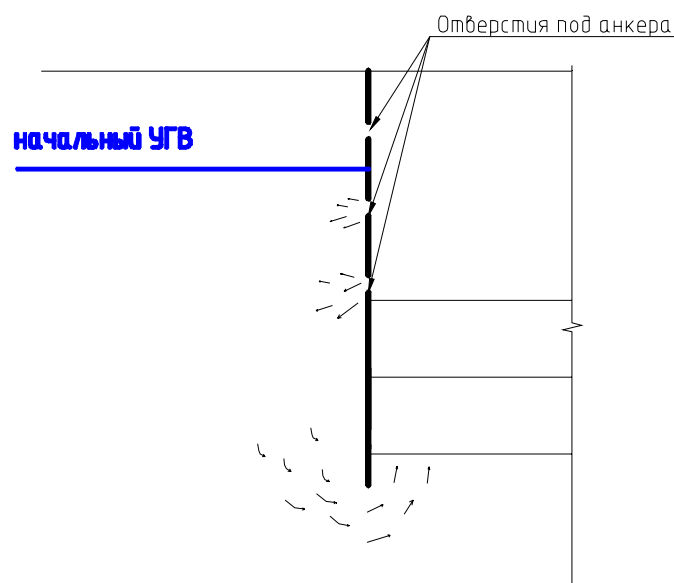


Рис. 9. Результаты расчета фильтрации грунтовых вод при создании анкеров

На основании анализа проведенных расчетов сделаны следующие выводы:

1. В ходе расчета различных фаз происходит изменение неустановившегося уровня грунтовых вод по мере разработки выемки грунта в технологии «стена в грунте».

2. При увеличении порового давления создаются неблагоприятные условия эксплуатации сооружения в плоскости «рабочих швов».

3. Наиболее сложный участок для гидроизоляции находится на стыке стены с горизонтальной плитой.

4. В точке задания отверстий для анкеров создаются зоны разрежения, т.е. вакуум, который работает на подсос грунтовой воды.

При дальнейшем изучении проблем, связанных с гидроизоляцией подземного пространства, планируется разработка дополнительных расчетных схем с учетом выявления наиболее подходящих для моделирования реальных условий, в которых находится исследуемая гидроизоляционная система.

Библиографический список

1. Козлов В.В., Чумаченко А.Н. Гидроизоляция в современном строительстве: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 120 с.

2. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: учеб. пособие / А.А. Шилин, М.В. Зайцев,

И.А. Золотарев, О.Б. Ляпидевская. – Тверь: Русская торговая марка, 2003. – 146 с.

3. Юркевич П. Гидроизоляция подземных сооружений с использованием геосинтетиков. Три подхода к обеспечению надежной гидроизоляции. – 2-е изд., доп. и перераб. – М., 2001. – 73 с.

4. ШколаЖизни.ру: познавательный журнал [Электронный ресурс]. – URL: <http://shkolazhizni.ru>.

5. Основные возможности Plaxis [Электронный ресурс]. – URL: <http://sofos.com.ua/inform/publications>.

6. Калошина С.В. Оценка статического влияния вновь возводимых плитных фундаментов на дополнительную осадку зданий в условиях плотной застройки (на примере г. Перми): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2011. – 24 с.

Получено 7.03.12