

УДК 624.151.2

А. В. Ищенко, И. С. Лебединец (ФГБОУ ВПО «НГМА»)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕНАЖА СКЛАДСКИХ КОРПУСОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЗАГЛУБЛЕННОЙ ДРЕНОЙ

На основании компьютерного моделирования разработан комплекс технических решений, связанных с выбором рациональных конструкций комбинированного дренажа подземных фундаментов зданий и сооружений в условиях подпора грунтовыми водами. Компьютерное моделирование основано на решении дифференциальных уравнений движения грунтовых вод методом конечных элементов на плоскости с помощью программного комплекса *FemLab 3.0*. В качестве уравнений движения грунтовых вод использованы уравнения Лапласа. Модели на компьютере задавались строго в соответствии с реальными размерами области фильтрации и подземного контура дренажа. Метод конечных элементов заключается в том, что расчетная область разбивается на элементы достаточно малого размера, в каждом из которых неизвестная функция потока заменяется на финитную функцию, отличную от нуля только в узлах этого элемента. Далее решается система уравнений, из которых определяются значения неизвестной функции в узлах сетки конечных элементов. Для исследования профильных моделей движения грунтовых вод к защитному дренажу складских корпусов использованы схемы размещения фундаментов и положения уровня грунтовых вод по наблюдательным скважинам на характерных инженерно-геологических разрезах. Анализ результатов исследований профильных моделей движения грунтовых вод к защитному дренажу складского корпуса свидетельствует о том, что запроектированные подпорные стенки высотой незначительно заходят в область движения грунтовых вод, что не оказывает практически никакого влияния на движение грунтового потока.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, заглубленная дрена, комбинированный дренаж, подземный фундамент, подпор грунтовыми водами, многофункциональный логистический комплекс, кольцевой трубопровод, фильтрация, подземный контур дренажа.

A. V. Ishchenko, I. S. Lebedinets (FSBEE HPE “NSMA”)

COMPUTER SIMULATION OF THE DRAINAGE FOR STOREHOUSES WITH THE DEEPENED CENTRAL HORIZONTAL DRAIN

The complex of technical solutions related to the choice of rational constructions of the combined drainage for underground foundations of buildings and constructions under the backup of ground water was developed using computer simulation. The computer model is founded on the solution of differential motion equations of the ground water by the finite element method (FEM) for plane by using the software complex *FemLab 3.0*. The Laplace equation is used as a motion equation for ground water. The computer models were specified strictly in accordance with the actual sizes of filtering area and underground outline of drainage. FEM is that the calculation area is subdivided into sufficiently small size elements. For each element the unknown function of a flow converted in compact function which is nonzero in the nodal points of this element. Then the system of equations determined the values of unknown function for the mesh points of finite-elements. To research the profile models of

ground water motion towards the protective drainage of storehouses, the layouts of the foundations and groundwater levels in observation wells at the typical engineering and geological sections were used. The analysis of the profile models of ground water motion towards the protective drainage of storehouses indicates that the designed height of back wall insignificantly exceeds the area of ground water motion and actually has no impact on it.

Key words: computer simulation, deepened collector, combined drainage, underground foundation, groundwater backup; multifunction logistics complex, loop pipeline, filtering, underground drainage outline.

Представлены компьютерные модели движения грунтовых вод к защитному дренажу многофункционального логистического комплекса (МЛК). Компьютерное моделирование основано на решении дифференциальных уравнений движения грунтовых вод методом конечных элементов на плоскости с помощью программного комплекса *FemLab 3.0*.

В качестве уравнений движения грунтовых вод использованы уравнения Лапласа. Расчетная область фильтрации принимается достаточно большой, а в районе центра расчетной области располагаются два корпуса проектируемого комплекса. Границы расчетной области должны находиться на достаточно большом расстоянии от проектируемого дренажа (должно быть порядка максимальной длины дренажа). Для защиты подземного основания под корпусами должен проходить дренаж, предохраняющий от воздействия грунтовых вод. По периметру корпусов предусматривается кольцевой горизонтальный дренаж.

При граничных условиях $\varphi = \text{const}$ и $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ на контурах области фильтрации как соответствующих условиям на границе дренажа и подземного контура плотины были построены компьютерные модели, включающие конечноэлементную сетку в расчетной области, гидродинамическую сетку движения грунтового потока, векторное поле скоростей фильтрации.

На внешних границах области фильтрации использовались следующие краевые условия:

- на правой границе расчетной области, соответствующей верхнему уровню грунтовых вод, задается граничное условие Дирихле $\varphi_1 = 100\%$,

так как здесь начинается движение фильтрационного потока в расчетной области;

- на левой границе расчетной области, соответствующей нижнему уровню грунтовых вод, задается граничное условие Дирихле $\varphi_2 = 0\%$, так как там заканчивается движение фильтрационного потока в расчетной области;

- на верхней и нижней границах расчетной области задается граничное условие Неймана $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$, так как эти границы считаются непроницаемыми для фильтрационного потока, а, следовательно, движение потока направлено по касательной к этим границам и составляющая градиента потока в направлении нормали к этим границам равна нулю.

На границах корпусов рассматриваются различные варианты дренажа или его отсутствие:

- модель складского корпуса без дренажа. В этом случае на обеих границах корпусов задается граничное условие Неймана $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$;

- модель с одинаковой глубиной дренажа под каждым корпусом при нормальном положении грунтовых вод. В этом случае на границе первого корпуса задается граничное условие Дирихле $\varphi_{cp1} = 55,15\%$, на границе второго корпуса задается граничное условие Дирихле $\varphi_{cp2} = 46,57\%$;

- модель с одинаковой глубиной дренажа под каждым корпусом при высоком стоянии грунтовых вод;

- модель без дренажа с тыловой стороны первого корпуса при высоком стоянии грунтовых вод;

- модель с различной глубиной дренажа под левой и правой границами первого корпуса и без дренажа под вторым корпусом при высоком уровне грунтовых вод;

- модель с заглубленным расположением кольцевого дренажа

на 1,5 м ниже подошвы фундаментов по контуру первого корпуса.

Метод конечных элементов заключается в том, что расчетная область разбивается на элементы достаточно малого размера, в каждом из которых неизвестная функция потока заменяется на финитную функцию, отличную от нуля только в узлах этого элемента. Далее решается система уравнений, из которых определяются значения неизвестной функции в узлах сетки конечных элементов. В данном случае в качестве элементов разбиения двумерной расчетной области были взяты треугольные конечные элементы Лагранжа, в которых неизвестная функция считалась квадратичной.

Модели на компьютере задавались строго в соответствии с реальными размерами области фильтрации и подземного контура дренажа. Сетка конечных элементов вблизи сгущалась для лучшей точности результатов, а вдали от корпуса (вблизи границ расчетной области) конечноэлементная сетка была при расчете более разреженной. Размеры треугольников в методе конечных элементов вблизи дренажа задавались не более 20 м, тогда как вдали они могли превосходить эти значения. В соответствии с этим конечноэлементная сетка включала до 2156 конечных элементов и до 4513 неизвестных степеней свободы. На компьютере с процессором Pentium IV и тактовой частотой 2,8 ГГц время расчета составило 0,531 с.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рисунке 1 для различных схем движения грунтовых вод вокруг корпуса.

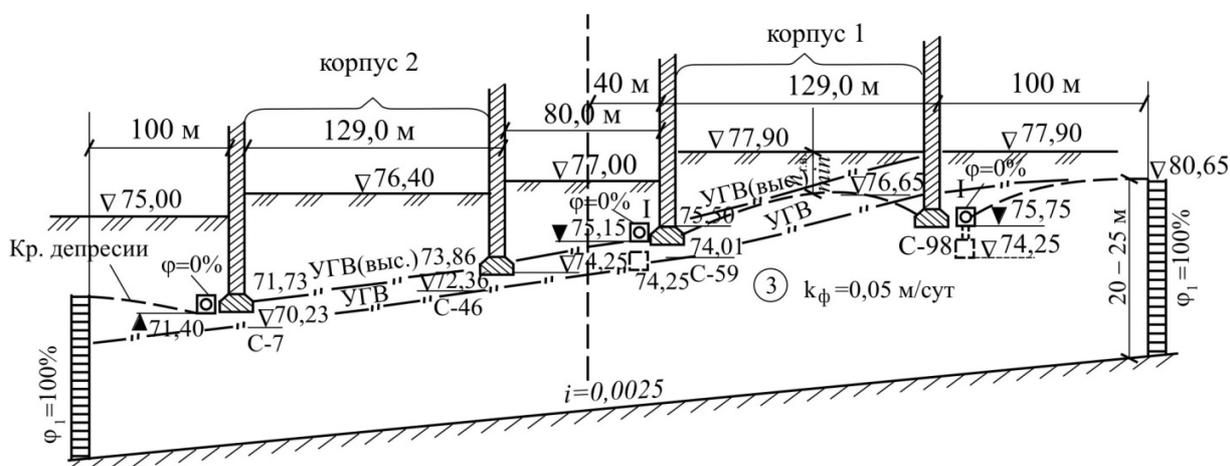


Рисунок 1 – Схема профильной модели движения грунтовых вод

Анализ гидродинамических сеток на компьютерных моделях движения грунтовых вод позволяет сделать заключение о влиянии защитного дренажа складских корпусов в зоне, составляющей от 200 до 400 м. Зона влияния дренажа представляет собой воронку понижения уровня грунтовых вод от естественного состояния УГВ до отметок заложения дренажа.

Дано обоснование дренажа многофункционального логистического комплекса класса А для проекта, который выполняет ОАО Институт «Ростовский ПромстройНИИпроект».

МЛК планируется разместить вблизи федеральной трассы М-4 у ст. Грушевской Аксайского района Ростовской области. Общая площадь складских корпусов – 175517,2 м². Годовой грузооборот товаров составляет 2000 тыс. т. Здания складских корпусов № 1 и № 2 – одноэтажные, размерами в плане 129×579 м, высота до низа несущих конструкций покрытия 12,0 м, с двух-трехэтажными встройками. Каждое здание состоит из четырех деформационных блоков размерами 129×144 со вставками между блоками 1,0 м. Основные характеристики приведены в таблице 1. Подземная вода вскрыта всеми скважинами на глубинах 5,55-7,90 м (абс. отм. 78,58-65,39 м) и установилась на глубинах 4,90-7,25 м (абс. отм. 79,18-66,24 м). Горизонт воды – не напорный. Региональным водоупором являются неогеновые глины РГЭ-3. Разгрузка воды происходит в реки Тузлов и Грушевка. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных вод. При нарушении природного стока воды и возможных утечек из водонесущих коммуникаций после ввода в эксплуатацию проектируемых зданий и сооружений возможен подъем уровня подземной воды.

По данным треста «РостовДонТИСИЗ» [1] сезонные колебания уровня подземной воды составляют 1,0-1,5 м. В соответствии с СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» по совокупности факторов, описанных выше, площадка относится ко II категории сложности инженерно-геологических условий.

Уклон грунтового потока в районе площадки МЛК находят по данным инженерно-геологических изысканий с использованием положения УГВ в наблюдательных скважинах.

Таблица 1 – Моделирование профильной фильтрации под складскими корпусами для определения положения УГВ с учетом перехвата части грунтового потока защитным дренажем

Глубина заложения дренажа, м	Тип дренажа	Средний уклон грунтового потока	Максимальное значение потенциала при заданной глубине дренажа, %		Остаточный напор в центре контура, м		Расстояние от поверхности пола до кривой депрессии, м	
			1 приближение	2 приближение	1 приближение	2 приближение	1 приближение	2 приближение
2,15	Горизонтальный кольцевой дренаж на уровне фундамента	0,025	34	36	0,731	0,774	1,419	1,376
3,65	Горизонтальный кольцевой дренаж ниже уровня фундамента	0,025	19	23	0,693	0,8395	2,956	2,8105
1,0	Горизонтальный кольцевой дренаж на уровне фундамента	0,025	28	30	0,28	0,3	0,72	0,7
2,5	Горизонтальный кольцевой дренаж ниже уровня фундамента	0,025	27	29	0,675	0,725	1,825	1,775
3,65	Дренаж заложен по центру корпуса № 1 для блоков А-Б	0,025	30	31	1,095	1,132	2,555	2,518
3,0	Дренаж заложен по центру корпуса № 1 для блоков В-Г	0,025	20	21	0,09	0,63	2,91	2,37

Защитный дренаж целесообразно запроектировать только для складского корпуса № 1 многофункционального логистического комплекса в ст. Грушевской, так как естественный уровень грунтовых вод здесь находится выше отметки подошвы фундамента, а с учетом сезонного повышения УГВ будет возникать опасность капиллярного увлажнения естествен-

ного основания и просадочных суглинков (РГЭ-2) под полом складского корпуса и образования его просадок.

Для исследования профильных моделей движения грунтовых вод к защитному дренажу складских корпусов использованы схемы размещения фундаментов и положения УГВ по наблюдательным скважинам на характерных инженерно-геологических разрезах. В связи с этим моделирование профильной задачи методом ЭГДА целесообразно проводить в пределах корпуса № 1 до разделительной линии (на рисунках штриховая линия).

Наиболее целесообразным вариантом устройства защитного дренажа для складского корпуса № 1 является дренажная система (рисунок 2), включающая кольцевой горизонтальный дренаж по контуру и центральную дренажную трубу под зданием. Кольцевой горизонтальный дренаж и центральная дренажная труба выполняются из дренажных труб (пластмассовых или асбестоцементных) диаметром 75 мм (100 мм), которые оборачиваются геотекстилем с гравийной обсыпкой, что обеспечивает хорошую дренирующую способность конструкции и исключает заиливание дренажа частицами окружающего грунта.

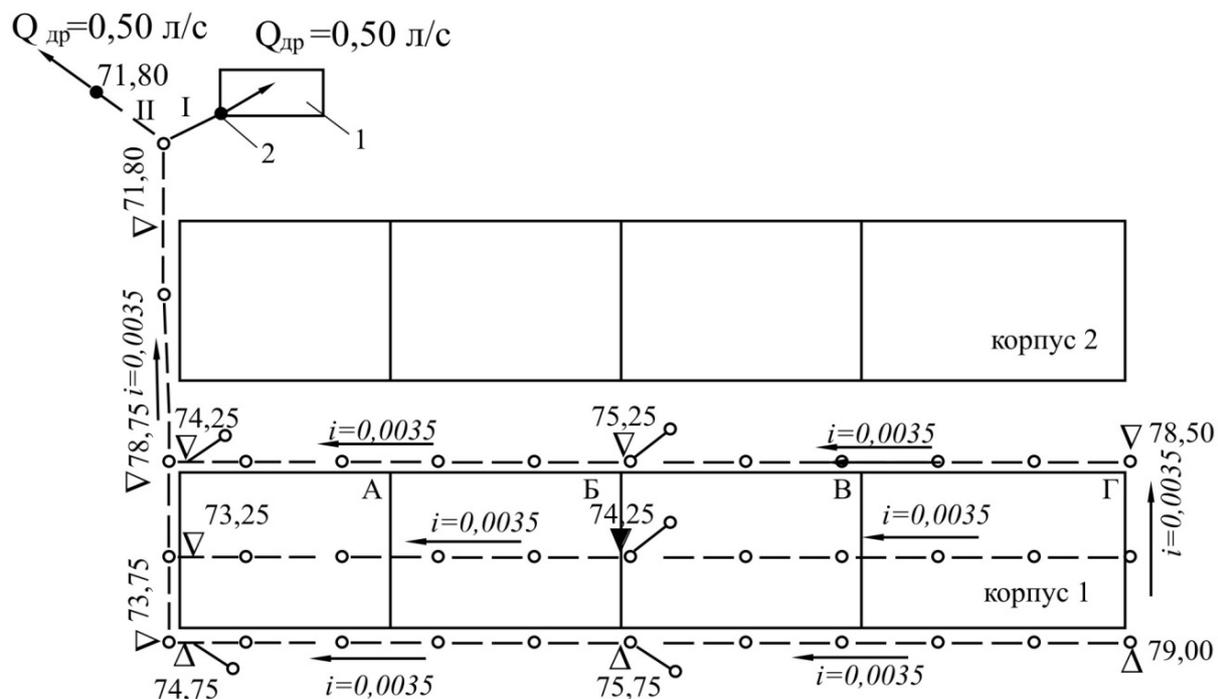


Рисунок 2 – Дренажная система складского корпуса № 1

Для определения дебита кольцевого дренажа несовершенного типа в безнапорных условиях могут быть применены формулы, приведенные в ВСН 045-72 «Указания по проектированию дренажа подземных гидротехнических сооружений» [2]. Рассмотрим фильтрационный расчет кольцевого дренажа складского корпуса № 1 МЛК при высоком стоянии УГВ, наблюдаемом для сезонного (весеннего) повышения УГВ. При этом учитываем два варианта заложения дренажа: на отметках подошвы фундаментов, на глубине 1,5 м ниже подошвы фундамента.

Для гидравлического расчета горизонтального дренажа используем стандартные формулы.

Результаты гидравлического расчета горизонтального дренажа при диаметре $d=50; 75; 100$ мм; уклоне $i=0,0035$ и коэффициенте шероховатости $n=0,0125$ представлены в таблице 2. Исходя из гидравлических расчетов (таблица 2), наиболее приемлемым диаметром горизонтального кольцевого дренажа является $d=75$ мм, при котором будет обеспечиваться допустимая степень наполнения дрены, составляющая от 30 до 70 %.

Таблица 2 – Результаты гидравлического расчета дренажных трубопроводов ($i = 0,0035$)

Диаметр трубы d , мм	Гидравлический радиус R , м	Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с	Скорость V , м/с	Расход воды Q , л/с	Степень наполнения трубы Q_1/Q
50	0,0125	38,48	0,254	0,498	0,928
75	0,0187	41,18	0,334	1,47	0,317
100	0,0250	43,21	0,404	3,17	0,146

Примечание – $Q_{\text{сум}}$ – суммарный расход притока к кольцевому комбинированному дренажу ($Q_{\text{сум}} = 0,462$ л/с).

Применительно к корпусу № 1 рекомендуется дренажная система, включающая кольцевой горизонтальный дренаж по контуру и центральную дрену под зданием.

Конструктивно кольцевой дренаж выполняется из дренажных труб (пластмассовых или асбестоцементных) расчетным диаметром 75 мм (100 мм). Вокруг дренажной трубы устраивается гравийная обсыпка диа-

метром 500 мм, которая для предупреждения кольматирования оборачивается защитно-фильтрующим материалом (геотекстилем). В качестве геотекстиля могут использоваться иглопробивные материалы марок Polyfelt TS 10, Polyfelt TS 20, Polyfelt TS 30 и термоскрепленные материалы марок Tyrap SF 27, Tyrap SF 40, толщиной полотна от 0,25 до 1,3 мм. Сверху дренаж в траншее засыпается крупнозернистым песком с коэффициентом фильтрации не менее 5,0 м/сут [3].

Общие выводы

На основании компьютерного моделирования разработан комплекс технических решений, связанных с выбором рациональных конструкций комбинированного дренажа подземных фундаментов зданий и сооружений в условиях подпора грунтовыми водами.

1 Анализ профильных схем исследований и фильтрационных расчетов показал, что устройство кольцевого горизонтального дренажа необходимо только для корпуса № 1 с относительно высокими уровнями грунтовых вод, находящимися выше подошвы фундаментов. Для корпуса № 2, где уровни грунтовых вод ниже подошвы фундаментов, устройство защитного дренажа нецелесообразно.

2 Для защиты от увлажнения естественного основания полов корпуса № 1 предлагается конструкция кольцевого горизонтального дренажа, устроенного на глубинах ниже подошвы фундаментов на 1,5-2,5 м. Конструкция включает дренажные трубы (пластмассовые или асбестоцементные) диаметром 75 мм (100 мм) с гравийной обсыпкой 500×1600 мм, обернутые защитно-фильтрующим материалом (геотекстилем). Отвод дренажной воды должен осуществляться по магистральному коллектору длиной 300 м по двум вариантам (I вариант – в очистные сооружения дождевой канализации; II вариант – за территорию МЛК самотеком в пониженные места рельефа). Уклон дренажа выполняется равным 0,0035. Для его осмотра и периодической очистки необходимо предусмотреть по трассе через 50 м смотровые колодцы.

3 Анализ результатов исследований методом ЭГДА профильных моделей движения грунтовых вод к защитному дренажу складского корпуса № 1 свидетельствует о том, что запроектированные подпорные стенки высотой 7-8 м незначительно заходят в область движения грунтовых вод (на 1,5-2,0 м), что не оказывает практически никакого влияния на движение грунтового потока в районе площадки МЛК, так как грунтовый поток мощностью до условного водоупора 20-25 м свободно обтекает неглубокую стенку, не изменяя его направление и не теряя напора.

Список использованных источников

1 ОАО «РостовДонТИСИЗ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geostroyengineering.ru>, 2014.

2 Указания по проектированию дренажа подземных гидротехнических сооружений: ВСН 045-72 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/VSN04572Ukazaniyapoproekt.html>.

3 Ищенко, А. В. Разработка и научное обоснование новых конструктивных схем закрытого дренажа фундаментов зданий и сооружений [Электронный ресурс] / А. В. Ищенко, П. В. Петров // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – 8 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=198>.

Ищенко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ ВПО «НГМА»), заведующий кафедрой.
Контактный телефон: 8 (8635) 22-26-96.
E-mail: reknqma@mail.ru

Ishchenko Aleksandr Vasilyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Head of a Chair.
Contact telephone number: 8(8635) 22-26-96.
E-mail: reknqma@mail.ru

Лебединец Инна Сергеевна – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(13), 2014 г., [220-230]

ВПО «НГМА»), аспирант.

Контактный телефон: 8-952-574-81-69.

E-mail: inna-0612@yandex.ru

Lebedinets Inna Sergeyevna – Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Postgraduate Student.

Contact telephone number: 8-952-574-81-69.

E-mail: inna-0612@yandex.ru