

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-126-133

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ВОДОПОНИЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

КАРПЕНКО НИНА ПЕТРОВНА [✉], д-р техн. наук, доцент

npkarpenko@yandex.ru

БЕГЛЯРОВА ЭВЕЛИНА СУРЕНОВНА, канд. техн. наук, профессор

СОКОЛОВА СВЕТЛАНА АНАТОЛЬЕВНА, канд. техн. наук, доцент

sokolovasvetlana@mail.ru

МАТВЕЕВА ТАТЬЯНА ИВАНОВНА, канд. техн. наук, доцент

tat_ka83@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Цель проведенных исследований – оценка фильтрационных расчетов водопонижения при производстве строительных работ и инженерных коммуникаций на водосборах рек Лихоборки и Жабенки. Рассмотрены гидрогеологические вопросы фильтрационных расчетов при строительстве и прокладке городской и дождевой канализации на территории Дмитровского шоссе Северного административного округа г. Москвы. Выявлено, что основными факторами воздействия на гидрогеологические условия в зоне строительства инженерных коммуникаций, где располагаются малые водосборы рек Лихоборка и Жабенка, является водопонижение. Проанализированы зависимости по оценке фильтрационных расчетов водопонижения в зоне строительства инженерных коммуникаций. Предложены и усовершенствованы аналитические зависимости для схемы бесконечного линейного источника возмущения в бесконечном пласте. Установлено, что осредненные расходы оказываются пропорционально зависимыми от величины понижения уровня на участке водопонижения, при этом связь между средними расходами независимо от расчетной линейной схемы является линейной. Разработана модель проведения фильтрационных расчетов, выполненная в программе Microsoft Excel. Проведенные модельные расчеты показали, что максимальное понижение в расчетной точке многоэтажного нежилого административного здания не превышает значений предельно допустимых деформаций.

Ключевые слова: малые реки, геологическая среда, гидрогеологические условия, водоносный горизонт, уровень грунтовых вод, водопонижение, строительные работы, инженерные коммуникации

Формат цитирования: Карпенко Н.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А., Матвеева Т.И. Фильтрационные расчеты водопонижения при строительстве инженерных коммуникаций // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 126-133. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-126-133.

© Карпенко Н.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А., Матвеева Т.И., 2021

Original article

FILTERING CALCULATIONS OF WATERLOWERING IN THE CONSTRUCTION OF ENGINEERING COMMUNICATIONS

KARPENKO NINA PETROVNA [✉], doctor of technical sciences, associate professor

npkarpenko@yandex.ru

BEGLYAROVA EVELINA SURENOVNA, candidate of technical sciences, professor

SOKOLOVA SVETLANA ANATOLJEVNA, candidate of technical sciences, associate professor

sokolovasvetlana@mail.ru

MATVEEVA TATJANA IVANOVNA, candidate of technical sciences, associate professor

tat_ka83@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

The purpose of the investigations is an assessment of filtration calculations of water lowering during construction works and laying engineering communications at the water catchment of the Likhoborka and Zhabenka rivers. There are considered hydrogeological questions of filtration calculations at construction and laying urban and rain sewers on the territory of the Dmitrovskoe highway in the Northern administrative district of Moscow. It is revealed that the main factors affecting hydrogeological conditions in the area of construction of engineering communications is water lowering. The dependences on the estimation of filtration calculations of water lowering in the area of construction of engineering communications are analyzed. Analytical dependences for the scheme of an infinite linear source of perturbation in the infinite layer are proposed and improved. It is established that the average costs are proportionally dependent to the level of water lowering in the water lowering area, and the relationship between average costs, regardless of the calculated linear scheme, is linear. A model for filtration calculations has been developed in Microsoft Excel. The model calculations showed that the maximum decrease in the estimated point of a multi-story non-residential administrative building does not exceed the values of the maximum allowable deformations.

Keywords: *small rivers, geological environment, hydrogeological conditions, aquifer, ground water level, water lowering, construction works, utilities*

Format of citation: *Karpenko N.I., Beglyarova E.S., Sokolova S.A., Matveeva T.I. Filtering calculations of water lowering in the construction of engineering communications // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – С. 126-133. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-126-133.*

Введение. Различные виды строительных работ и прокладка инженерных коммуникаций существенно влияют на изменение гидрогеологических условий, и, в частности, водного режима, который в свою очередь существенно влияет на осадку и деформацию зданий. Особенно это проявляется при прокладке трасс инженерных коммуникаций на урбанизированных территориях. Одной из важнейших проблем и практических задач на объектах строительства и прокладке инженерных коммуникаций при проектировании гидротехнических сооружений, линейных инженерных систем и т.д. является прогнозирование водного режима в зоне аэрации и режима грунтовых вод.

Актуальность проблемы связана с совершенствованием методов фильтрационных расчетов водопонижения при строительстве инженерных коммуникаций на урбанизированных территориях.

Материал и методы. Исследования проводились при осуществлении строительных работ на территории Северного административного округа г. Москвы в зоне съезда с Дмитровского шоссе на Дубнинскую и Верхне-лихоборскую улицы.

Исследуемая территория в структурно-тектоническом отношении располагается на юго-западном склоне обширной платформенной московской синеклизы палеозойского возраста и находится в пределах пониженной части Московско-репной шовно-депрессивной зоны. К этому структурному понижению приурочены

разновозрастные структурно-эрозионные долины р. Москвы. В геоморфологическом отношении рассматриваемый участок располагается в пределах флювиогляциальной междуречной равнины. Для этой части возвышенности характерны сглаженные формы рельефа с нечетко выраженными водоразделами малых рек, с абсолютными отметками поверхности в 150...190 м и относительными превышениями над плоскими западинами в 5...10 м, которые ранее были заболочены. Поверхность равнины сложена долинами малых рек, протекающих по территории города и являющихся притоками рек Москва и Яуза. В частности, в районе строительства Дмитровского шоссе располагаются малые водосборы рек Лихоборка и Жабенка.

Гидрогеологические условия изучаемой территории в пределах верхней части разреза характеризуются наличием трех водоносных горизонтов подземных вод: надморенного, надъюрского и верхне-каменноугольного (рис. 1).

Надморенный водоносный горизонт залегает первым от поверхности земли на глубине 1...4 м, имеет частичное распространение и характеризуется наличием песчаных отложений над кровлей морены и низкими фильтрационными свойствами моренных отложений. Мощность горизонта составляет 0,3...5,0 м, водопроводимость изменяется в диапазоне 1...20 м²/сут. Водупорным основанием являются суглинки мощностью 3...15 м.

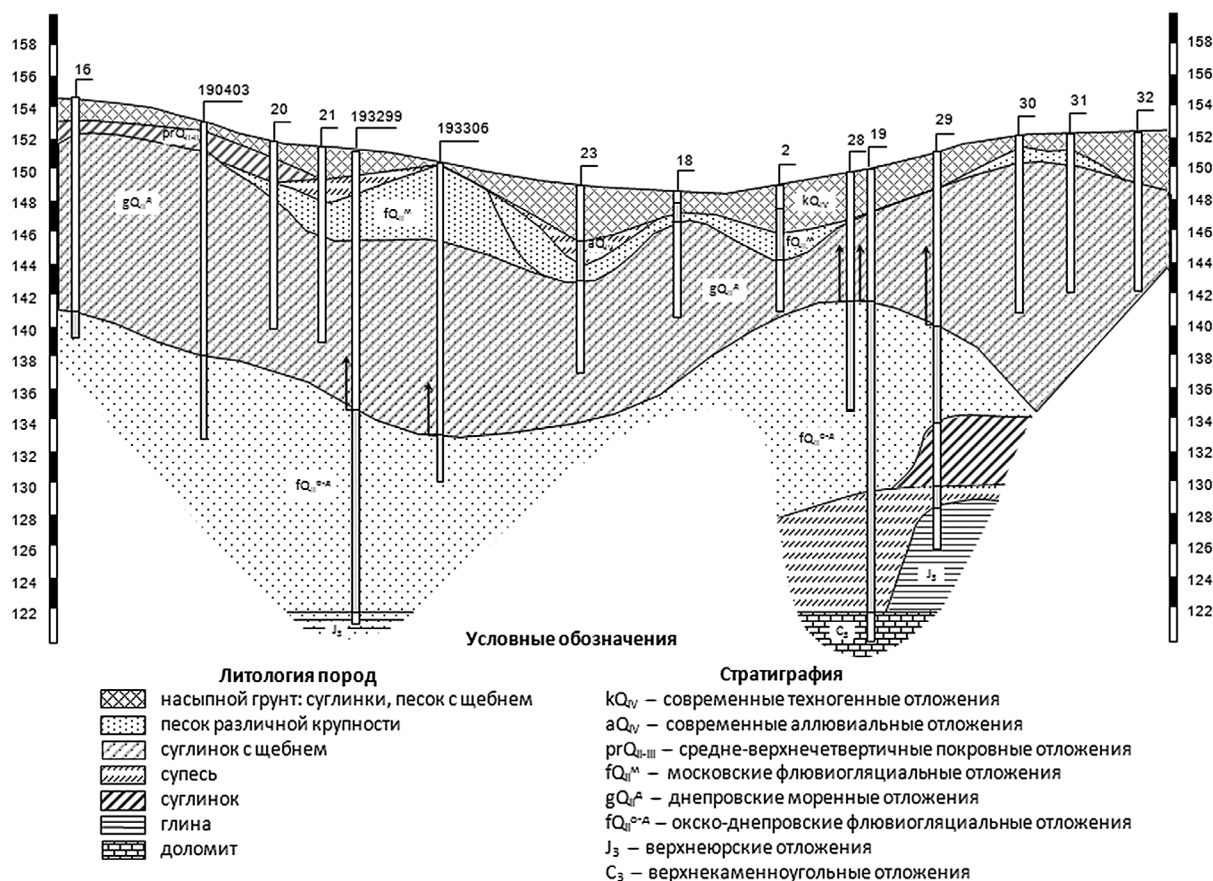


Рис. 1. Геолого-гидрогеологический разрез

Fig. 1. Geological-hydrogeological section

Надъярский водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение на изучаемой территории, залегает вторым от поверхности земли и является напорным горизонтом. Структура фильтрационного потока подземных вод водоносного горизонта имеет достаточно сложный характер ввиду неравномерности инфильтрационного питания и неоднородности подстилающих водоупорных юрских глин. Суммарная мощность водоносного горизонта составляет 10...20 м, коэффициент фильтрации – 2 м/сут., водопроницаемость – 20...40 м²/сут. Водоупорное основание – глинистые отложения верхней юры.

Верхне-каменноугольный водоносный горизонт отложений известняка и мергеля имеет повсеместное распространение и по гидравлическим свойствам является напорным. В настоящее время часть каменноугольных отложений на северо-востоке Москвы имеет сильно выветрелый характер, а на отдельных участках состоит исключительно из продуктов разрушения известняков и глин. Следует отметить, что в пределах пойм малых рек Лихоборка и Жабенка при неглубоком залегании кровли днепровской морены и незначительном по мощности флювиогляциальных

отложений московском оледенении наблюдается подтопление территории.

Проведенный анализ показал, что техническая и моральная изношенность основных фондов практически на всех действующих строительных объектах, выработка нормативных сроков эксплуатации технических средств и инженерных коммуникаций, сокращение объемов работ по реконструкции и техническому обслуживанию заставляют совершенствовать существующие и искать новые пути снижения экологической опасности функционирования техноприродных систем. Цель исследований заключается в оценке фильтрационных расчетов водопонижения при производстве строительных работ и инженерных коммуникаций на водосборах рек Лихоборка и Жабенка.

Результаты и обсуждение. Для проведения оценки воздействия строительной деятельности на гидрогеологические условия используются аналитические методы решения дифференциальных уравнений фильтрации подземных вод. При прогнозировании изменения уровней грунтовых вод целесообразно использовать основное дифференциальное нелинейное уравнение

стационарной плановой фильтрации для плано-плоского потока [1, 2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где H – гидравлический напор, м; T – проводимость пласта, м²/сут.; x и y – координаты, м.

Общее решение уравнения (1) представлено как [3, 4]:

$$H(x, t) = H_e + DH(x, t), \quad (2)$$

где H_e – напоры исходного установившегося потока; $DH(x, t)$ – изменение напора, вызванное границей возмущения.

Для получения решения уравнения (1) принимается условие теоретически мгновенного заполнения канала и мгновенного наступления стадии подпертой фильтрации, то есть при следующих начальных и граничных условиях:

$$DH(x, 0) = 0 \text{ и } DH(0, t) = DH \quad (3)$$

При мгновенном изменении уровня на границе расчетная формула (решение) имеет общий вид [5, 6]:

$$\Delta H = \Delta H^0 \cdot F(x, t), \quad (4)$$

где ΔH – изменение уровня грунтовых вод на расстоянии x (м) от границы возмущения потока через период времени t (сут.); ΔH^0 – величина изменения уровня горизонта на границе возмущения потока, соответствующая средней величине понижения уровня на линии контура скважин, м; $F(x, t)$ – специальная функция, зависящая от характера возмущения потока и граничных условий, значения которых приведены в работах [7, 8].

Для полуограниченного потока при наличии несовершенной границы величину дополнительного гидродинамического сопротивления следует учитывать, удлиняя поток на величину ΔL_t , зависящую от времени t при нестационарном движении. При таком решении задачи уравнение запишем в следующем виде [9, 10]:

$$\Delta H = \Delta H^0 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \Delta L_t}{2\sqrt{at}} \right). \quad (5)$$

Вводим обозначение

$$\lambda = x / (2\sqrt{at}); \quad \theta = \sqrt{at} / \Delta L, \quad (6)$$

где $\operatorname{erfc} \lambda$ – специальная табулированная функция ошибок; $a = T / \mu$ – коэффициент уровня проводности, м²/сут.; T – водопродовимость горизонта, м²/сут.; μ – коэффициент гравитационной емкости, дол. ед. Зависимость $\theta = f(\Delta L_t / \Delta L)$ представлена на рисунке 2.

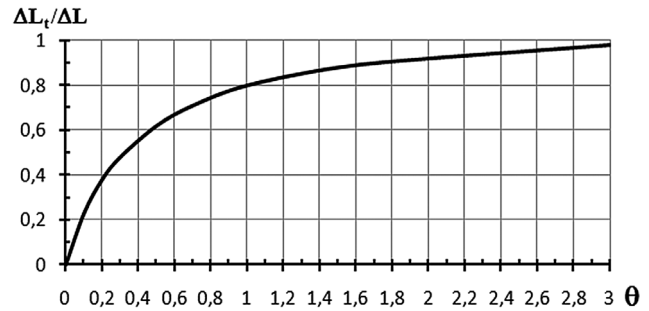


Рис. 2. Зависимость $\Delta L_t / \Delta L$ от q

Fig. 2. Dependence of the $\Delta L_t / \Delta L$ from q

С высокой степенью точности при коэффициенте парной корреляции $r = 0,9997$ величину ΔL_t можно выразить уравнением регрессии:

$$\Delta L_t = \Delta L \cdot \left(\frac{1}{0,904 + \frac{0,353}{\theta}} \right). \quad (7)$$

С учетом величины ΔL_t формулу 7 можно представить следующим образом:

$$\Delta H = \Delta H^0 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \Delta L \cdot \left(\frac{1}{0,904 + \frac{0,353}{\theta}} \right)}{2\sqrt{at}} \right). \quad (8)$$

Величина изменения удельного двустороннего притока (расход на 1 пог. м) определяется по зависимости:

$$\Delta q = \frac{4 \cdot T \cdot \Delta H^0}{\sqrt{\pi \cdot at}} \cdot \exp \left(- \frac{1}{2\sqrt{at}} \cdot \frac{\Delta L}{0,904 + \frac{0,353 \cdot \Delta L}{\sqrt{at}}} \right)^2. \quad (9)$$

Средний расход определяется с помощью численного интегрирования.

Для траншей и горизонтального дренажа величину ΔL можно выразить через параметр $L_{нд}$ ($\Delta L = 2L_{нд}$). Для дрены, расположенной в однородном пласте, $L_{нд}$ определяется по формуле [11, 12]:

$$L_{нд} = 0,73 \cdot \lg \frac{2m_d}{\pi d_d}, \quad (10)$$

где d_d – расчетный диаметр дрены, м; $d_d \approx 0,56 \cdot P_d$; P_d – смоченный периметр дрены, м; m_d – мощность потока под дренажем, м.

Для двухслойного пласта, состоящего из покровного слабопроводящего слоя мощностью m_n с коэффициентом фильтрации k_n и нижнего водоносного слоя, при расположении дрены в верхнем слое получаем:

$$L_{нд} = 0,73 \frac{T}{k_n} \cdot \lg \frac{8m_n}{\pi d_d}. \quad (11)$$

Аналитические решения по зависимостям (8) и (9) рассмотрены для схемы бесконечного линейного источника возмущения в бесконечном пласте. Однако в реальных условиях при проведении работ по строительному водопонижению, открытой прокладке коммуникаций, на захватках работы выполняются на ограниченных интервалах. При этом водопонижение проводится либо на всем интервале (захватке) одновременно (это около 100 м), либо на ограниченном участке длиной 20...40 м, который перемещается по мере проходки выработки. Структура потока по мере удаления от источника возмущения постепенно приобретает радиальный характер.

Для внесения поправок с учетом ограниченности участков водопонижения аналитические значения сравнивались с численными, полученными для типовых гидрогеологических условий. Осредненные расходы оказываются пропорционально зависимыми от величины понижения уровня на участке водопонижения (S_c), поэтому и связь между средними расходами независимо от расчетной линейной схемы оказывается линейной. Используя полученные связи, можно уточнить аналитические решения (Q_a), полученные по зависимости (9):

- при водопонижении на всем интервале в течение всего периода проведения работ:

$$Q_o = 1,2244 \cdot Q_a; \quad (12)$$

- при перемещающемся во времени участке водопонижения:

$$Q_o = 1,0332 \cdot Q_a. \quad (13)$$

Как следует из полученных формул, для определения среднего расхода результат аналитического решения практически не отличается от численного решения при перемещающемся участке и может приниматься без корректировки, так как точность составляет около 3%. Однако максимальные водопритоки отмечаются при понижении уровня на всем интервале одновременно, поэтому полученное аналитическое решение в соответствии с (12) следует увеличить на 22,4%.

Результаты и обсуждение. При проведении строительных работ по прокладке коммуникаций на территории водосборов малых рек Лихоборка и Жабенка изменение геологической среды будут происходить за счет изъятия грунта из открытых траншей и котлованов, а также под воздействием ряда мероприятий, направленных на изменение гидрогеологических условий для предотвращения затопления.

Основными факторами воздействия на геологическую среду в процессе строительства является водопонижение, которое будет проводиться на участках прокладки городской и дождевой канализации, участках водопровода [13, 14].

Исходные данные и результаты расчетов водопритоков в системе строительного дренажа приведены в таблице 1.

Исследования показали, что снижение уровня в надморенном водоносном горизонте на различных участках составляет от 1 м до 4 м. Водовмещающими породами горизонта являются верхнечетвертичные отложения, представленные песками и супесями, коэффициент водоотдачи принят за 0,07...0,15.

Как показали проведенные расчеты, средний расход подземных вод за период понижения уровня будет изменяться для каждого расчетного участка от 2 до 456 м³/сут. При этом суммарный объем водоотбора составит 64112 м³. При определении величины зоны воздействия от проводимого понижения уровня в водоносном горизонте в качестве границы принята величина снижения уровня горизонта в 1 м, что соответствует амплитуде естественных колебаний уровня грунтовых вод. Максимальная зона воздействия от проводимого водопонижения составит 59 м на участке дождевой канализации.

Расчеты осадки зданий в результате снижения уровня грунтовых вод были проведены с учетом рекомендаций [15-17] и использования зависимостей влагопереноса в зоне аэрации [18, 19].

Для оценки фильтрационных расчетов водопонижения была разработана модель проведения фильтрационных расчетов, выполненная в программе Microsoft Excel. В ходе проведения модельных расчетов было установлено, что в воронку депрессии от строительного водопонижения с понижением уровня грунтовых вод более 1 м попадают нежилые здания на территории промышленной зоны, где максимальное понижение под ними составит 2 м (рис. 3).

Выполненное моделирование позволило выявить закономерности изменения осадки зданий в зависимости от уровня грунтовых вод. График зависимости осадки зданий в районе точки РТ-1 при различной глубине исходного уровня грунтовых вод H_e и различном его понижении S_o показан на рисунке 4.

В результате проведенного моделирования расчеты по оценке максимального понижения в расчетной точке РТ-1 под многоэтажным нежилым административным зданием составили 4,4 м, что меньше предельно допустимых деформаций.

Таблица 1

Результаты расчетов водопритоков в системе строительного дренажа

Table 1

Results of calculations of water inflows in the construction drainage system

Участок водопонижения <i>Placeo-flowing</i>	Понижение уровня, м <i>Lowering of level, m</i>	Длина участка или радиусы, м <i>Length of the place or radius, m</i>	Гидрогеологические параметры водоносного горизонта <i>Hydrogeological parameters of aquifer</i>			Средний расход, Q_{cp} , м ³ /сут. <i>Average consumption, Q_{av}, m³/day</i>	Время отбора, t , сут. <i>Time of selection t, day</i>	Суммарный отбор, V_s , м ³ <i>Total selection, V_s, m³</i>	Радиус влияния, $R_{вл.}$, м <i>Radius of influence R_{inp} m</i>
			m_n , м <i>m_n, m</i>	k_ϕ , м/сут. <i>k_p m/day</i>	м				
Дождевая канализация / Rainwater sewerage									
1	1,5	134,5	3	1,7	0,1	99	54	5228	17
2	1,5	128,0	2	7,0	0,15	204	60	12193	21
3	1,5	238,0	3	3,0	0,1	153	66	10251	19
4	2,5	92,0	4,8	2,5	0,1	194	60	11654	59
5	2,5	16,0	4,8	1,3	0,1	45	15	671	26
Водопровод / Water pipeline									
6	1,0	250,5	3	2,4	0,1	105	57	6064	-
7	1,0	348	3	3,0	0,1	129	66	8470	-
8	2,2	7,0	2,2	0,1	0,07	11,4	30	341	27
9	2,2	$R_{np} = 5$	2,2	0,1	0,07	7	30	190	9
10	2,2	$R_{np} = 5$	2,2	0,1	0,07	7	30	190	9
11	2,2	10,0	2,2	0,1	0,07	16	30	487	27
12	1,0	100	1,0	3,0	0,1	79	30	2358	-
Городская канализация / Urban sewerage									
13	1,3	38,0	4,0	1,5	0,1	89	40	3509	42
14	1,0	50,5	1,6	3,0	0,1	69	10	677	2
15	4,0	53,5	5,0	1,3	0,1	456	6	1814	18
16	1,0	$R_{np} = 2$	1,0	3,0	0,1	2	6	15	-

Таблица 1
Исходные данные для расчета осадки в расчетной точке РТ 1

3	Абсолютная отметка поверхности земли, м	148,6	Номер водоупорного слоя:	6
4	Исходный уровень грунтовых вод h_0	146,1	Глубина, м	2,5
5	Величина понижения уровня	2	Мощность горизонта m	2,8

Таблица 2
Результаты расчета осадки в точке РТ 1
(без учета распределения влажности и мощности сжимаемой толщи не соответствующей мощности водоносного горизонта)

№	Литология	Мощность расчетных слоев, м	Плотность скелета, ρ_{sk} , г/см ³	Естеств. характеристики грунта	Характ. при снижении уровня	Модуль деформации E , Мпа	Изменение давления dP	Осадка в слое, dS , мм
п.п.	пород	отметка подошвы слоя, м	плотность скелета, ρ_{sk} , г/см ³	коэф. пористости и, д.ед.	максим. молекул. влагоемкость, д.ед.	капилляр. поднятие, м	модуль деформации, Мпа	
1	Песч.ГлСм	145,1	1,46	0,65	0,07	0,7	3,5	
2	сугл.аI QI	144,1	1,7	0,72	0,16	1,4	8	
3	пес.м/з аI	142,8	1,52	0,75	0,02	0,5	13	
4	сугл.аI QI	142,4	1,7	0,72	0,16	1,4	8	
5	пес.ср/з аI	141,3	1,62	0,7	0,02	2	20	
6	сугл.аQII	132,4	1,79	0,45	0,12	1,4	25	

При суммарном изменении давления $dP = 1,187458$
 Мощность зоны влияния составит $H = 7,300006$ м
 Величина осадки составит $dS = 4,421056$ мм

Рис. 3. Результаты расчета инженерно-геологических параметров и осадки зданий
 Fig. 3. Results of the calculation of engineering and geological parameters and settlement of buildings

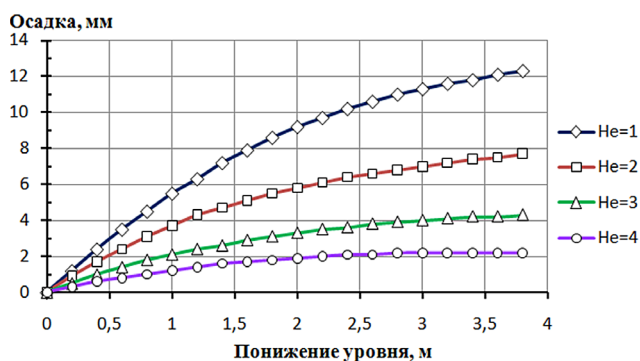


Рис. 4. Зависимость осадки от понижения и глубины уровня грунтовых вод

Fig. 4. Dependence of settlement on lowering and depth of groundwater level

Выводы

Предложены зависимости по оценке фильтрационных расчетов водопонижения в зоне строительства инженерных коммуникаций и прокладке городской и дождевой канализации на территории Северного административного округа г. Москвы в зоне строительства Дмитровского шоссе.

Библиографический список

1. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеве, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев и др. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
2. Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрогеология. – М.: Агропромиздат, 1988. – 256 с.
3. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.: МГУ, 2009. – 334 с.
4. Справочное руководство гидрогеолога / В.М. Максимов, В.В. Бабушкин, Н.Н. Веригини др. Под ред. В.М. Максимова. 3-е изд., перераб и доп. Т. 1. – Л.: Недра, 1979. – 512 с.
5. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. – Л.: Недра, 1974. – 295 с.
6. Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М. Формирование гетерогенной среды и регулирование режима грунтовых вод в задачах природообустройства: Монография. – М.: МГУП, 2013. – 208 с.
7. Карпенко Н.П., Ломакин И.М. Учет неоднородности пород зоны аэрации в фильтрационных расчетах дренирования на мелиоративных системах // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 66-72.
8. Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М. Фильтрационная расчетная схематизация тонкослоистых сред и надежность инженерных решений // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 65-71.
9. Карпенко Н.П. Влияние и учет неоднородности пород зоны аэрации в мелиора-

Выявлено, что основными факторами воздействия на гидрогеологические условия района строительства инженерных коммуникаций, где располагаются малые водосборы рек Лихоборка и Жабенка, является водопонижение.

Предложены и усовершенствованы аналитические зависимости для схемы бесконечного линейного источника возмущения в бесконечном пласте.

Установлено, что осредненные расходы оказываются пропорционально зависимыми от величины понижения уровня на участке водопонижения, при этом связь между средними расходами независимо от расчетной линейной схемы является линейной.

Проведены расчеты осадки зданий в результате снижения уровня грунтовых вод и разработана модель проведения геофильтрационных расчетов, выполненная в программе Microsoft Excel. Проведенные модельные расчеты показали, что максимальное понижение в расчетной точке многоэтажного нежилого административного здания не превысило значений предельно допустимых деформаций.

References

1. Osnovy raschetov / Bochever F.M., Harmonov I.V., Lebedev A.V. idr. – M.: Nedra, 1969. – 368 s.
2. Katz D.M., Shestakov V.M. Meliorativnaya gidrogeologiya – M.: Agropromizdat, 1988. – 256 s.
3. Shestakov V.M. Hidrogeodynamics M.: MGU, 2009. – 334 s.
4. Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa / 3rd izd. pererab i dop. T. 1 / Maksimov V.M., Babushkin V.V., Verigin N.N. i dr. Pod red. V.M. Maksimova – L.: Nedra, 1979. – 512 s.
5. Mironenko V.A., Shestakov V.M. Osnovy gidrogeomechaniki. – L.: Nedra, 1974. – 295 s.
6. Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M. Formirovanie geterogennojsredy i regulirovanie rezhimagruntovyh vod v zadachah prirodoobustrojstva: monographiya. – M.: MGUP, 2013. – 208 s.
7. Karpenko N.P., Lomakin I.M. Uchet neodnorodnosti porod zony aeratsii v filtratsionnyh raschetah drenirovaniya na meliorativnyh sistemah // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – No. 1. – S. 66-72.
8. Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M. Filtratsionnaya raschetnaya skhematizatsiya tonkosloistykh sred i nadezhnost inzhenernyh reshenij // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – No. 2. – S. 65-71.
9. Karpenko N.P. Vliyanie i uchet neodnorodnosti porod zony aeratsii v meliorativno-gi-

тивно-гидрогеологических задачах // Материалы Международной научной конференции, посвященной 200-летию Н.И. Железнова: Доклады ТСХА. Вып. 289. – Ч. I. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. – С. 289-291.

10. **Гринеvский С.О.** Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод: монография. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 152 с.

11. **Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Особенности определения гидрогеологических характеристик анизотропных сред для расчета дренажа // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 80-87.

12. **Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М.** Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 230 с.

13. **Карпенко Н.П., Ломакин И.М., Дроздов В.С.** Гидрогеология и основы геологии: учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2018. – 328 с.

14. **Карпенко Н.П., Ломакин И.М., Дроздов В.С.** Основы инженерной геологии: учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2014. – 278 с.

15. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). – М.: 2016. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456045544>.

16. СНиП 103.13330.2012. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод: утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. № 269. – URL: <https://dokipedia.ru/document/5195776>.

17. СП11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М.: 1997. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007405>.

18. Водохозяйственные системы и водопользование: учебник / Под общ. ред. проф. Л.Д. Ратковича, проф. В.Н. Маркина. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 452 с.

19. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика/ Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Е.А. Сорочана, канд. техн. наук Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

Критерии авторства:

Карпенко Н.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А., Матвеева Т.И. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Карпенко Н.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А., Матвеева Т.И. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 25.11.2020 г.

Одобрена после рецензирования 11.01.2021 г.

Принята к публикации 14.01.2021 г.

drogeologicheskikh zadachah // Mat-ly Mezhdun. nauchnoj konf., posvyashchennoj 200-letiyu N.I. Zheleznov: Doklady TSHA. Vyp. 289 (Ch. I). – М.: RGAU-MSHA, 2017. – S. 289-291.

10. **Grinevsky S.O.** Gydrogeodynamicheskoe modelirovanie vzaimodejstviya podzemnyh i poverhnostnyh vod: monographiya. – М.: INFRA-M, 2012. – 152 s.

11. **Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Osobennosti opredeleniya gydrogeologicheskikh haracteristic anizotropnyh sred dlya rascheta drenazha // Prirodoobustrojstvo. – 2010. – No. 3. – S. 80-87.

12. **Lomakin E.A., Mironenko V.A., Shestakov V.M.** Chislennoe modelirovanie geofiltratsii. – М.: Nedra, 1988. – 230 s.

13. **Karpenko N.P., Lomakin I.M., Drozdov V.S.** Gydrogeologiya i osnovy geologii: uchebnoe posobie. – М.: Infra-M, 2018. – 328 s.

14. **Karpenko N.P., Lomakin I.M., Drozdov V.S.** Osnovy inzhenernoj geologii: uchebnoe posobie. – М.: FGBOU VPO MGUP, 2014. – 278 s.

15. SP 47.13330.2016. Ingenerinye izyskaniya dlya stroitelstva. Onovnye polozheniya (aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 11-02-96). – М.: 2016.

16. SNiP 103.13330.2012. Zashchita gornyh vyrabotok ot podzemnyh i poverhnostnyh vod (utverzhdeny prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya RF ot 30 iyunya 2012 goda No. 269). – М.: 2012. <https://dokipedia.ru/document/5195776>

17. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva. – М.: 1997. <http://docs.cntd.ru/document/1200007405>

18. Vodohozyajstvennye sistemy i vodopolzovanie: uchebnyk / pod obshch. red. Prof. L.D. Ratkovicha i prof. V.N. Markina. – М.: INFRA-M, 2019. – 452 s.

19. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. Spravochnik proektirovshchika. / Pod obshchej redaktsiej d-ra tehn. nauk, prof. E.A. Sorochana i kand. tehn. nauk Yu.G. Trofimenkova. – М.: Stroizdat, 1985. – 480 s.

Authorship criteria

Karpenko N.P., Beglyarova E.S., Sokolova S.A., Matveeva T.I. performed theoretical studies, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Karpenko N.P., Beglyarova E.S., Sokolova S.A., Matveeva T.I. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest.

The authors declare that there are no conflicts of interest

The article was submitted to the editorial office 25.11.2020

Approved after reviewing 11.01.2021

Accepted for publication 14.01.2021