

УДК

С.С. ЗУЕВ¹, зам. директора, М.А. ТИМОФЕЕВ¹, инженер, С.Ф. СЕЛЕТКОВ¹, инженер;
О.А. МАКОВЕЦКИЙ², канд. техн. наук (oleg-mak@inbox.ru)

¹ ОАО «Нью Граунд» (614081, Россия, Пермь, ул. Кронштадтская, 35)

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614019, Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29)

Анализ изменения гидрогеологической ситуации при устройстве геотехнического барьера комплекса «Смарт-Парк-Уфа»

В статье приведены инженерно-геологические условия и конструктивное решение подземной части строящегося административного комплекса в Уфе. Произведена оценка гидрогеологической обстановки и обоснована необходимость устройства вертикального геотехнического барьера, выполненного по технологии струйной цементации грунта. Приведены результаты компьютерного моделирования в программе PLAXIS изменения уровня подземных вод при устройстве вертикального геотехнического барьера вокруг подземной части комплекса зданий. Грунтовое основание описывалось с использованием упругопластической модели упрочняющегося грунта (Hardening soil); напоры грунтовых вод, давления в поровой воде и внешние давления воды созданы с помощью задания уровня. Анализ результатов моделирования по различным сценариям показал степень влияния геотехнического барьера на строительные кондиции грунтового основания существующих зданий.

Ключевые слова: геотехнический барьер, подземные воды, компьютерное моделирование.

S.S. ZUEV¹, Deputy Director, M.A. TIMOFEEV¹, Engineer, S.F. SELETKOV¹, Engineer, O.A. MAKOVETSKY², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ ОАО «New Ground» (35 Kronshadtstskaya Street, 614081 Perm, Russian Federation)

² Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, 614019 Perm, Russian Federation)

Analysis of Changes in Hydro-geological Situation in the Course of Construction of Geotechnical Barrier of «Smart-Park-Ufa» Complex

The article provides engineering-geological conditions and structural solution of the underground part of the administrative complex being built in the city of Ufa. The assessment of hydro-geological conditions is made, the necessity of arrangement of a vertical geotechnical barrier made by using the technique of soil jet grouting is substantiated. Results of the computer simulation in PLAXIS program of the change in the underground water level when arranging the vertical geotechnical barrier around the underground part of the buildings complex are presented. The soil foundation is described with the use of an elastic-plastic model of hardening soil; ground water pressures, pressures in pore water and external pressure of water are created with the help of setting the level. The analysis of results of the simulation according to various scenarios shows the degree of influence of the geotechnical barrier on building conditions of the soil foundation of existing buildings.

Keywords: geotechnical barrier, underground water, computer simulation.

Обоснование применения геотехнического барьера

Техногенное подтопление территорий, общий и локальный подъем уровня грунтовых вод являются в настоящее время серьезной проблемой для большинства крупных городов, расположенных на надпойменных речных террасах [1–3].

Геотехнические барьеры, используемые в качестве противofiltrационной завесы и устраиваемые с использованием струйной технологии, могут применяться в качестве временных и постоянных сооружений для защиты от притока подземных вод в подземные части зданий и сооружений (Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд. АСВ, 2014.)

Толщина вертикальной ПФЗ зависит от прочности грунтобетона, градиента напора, при ограждении котлована от глубины котлована, определяется расчетом ее фильтрационной прочности и деформацией вместе с окружающим

грунтом. Толщина завес из секущих грунтобетонных столбов изменяется от 0,5 до 2 м.

Такая конструкция была выполнена для защиты от негативных воздействий подземной части административного жилого комплекса в городе Уфе.

Применение барьеров требует изучения его влияния на геотехническую ситуацию. В качестве наиболее часто используемого метода прогнозирования используется компьютерное моделирование [4].

Моделирование развития данной ситуации было выполнено с целью:

– количественной оценки барражного эффекта, который возникает при строительстве геотехнического барьера, являющегося непроницаемым подземным контуром;

– оценки влияния барражного эффекта на окружающую застройку.

В качестве исходных данных при выполнении расчетов использован технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Многофункциональный

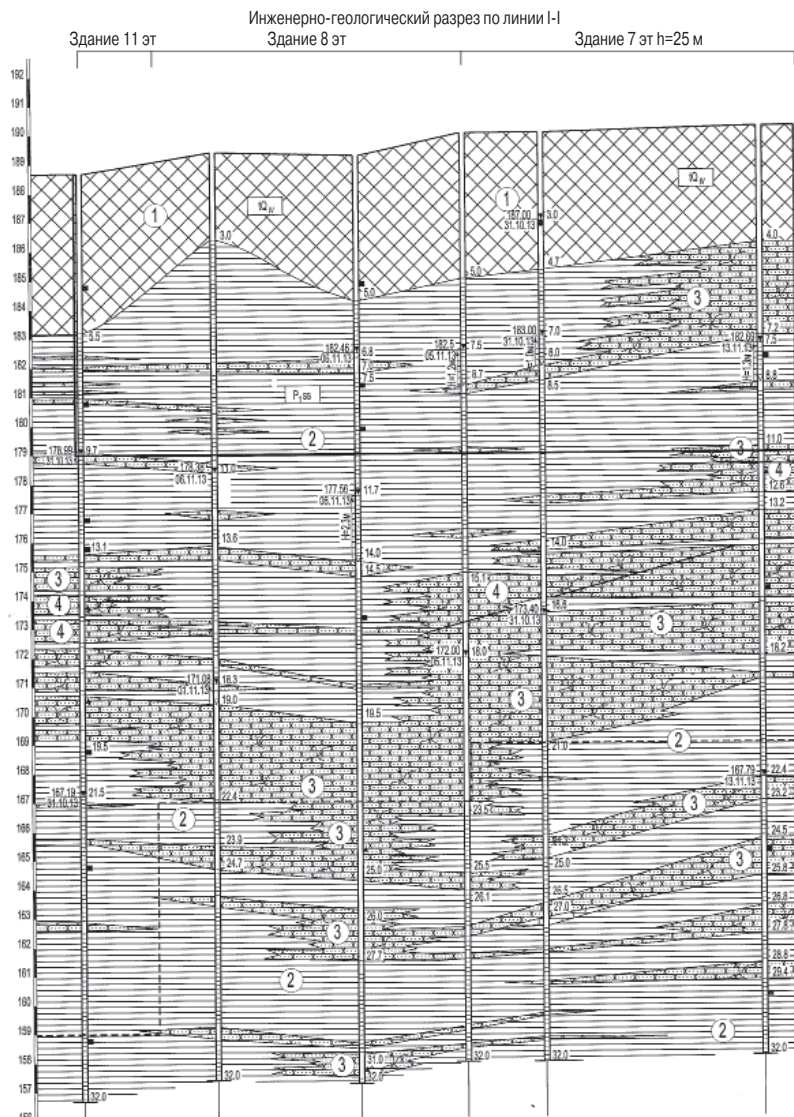


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки

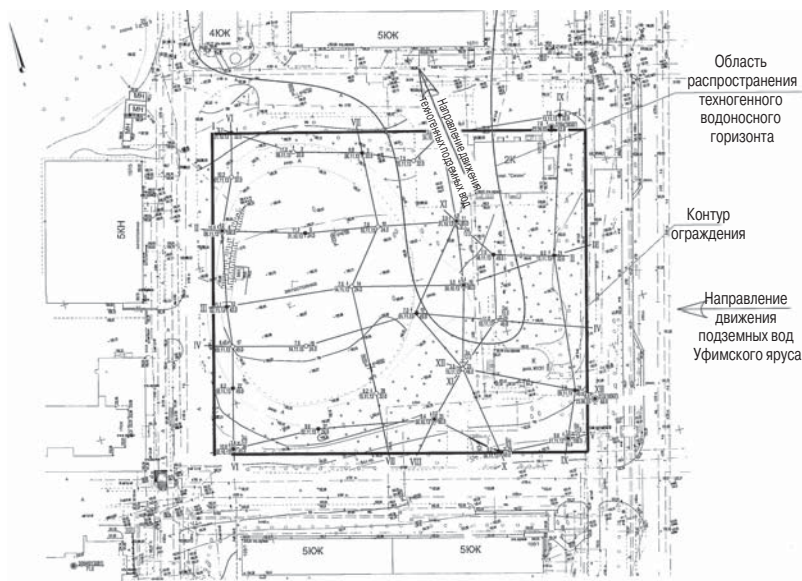


Рис. 2. Область распространения и направления движения подземных вод

жилищно-деловой комплекс «Смарт-Парк-Уфа» в Орджоникидзевском районе городского округа город Уфа Республики Башкортостан, выполненный ООО «АРХСТРОЙ-ИЗЫСКАНИЯ» в 2013 г.

Инженерно-геологические условия площадки строительства

В геоморфологическом отношении участок приурочен к платообразной поверхности водораздела рек Белая и Уфа. Абсолютные отметки изменяются в пределах 189,5–193 м. Общий уклон рельефа на запад в сторону долины р. Белая, расстояние до реки 1,2 км.

В геологическом строении участка до глубины 49 м принимают участие отложения четвертичного и пермского возрастов (рис. 1).

Насыпной грунт (tQIV) представлен глинистым материалом с включением песка до 10% и песчано-гравийной смесью от черного до темно-коричневого цвета, маловлажный, слежавшийся. Образован в результате планировки территории в связи с обустройством территории, время отсыпки более 20 лет. Грунты завершили фазу самоуплотнения. Мощность насыпного грунта изменяется от 1 до 5,4 м.

Пермская система (P) Уфимский ярус (P1u*) Шешминский горизонт (P1ss):

- глина красновато-коричневая, желтовато-коричневая, аргиллитоподобная, с частыми прослоями песчаника серовато-коричневого, от мелкозернистого до тонкозернистого, различной степени выветрелости, от крепких скальных разностей до состояния плотного песка, мощность прослоев до 0,3 м с единичными прослоями мергеля серого, выветрелого до дресвяно-щебенистого состояния, мощность прослоев до 0,2 м; Мощность глины с прослоями от 1 до 25 м;

- песчаник серовато-коричневый, зеленовато-серый, красновато-коричневый, в верхней части разреза мелкозернистый на глинистом цементе, с глубин 20–25 м до тонкозернистого, прослоями переходит в алевролит, на карбонатно-глинистом цементе, различной степени выветрелости, от крепких, полускальных разностей до сильно выветрелого плотного песка с тонкими прослоями (до 0,3 м) глины твердой. Распространен в виде отдельных линз и прослоев мощностью от 1 до 7,1 м.

Гидрогеологические условия участка до глубины 49 м характеризуются развитием одного водоносного горизонта и одного водоносного комплекса. Техногенный горизонт подземных вод развит в виде отдельных линз в насыпных грунтах. По данным изысканий и обследования зданий, воды встречены в центральной и северной частях пло-

щадки на глубинах 2,5–3,5 м от дневной поверхности (абс. отм. 186,7–187,2 м) и в основании фундаментов существующих зданий, расположенных к северу от площадки, на глубинах 2–2,6 м (абс. отм. 183,4–185,6 м). Область распространения техногенных вод и направление потока указаны на рис. 2.

Техногенный водоносный горизонт сформировался на участке, где мощность насыпных грунтов более 2 м, за счет зависания воды на глинах Шешминского горизонта. Воды безнапорные со свободной поверхностью. Водовмещающими породами являются глинистые насыпные грунты, водоупором служат более плотные разности уфимских глин, залегающие ниже по разрезу. Питание их происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, утечек из многочисленных водонесущих коммуникаций. Разгрузка подземных вод происходит в северном и северо-восточном направлениях, в сторону увеличения мощности насыпных грунтов. По результатам опытно-фильтрационных работ коэффициент фильтрации для насыпных грунтов составил 0,2–0,5 м/сут. По степени водопроницаемости насыпные грунты являются слабопроницаемыми и водопроницаемыми.

Водоносный комплекс в породах Уфимского яруса: частая фациальная изменчивость пород Уфимского яруса обусловила сложное залегание подземных вод. Воды не образуют единого водоносного горизонта, а представляют комплекс отдельных линз, прослоев и пластов. Подземные воды в породах Уфимского яруса в период изыска-



Рис. 3. Общий вид подземной части комплекса

ний (ноябрь, 2013 г.) скважинами зафиксированы на глубинах 6,8–33 м, соответственно на абсолютных отметках 157,1–184,1 м.

Они приурочены к прослоям песчаников Шешминского горизонта, относятся к пластовому трещинно-поровому типу. Мощность водоносных горизонтов зависит от мощности обводненных прослоев. Воды безнапорные и слабонапорные, величина напора до 5,9 м. Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, частичной разгрузки из вышележащего водоносного горизонта и утечек из водонесущих коммуника-

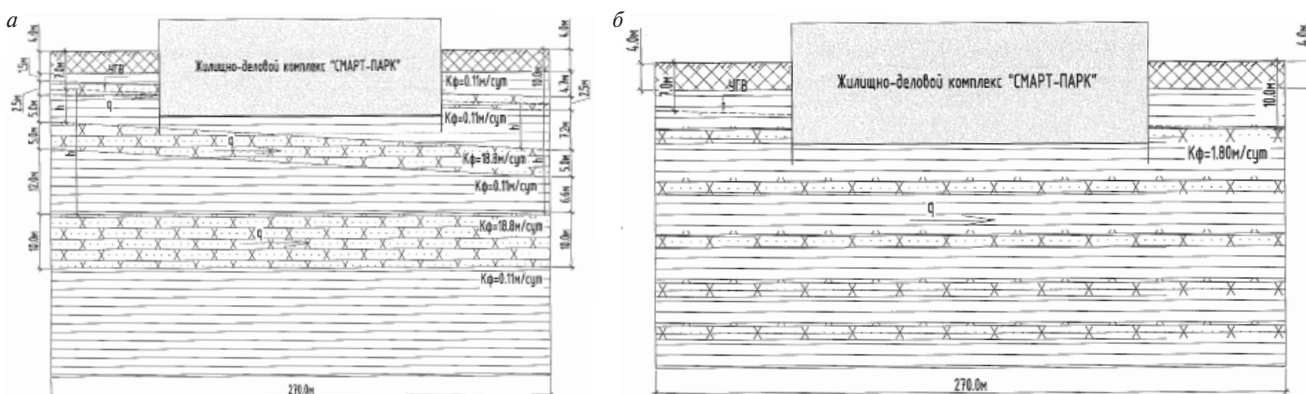


Рис. 4. Движение напорно-безнапорных подземных вод в слоистой толще: а – расчетная схема 1; б – расчетная схема 2

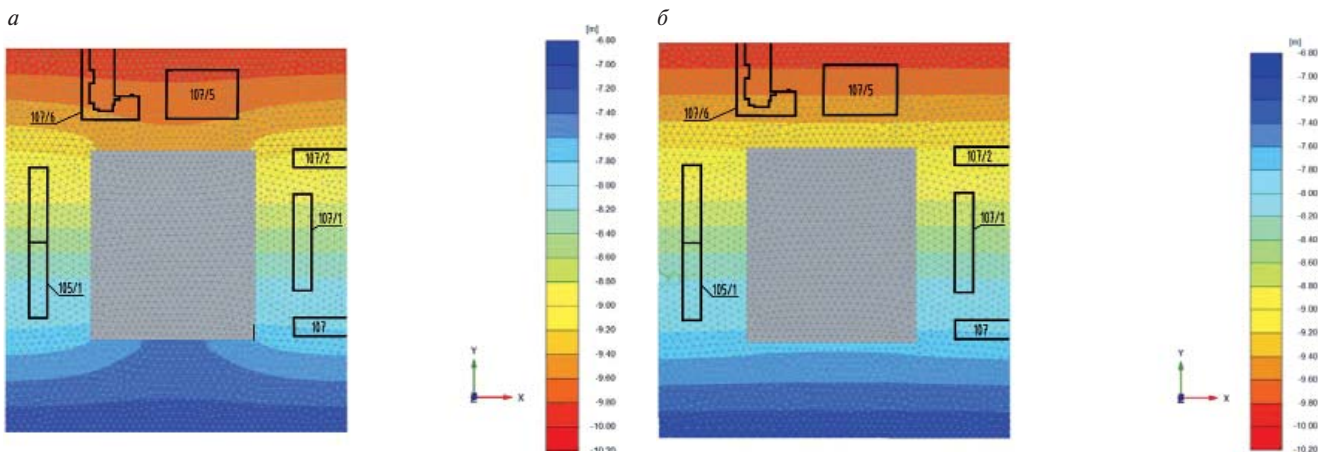


Рис. 5. Схема прогнозируемых гидроизобар подземных вод после строительства подземной части: а – расчетная схема 1; б – расчетная схема 2

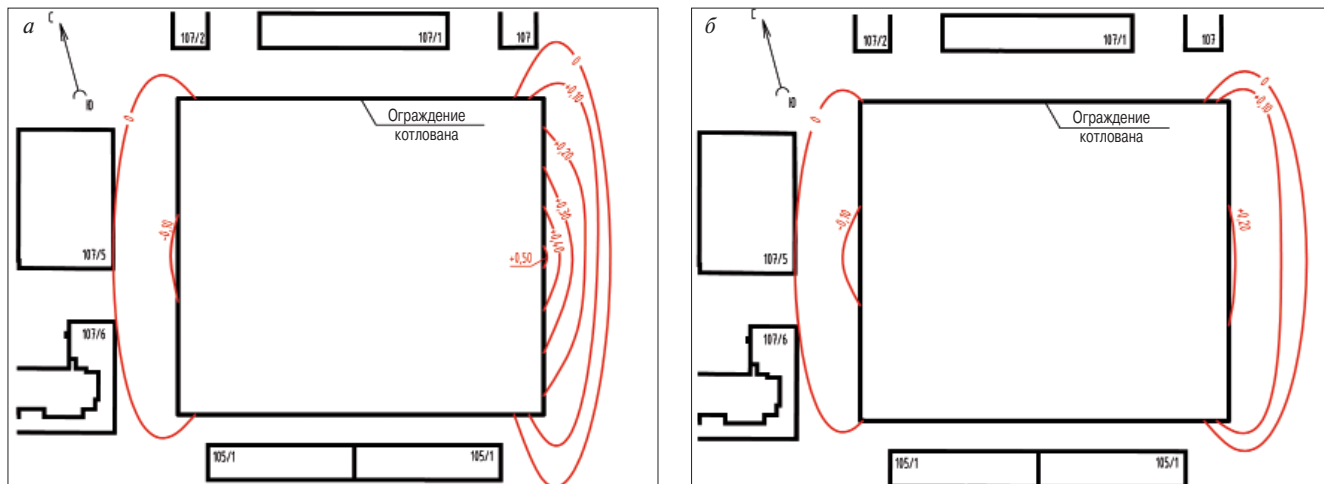


Рис. 6. Схема изолиний изменения уровня подземных вод после устройства подземной части комплекса : а – расчетная схема 1; б – расчетная схема 2

Изменение положения уровня подземных вод в контрольных точках до и после строительства подземной части объекта

| Сечение | Точка | Положение уровня подземных вод (от поверхности земли), м | | Подъем (+) / снижение (-) уровня |
|---------|-------|--|--------|----------------------------------|
| 1-1 | А | -7,5 | -7,448 | +0,052 |
| | Б | -7,772 | -7,566 | +0,206 |
| | В | -9,202 | -9,339 | -0,137 |
| | Г | -9,448 | -9,45 | -0,01 |
| 2-2 | Д | -7,772 | -7,691 | +0,079 |
| | Е | -7,772 | -7,589 | +0,183 |
| | Ж | -7,772 | -7,566 | +0,206 |
| | И | -7,772 | -7,75 | +0,022 |
| 3-3 | К | -9,202 | -9,14 | +0,062 |
| | Л | -9,202 | -9,206 | -0,004 |
| | В | -9,202 | -9,339 | -0,137 |
| | М | -9,202 | -9,173 | -0,029 |
| | Н | -9,202 | 9,176 | +0,026 |

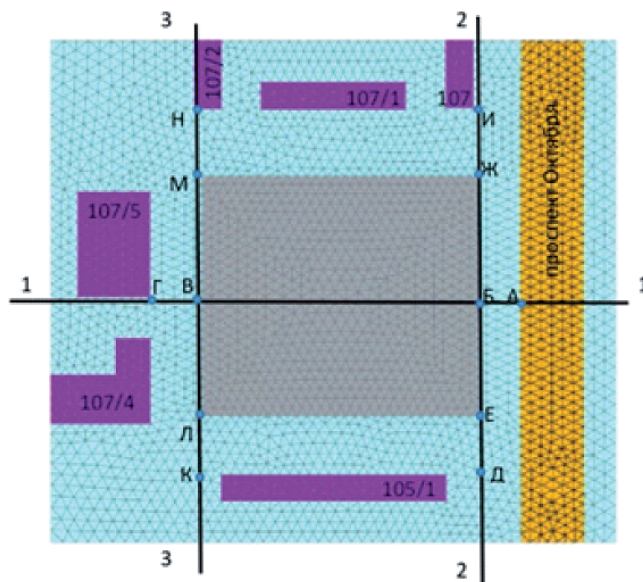


Рис. 7. Схема контрольных точек положения уровня подземных вод

ций. Разгрузка подземных вод происходит через овражную сеть, находящуюся за пределами участка изысканий, незначительная часть вод по трещинам перетекает в нижележащие породы кунгурского яруса и дренируется по карстовым каналам в долину реки Белой. По результатам опытно-фильтрационных работ коэффициент фильтрации для песчаников составил 2,2–18,8 м/сут, для глин с прослоями песчаников 1,8 м/сут, для глин аргиллитоподобных 0,04–0,11 м/сут, удельное водопоглощение 0,03–0,09 л/(мин×м²). Согласно ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация», табл. Б.7 песчаники являются породами от водопроницаемых до сильноводопроницаемых, глины – от водонепроницаемых до водопроницаемых.

Описание подземной части комплекса

Жилищно-деловой комплекс «Смарт-Парк-Уфа» состоит из делового центра высотой 99 м с развитой стилобатной частью и жилых 23-этажных зданий. В составе объекта предусмотрена трехуровневая подземная парковка под

всей площадью комплекса. В качестве фундаментов используется монолитная железобетонная фундаментная плита (рис. 3). По периметру комплекса устраивается водонепроницаемое ограждение котлована глубиной от 10,6 до 15 м (абс. отметка подошвы 179,8–174,5 м); с запада и севера – из секущихся грунтоцементных свай, с востока и юга – железобетонная «стена в грунте».

Компьютерное моделирование

Совместный анализ гидрогеологических условий и проектных решений по устройству ограждения котлована и «стен в грунте» (далее по тексту – «подземная часть объекта») позволил установить следующее:

– изменение гидрогеологических условий площадки под воздействием подземной части проектируемого объекта глубиной 15 м предполагается только в верхней части водоносного комплекса пород Уфимского яруса (перекрытие водоносного комплекса ограждением котлована 8–13 м при общей мощности комплекса более 30 м);

– техногенные воды распространены локально только в центральной и северной частях площадки. В связи с тем, что поток направлен в северном направлении, строительство подземной части не окажет влияния на гидрогеологический режим техногенных вод, при расчетах этот горизонт рассматриваться не будет.

Расчетная схема 1 (рис. 4, а): движение напорно-безнапорных подземных вод в слоистой толще, представленной слабопроницаемой глиной с водопроницаемыми слоями песчаника мощностью от 2,5 до 5 м. Коэффициент фильтрации глин 0,11 м/сут, песчаника – 18,8 м/сут. Уровень подземных вод и пьезометрический уровень на абс. отметках 183 и 182,5 м.

Расчетная схема 2 (рис. 4, б): движение подземных вод в однородной толще глин с прослоями песчаника. Коэффициент фильтрации грунтов 1,8 м/сут. Уровень подземных вод на абс. отметках 183 и 182,5 м.

При выполнении расчетов принято: размеры расчетной зоны в плане 240×270 м, по глубине 60 м; размеры водонепроницаемого контура (подземной части): в плане 134×116 м вытянуты в широтном направлении с запада на восток; по глубине на абс. отметке 174,5 м (максимальное значение подошвы ограждения котлована); направление движения потока подземных вод на запад в сторону р. Белой; уровень поверхности земли на абс. отметке 190 м (среднее значение); движение подземных вод установившееся; физико-механические характеристики грунтов – по отчету об изысканиях.

Расчет выполнялся методом математического моделирования в трехмерной постановке задачи с использованием программного комплекса PLAXIS 3D версия 2013. При создании КЭ схемы грунтового основания описывалось с использованием упругопластической модели упрочняющегося грунта (Hardening soil); напоры грунтовых вод, давления в поровой воде и внешние давления воды созданы с помощью задания уровня воды; моделирование геотехнического барьера (железобетонной «стены в грунте» и ограждающей стенки из грунтоцементных свай) выполнено конечным элементом «Plates», фундаменты соседних зданий заданы отдельными объемными элементами (кластерами).

Численное моделирование изменения гидрогеологических условий площадки с учетом строительства подземной части объекта выполнено следующими расчетными фазами: моделирование геотехнической обстановки, задание уровня грунтовых вод; формирование окружающей застройки; стабилизация осадок существующих зданий; устройство геотехнического барьера.

Результаты моделирования изменения уровня подземных вод приведены на рис. 5–7 и в таблице.

Выводы

В результате анализа гидрогеологической ситуации, проектных решений по устройству подземной части и выполненных гидрогеологических расчетов установлено следующее:

– строительство жилищно-делового комплекса «Смарт-Парк-Уфа» с устройством непроницаемого геотехнического барьера глубиной до 15 м окажет влияние только на гидрогеологический режим верхней части водоносного комплекса пород Уфимского яруса;

– при различной схематизации гидрогеологического разреза (напорно-безнапорное движение подземных вод в слоистом пласте с различными коэффициентами фильтрации слоев и безнапорное движение подземных вод в однородных породах с усредненным коэффициентом фильтрации) прогнозируемая величина подъема уровня на восточной границе подземной части комплекса в результате проявления барражного эффекта составит от 0,2 до 0,5 м (макс. до абс. отметки 182,9 м). Повышение уровня распространится в зоне шириной не более 25 м в восточном направлении. К западу от подземной части комплекса произойдет понижение уровней на 0,1–0,2 м в зоне шириной до 23 м;

– в связи с незначительным подъемом (0,01–0,3 м) и снижением (0,01–0,1 м) уровней подземных вод по сравнению с глубиной их залегания под подошвой фундаментов зданий окружающей застройки и подземных коммуникаций барражный эффект не приведет с практической точки зрения к изменению гидрогеологических условий и, следовательно, не окажет влияния на окружающую застройку.

Список литературы

1. Маковецкий О.А. Влияние изменений геологической среды на надежность системы «основание – фундамент – здание» / *Инженерная геология и охрана геологической среды. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. М.: ГЕОС, 2004. С. 398–402.
2. Маковецкий О.А., Пономарев А.Б., Савинов А.В. Проблемы инженерной защиты городских территорий от подтопления. Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство / *Труды международной конференции по геотехнике*. М.: АСВ, 2003. Т. 2. С. 185–193.
3. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // *Вестник Российской академии наук*. 2001. Т. 71. № 4. С. 291–302.
4. Пономарев А.Б. Геотехническое моделирование влияния глубокого котлована при реконструкции здания // *Жилищное строительство*. 2014. № 9. С. 38–44.

References

1. Makovetsky O.A. Vliyaniye of changes of the geological environment on reliability of system «the basis – the base building». *Engineering geology and protection of the geological environment. Materials of year session of Scientific council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology*. Moscow: GEOS, 2004, pp. 398–402. (In Russian).
2. Makovetsky O.A., Ponomarev A.B., Savinov A.V. Of the Problem of engineering protection of urban areas against flooding. Reconstruction of the historical cities and geotechnical construction. *Works of the international conference on geotechnics*. Moscow: ASV, 2003. V. 2. P. 185–193. (In Russian).
3. Osipov V.I. Natural disasters at a turn of the XXI century. *Vestnik Rossijskoi akademii nauk*. 2001. V. 71. No. 4, pp. 291–302. (In Russian).
4. Ponomarev A.B. Geotechnical modeling of influence of a deep ditch at reconstruction of the building. *Zhilishhnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 9, pp. 38–44. (In Russian).