

УДК 556:004.942+699.828

ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ СИСТЕМЫ ДРЕНАЖА В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЗАСТРОЙКИ ПОЙМЫ Р. ДНЕПР

ТИМОЩУК В. И.^{1*}, к.т.н., доц.
ШЕРСТЮК Е. А.^{2*}, ассист.

^{1*}Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, ГВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепр, пр-т. Д. Яворницкого, 19, комн. 54, 49005, Украина, +38(056)756-09-61, timvnm@mail.ru, ORCID 0000-0003-3266-9828.

^{2*}Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, ГВУЗ "Национальный горный университет", г. Днепр, пр-т. Д. Яворницкого, 19, корпус 1 комн. 54, 49005, Украина, +38(056)756-09-61, eusherstuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1844-1985.

Аннотация. Целью настоящей работы является прогнозная оценка гидродинамического режима подземных вод на участке перспективной застройки пойменной части долины р. Днепр в связи с выбором целесообразной системы дренажа и обоснованием параметров дренажного водопонижения. **Объект исследований** – геофильтрационные процессы в нарушенных строительством и эксплуатацией проектируемых сооружений гидрогеологических условиях пойменных участков среднего течения р. Днепр. **Методика** исследований гидродинамического режима представлена вариантным моделированием процессов планово-профильной фильтрации в условиях работы различных видов дренажа и компоновки дренажных сооружений с использованием численной математической модели, реализованной на базе метода конечных разностей. По **результатам** анализа и обобщения данных о геологическом строении и гидрогеологических условиях определены основные режимобразующие факторы исследуемой территории, разработана общая гидродинамическая схема моделируемой области и обоснована структура геофильтрационной модели, определены ее начальные и граничные условия. По данным моделирования выполнена прогнозная оценка уровневого режима подземных вод, проведен сопоставительный анализ эффективности пластового и вертикального дренажей при различных схемах компоновки водопонижительных сооружений. Эффективность работы дренажных сооружений на защищаемой территории оценена для условий прохождения высокого паводка при заданной обеспеченности уровня воды в р. Днепр. **Научная новизна** результатов исследований заключается в установлении закономерностей формирования гидродинамического режима подземных вод в пойменной части долины р. Днепр под влиянием основных режимобразующих факторов в условиях работы дренажного водопонижения. **Практическая значимость** работы состоит в обосновании выбора гидродинамически целесообразной системы дренажа, схемы расположения водопонижительных сооружений и параметров водопонижения на участке проектируемого строительства. Результаты исследований могут составлять основу для разработки инженерных мероприятий защитного характера при проектировании объектов строительства в пределах потенциально подтапливаемых пойменных участков долин рек.

Ключевые слова: гидродинамический режим; геофильтрационное моделирование; прогноз уровневого режима; система дренажа; параметры дренажного водопонижения

ОБГРУНТУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНО ДОЦІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДРЕНАЖУ В УМОВАХ ПРОЕКТОВАНОЇ ЗАБУДОВИ ЗАПЛАВИ Р. ДНІПРО

ТИМОЩУК В. І.^{1*}, к.т.н., доц.
ШЕРСТЮК Є. А.^{2*}, асист.

^{1*}Кафедра гідрогеології та інженерної геології, ДВНЗ "Національний гірничий університет", м. Дніпро, пр-т. Д. Яворницького, 19, кімн. 54, 49005, Україна, +38(056)756-09-61, timvnm@mail.ru, ORCID 0000-0003-3266-9828.

^{2*}Кафедра гідрогеології та інженерної геології, ДВНЗ "Національний гірничий університет", м. Дніпро, пр-т. Д. Яворницького, 19, кімн. 54, 49005, Україна, +38(056)756-09-61, eusherstuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1844-1985.

Анотація. Метою даної роботи є прогнозна оцінка гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці перспективної забудови заплавної частини долини р. Дніпро в зв'язку з вибором доцільної системи дренажу та обґрунтуванням параметрів дренажного водозниження. **Об'єкт досліджень** – геофільтраційні процеси у порушених будівництвом і експлуатацією проєктованих споруд гідрогеологічних умовах заплавної ділянок середньої течії р. Дніпро. **Методика** досліджень гідродинамічного режиму представлена варіантним моделюванням процесів планово-профільної фільтрації в умовах роботи різних видів дренажу та компоновки дренажних споруд із використанням чисельної математичної моделі, реалізованої на базі метода кінцевих різностей. За **результатами** аналізу та узагальнення даних про геологічну будову і гідрогеологічні умови визначені основні режимоутворюючі фактори досліджуваної території, розроблена загальна гідродинамічна схема моделюваної області й обґрунтована структура геофільтраційної моделі, визначені її початкові і граничні умови. За даними моделювання виконана прогнозна оцінка рівневого режиму підземних

вод, проведено порівняльний аналіз ефективності пластового та вертикального дренажів при різних схемах компоновки водознижуючих споруд. Ефективність роботи дренажних споруд на території, що захищається, оцінена для умов проходження високого паводку при заданій забезпеченості рівня води в р. Дніпро. *Наукова новизна* результатів досліджено полягає у встановленні закономірностей формування гідродинамічного режиму підземних вод у заплавної частині долини р. Дніпро під впливом основних режимоутворюючих факторів в умовах роботи дренажного водозниження. *Практична значимість* роботи полягає в обґрунтуванні вибору гідродинамічно доцільної системи дренажу, схеми розташування водознижуючих споруд і параметрів дренажного водозниження на ділянці проєктованого будівництва. Результати досліджень можуть складати основу для розробки інженерних заходів захисного характеру при проєктуванні об'єктів будівництва в межах потенційно підтоплованих заплавної ділянок долин річок.

Ключові слова: гідродинамічний режим; геофільтраційне моделювання; прогноз рівневого режиму; система дренажу; параметри дренажного водозниження

HYDRODYNAMICALLY EXPEDIENT DRAINAGE SYSTEM IN THE BUILT-UP AREAS OF THE DNIEPER RIVER FLOODPLAIN

TYMOSHCHUK V. I.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
SHERSTIUK IE. A.^{2*}

^{1*}Department of Hydrogeology and Engineering Geology, State Higher Educational Institution "National mining university", Dnipro, Yavornytskoho ave., 19, r. 54, 49005, Ukraine, +38(056)756-09-61, timvnu@mail.ru, ORCID 0000-0003-3266-9828.

^{2*}Department of Hydrogeology and Engineering Geology, State Higher Educational Institution "National mining university", Dnipro, Yavornytskoho ave., 19, r. 54, 49005, Ukraine, +38(056)756-09-61, eusherstuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1844-1985.

Abstract. The *purpose* of this paper is predictive assessment the hydrodynamic mode in prospective construction site of the Dnieper River floodplain in order to choose an expedient drainage system and substantiate the drainage parameters. The object of the research is geofiltration processes in the floodplain area of the Dnieper River middle flow in geological and hydrogeological conditions disturbed by construction and operation of the designed facilities. In studying the hydrodynamic mode, we used the *method* of variant modeling of three-dimensional filtration processes under operation of various types of drainage and different drainage element layouts using a numerical mathematical model implemented on the basis of a finite difference method. The main mode-forming factors of investigated territory have been determined by the *results* of analysis and generalization data of geological structure and hydrogeological conditions, general hydrodynamic scheme of simulated area has been developed, the structure of geofiltration model has been justified, its initial and boundary conditions have been determined. Predictive estimation of groundwater level mode has been executed, comparative analysis of vertical and bed drainage efficiency with various schemes of drainage element layouts has been carried out by simulation. Efficiency of the drainage structures operation in the protected area has been estimated for a high level flood conditions with 1% probability in the Dnieper River. The *scientific novelty* of research: patterns in the hydrodynamic mode formation of the Dnieper River floodplain under the influence of main mode-forming factors in conditions of drainage operation have been determined. The *practical significance* of the work consists in the substantiation of choosing the hydrodynamically expedient drainage system, layout of water-depleting constructions and drainage parameters at the site of projected construction. The results of this research can form the basis for development the protective engineering measures in construction design at sites within potentially flooded floodplains of rivers.

Key words: hydrodynamic mode; geofiltrational simulation; groundwater mode forecast; drainage system; drainage parameters

Постановка проблеми, актуальність, цель

Современные темпы застройки в больших городах и рост стоимости недвижимости определяют необходимость использования новых участков под строительство, инженерно-геологические и гидрогеологические условия которых требуют принятия дополнительных инженерных решений по защите проектируемых сооружений [2, 5].

Так, при проектировании спорткомплекса в г. Днепр на аллювиальных отложениях р. Днепр в условиях существующей гидравлической взаимосвязи поверхностных и подземных вод является необходимым обоснование выбора дренажной системы и прогноз изменений гидродинамического режима подземных вод.

Геологическое строение участка строительства представлено комплексом современных, верхне-

среднечетвертичных старичных, аллювиальных отложений, которые подстилаются толщей грунтов коры выветривания скальных пород палеозой-кайнозойского возраста. На поверхности коренные отложения перекрыты техногенными грунтами. Рассматриваемый участок характеризуется развитием одного водоносного горизонта, приуроченного к четвертичным отложениям, область его распространения ограничена рекой Днепр. Установившийся уровень подземных вод зафиксирован (август 2016 г.) на глубинах 1,3...5,3 м (абс. отм. 51,29...51,50 м) от поверхности земли. Режим водоносного горизонта тесно связан с уровнем режимом вод реки. Площадка относится к категории естественно и постоянно подтопленных. В рассматриваемых условиях важным является решение задачи прогнозной оценки изменений гидродинамического режима на участке

проектируемого строительства для условий подпертого состояния грунтовых вод, соответствующего периоду прохождения паводка на р. Днепр, и обоснование рациональных параметров дренажного водопонижения.

При обосновании выбора гидродинамически целесообразной системы дренажа в паводковый период среди известных способов дренажной защиты проектируемых сооружений к рассмотрению было принято устройство пластового и вертикального дренажа.

Устройство пластовых дренажей входит в состав предупредительных мероприятий, предохраняющих отдельные здания и сооружения от подтопления [3, 8]. Дренажи сооружаются, как правило, в период строительства и препятствуют подъему уровня грунтовых вод под защищаемыми сооружениями, снижают дополнительное инфильтрационное питание грунтовых вод за счет перехвата и отвода утечек. Применение пластовых дренажей целесообразно в слабопроницаемых грунтах.

Вертикальный дренаж в виде ряда или группы скважин применяется, когда устройство горизонтального дренажа экономически нецелесообразно, или, вследствие высокой плотности застройки подтапливаемой территории и насыщенности ее инженерными коммуникациями, представляется затруднительным либо даже невозможным [3, 8]. Такой дренаж целесообразно применять: в высокопроницаемых грунтах ($k > 5,0$ м/сут), при мощности обводненных пород свыше нескольких метров, и глубине водоупора более 8,0...10,0 м; при двухслойном строении обводненной толщи, когда верхний слой сложен слабопроницаемыми глинистыми породами мощностью несколько метров, а нижний – хорошо проницаемыми породами; при многослойном строении обводненной толщи пород значительной (> 10,0 м) мощности.

Расчетная схематизация и методика моделирования

При оценке изменений гидродинамического режима на участке проектируемого строительства использована реализованная в программном комплексе MODFLOW 2009.1 численная модель геофильтрации, которая представляет собой модель трехмерного потока подземных вод постоянной плотности в пористой среде и описывается частным дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (1)$$

где k_{xx} , k_{yy} и k_{zz} – гидравлические проводимости в направлении координатных осей X , Y и Z (L/T); h – искомая функция напора (L); W – единичный расход

потока (T⁻¹): для входящего потока $W > 0$, для исходящего потока – $W < 0$; S_s – удельная емкость пористой среды (L⁻¹); t – время (T).

Уравнение (1) совместно с граничными и начальными условиями описывает трехмерный нестационарный поток подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде при условии, что основные направления гидравлических проводимостей совпадают с направлениями координатных осей [4, 6 – 7].

Расчетная схематизация участка строительства выполнена исходя из особенностей геологического строения территории, характера залегания грунтового водоносного горизонта и его гидравлических характеристик, фильтрационных свойств пород, характера питания и разгрузки по площади развития водоносного горизонта и на его контурах, наличия гидравлической взаимосвязи между подземными и поверхностными водами.

Моделируемая область определена в контурах основных геоморфологических элементов и составляющих гидрографической сети, с размерами 760 м по оси x (в субмеридиональном направлении) и 840 м – по оси y (в субширотном направлении), с общей площадью 0,64 км². Размеры расчетных блоков приняты равными 10×10 м.

Структура модели в соответствии с геологическим строением территории и характером залегания четвертичного водоносного горизонта приведена к трехслойной толще, сложенной водопроницаемыми отложениями:

1 слой – насыпные грунты, смесь суглинков, песков, почвы и строительного мусора, и старичных суглинков легких песчаных, супесей пылеватых с прослоями песков, мощностью от 4,0 до 16,7 м.

2 слой – аллювиальные пески неоднородные, мелкие, средние, верхне- и среднечетвертичного возраста мощностью 3,1...6,4 м.

3 слой – среднечетвертичные аллювиальные пески, неоднородные, с включениями щебня, дресвы, гравия, гальки мощностью 2,7...6,9 м, залегающие на первичных каолинах, являющихся относительным водоупором.

В качестве внешней гидродинамической границы на западном контуре модели принята удаленная граница с обеспеченным питанием ($H=Const$), положение которой установлено в соответствии с общей гидродинамической схемой территории. Величина напора на этой границе принята равной 54,0 м, что соответствует установленному (по данным ДнепроГИИНИЗ) положению уровней четвертичного водоносного горизонта в интервале сочленения поймы реки и коренного склона, с абсолютными отметками 53,16...54,96 м (рис. 1).

Значения гидравлических проводимостей на контуре удаленного питания заданы в соответствии с их фильтрационными свойствами и изменяются в пределах от 0,056...0,096 м²/сут для толщи насыпных грунтов (слой 1) и 0,245...0,327 м²/сут для мелких песков (слой 2) до 0,653... 0,736 м²/сут – для

неоднородных гравелистых песков в основании водосодержащей толщи (слой 3).

Учитывая характер питания и разгрузки водоносного горизонта и общее направление потока от коренного склона в сторону реки, на внешних северной и южной границах модели задано граничное условие второго рода, соответствующее отсутствию бокового притока – $Q=0$.

Внешней гидродинамической границей на восточном контуре является р. Днепр, уровенный режим которой определяется режимом работы ДнепроГЭС и расположенных выше по течению водохранилищ. При абсолютной отметке нормального подпорного горизонта НПГ 51,40 м амплитуда колебания уровня воды у г. Днепра при суточном регулировании на Днепродзержинской ГЭС не превышает 0,36 м, а максимально и минимально возможные отметки составляют соответственно 51,84 м и 50,52 м.

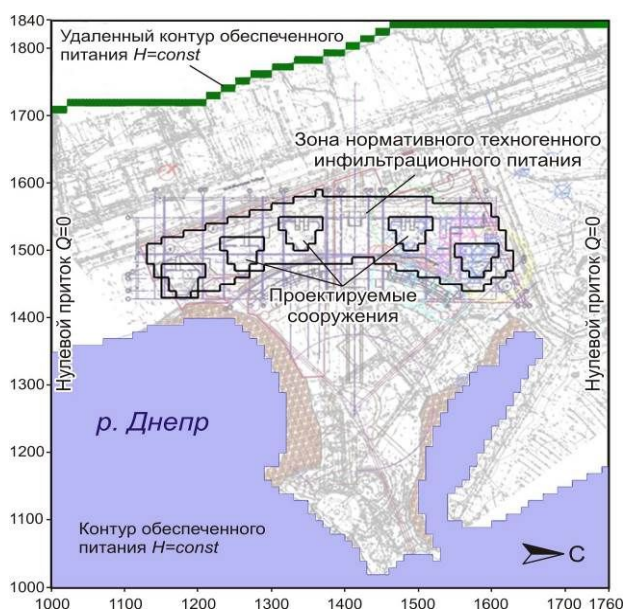


Рис. 1 Гидродинамическая схематизация моделируемой области /

Hydrodynamic scheme of simulated area

При решении обратных задач и оценке сходимости модели абсолютная отметка воды в р. Днепр принята согласно периоду проведения инженерно-геологических изысканий – август 2016 г., который соответствует летне-осеннему периоду малой водности – 51,00 м. В прогнозных расчетах отметка уровня воды в реке задавалась равной величине НПГ – 51,40 м, а при оценке эффективности работы дренажных систем – абсолютной отметке 1% обеспеченности – 52,68 м (по данным "УкрГидропроект").

Гидравлическая проводимость подрусловых отложений р. Днепр установлена в соответствии с фильтрационными свойствами грунтов для расчетных слоев 1 и 2 в границах прибрежного участка русла реки и принята равной 250 м²/сут.

Инфильтрационное питание в модели задано равным 15,7 мм/год, что составляет величину порядка 3% от

общего количества атмосферных осадков, равного, согласно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:210 "Строительная климатология", 522 мм/год. При оценке природного инфильтрационного питания во внимание приняты данные исследований [1], выполненных для Причерноморского артезианского бассейна.

Для учета испарения и высачивания подземных вод на участках их выклинивания введен параметр, обеспечивающий отток подземных вод в пределах контуров, где глубина их залегания не превышает 50 см. Величина испарения в модели задана равной 495 мм/год, что соответствует величине, характерной для испарения (эвапотранспирации) для данной климатической зоны.

Методикой моделирования предусматривалось решение обратных и прогнозных задач для оценки изменений гидродинамического режима на участке строительства в соответствии с пространственным положением сооружаемых объектов, как в существующих условиях, так и в условиях, нарушенных проектируемым строительством.

Основными факторами, определяющим формирование гидродинамического режима в пределах участка проектируемого строительства, являлись изменение интенсивности инфильтрационного питания вследствие утечек из водонесущих коммуникаций, барражирующий эффект, создаваемый свайными фундаментами, и изменения уровня воды в р. Днепр.

Нормативная величина техногенного инфильтрационного питания для городских территорий с соответствующим типом застройки в условиях неустойчивого увлажнения составляет $2,3 \cdot 10^{-3}$ м/сут или 839,5 мм/год [3].

Для учета барражирующего влияния свайных фундаментов в контурах проектируемых зданий задавались пониженные на порядок значения коэффициентов фильтрации грунтов в первом и втором расчетных слоях – на глубину, соответствующую положению подошвы фундамента. Влияние уровенного режима р. Днепр в прогнозных расчетах оценивалось при поддержании уровня воды на отметке НПГ $H=51,40$ м и в условиях достижения уровнем воды в реке отметки с 1% обеспеченностью $H=52,68$ м.

Сопоставительная оценка работы дренажных систем производилась в условиях установившегося режима фильтрации при совокупном действии всех указанных выше факторов и положении уровня воды в р. Днепр с абсолютной отметкой 52,68 м.

Анализ результатов моделирования

Оценка гидродинамического режима на участке проектируемого строительства в существующих по состоянию на август 2016 г. условиях выполнена по данным решения обратных задач в стационарной постановке.

Установленные для существующих условий расчетные отметки уровней подземных вод на участке строительства находятся в пределах

51,20...51,55 м при фактическом их положении на отметках 51,29...51,50 м. Отклонение расчетных и фактических отметок уровней не превышает 0,2 м. Оцененная при калибровке модели сходимость расчетных данных с данными наблюдений характеризуется коэффициентом корреляции 0,78 при стандартной ошибке 0,033 м, что подтверждает корректность постановки задач и достоверность прогнозных расчетов.

При решении прогнозных задач положение уровня в р. Днепр определялось отметкой НППГ = 51,40 м, что в условиях существующей гидравлической взаимосвязи обеспечивало соответствующий подпор уровней грунтовых вод на участке проектируемого строительства.

Оценка барражирующего влияния свайного фундамента, связанного со снижением проницаемости грунтов в основании проектируемых зданий, показала, что десятикратное снижение гидравлической проводимости грунтов в интервале заложения свайного фундамента не приводит к значительным деформациям поверхности подземных вод. Поднятие уровня грунтовых вод происходит непосредственно у контуров проектируемых зданий и не превышает 3...5 см.

В условиях техногенного инфильтрационного питания, заданного в пределах участка расположения проектируемых сооружений величиной $W_i=855$ мм/год, наблюдается формирование купола подземных вод с абсолютными отметками поверхности 51,6...52,25 м. В этих условиях заметнее сказывается и барражирующий эффект свайных фундаментов: в пределах пятна здания поднятие уровня подземных вод достигает величины 20 см, что соответствует отметке около 52,40 м.

При подъеме уровня воды в р. Днепр до отметки 52,68 м, прогнозное повышение уровня грунтовых на участке достигает абсолютных отметок 52,8...53,00 м, что эквивалентно подпору подземного потока на 1,1...1,3 м.

Изменения гидродинамического режима аллювиального водоносного горизонта при подъеме уровня воды в р. Днепр до отметки 52,68 м связано с резким ростом его питания речными водами, о чем свидетельствует распределение балансовых составляющих области. Так в условиях существующего положения грунтовых вод моделируемая область получает 66,3 м³/сут в качестве питания со стороны реки и -176,9 м³/сут в качестве разгрузки в реку. В условиях же прохождения паводка эти составляющие баланса равны 316,4 м³/сут и -49,6 м³/сут соответственно.

Комплексное воздействие факторов, оказывающих влияние на гидродинамический режим грунтовых вод в пределах участка проектируемого строительства, способствует росту уровней грунтовых вод на величину до 1,8 м, результатом которого является подтопление и частичное затопление исследуемой территории.

При обосновании выбора целесообразной системы

дренажа для защиты участка от подтопления и затопления в паводковые периоды к рассмотрению приняты пластовый и вертикальный дренажи с вариантами размещения водопонижительных скважин.

При определении отметки необходимого поддержания уровня грунтовых вод на защищаемом участке учитывались отметка пола нижнего уровня (53,70 м), существующее положение уровня грунтовых вод (51,29...51,50 м) и величин его сезонного колебания (0,5...1,1 м), высота капиллярного поднятия (0,35 м для мелких песков) и глубина сезонного промерзания (0,96 м). В качестве критерия необходимого водопонижения принята абсолютная отметка уровня грунтовых вод 52,40 м. Устройство пластового дренажа моделировалось заданием в границах застраиваемого участка дополнительного расчетного слоя с повышенной проницаемостью, равной $K_x=K_y=100$ м/сут, $K_z=10$ м/сут, и контурных дрен с проводимостью 300 м²/сут и отметкой водопонижения 52,00 м.

Работа вертикального дренажа моделировалась заданием системы водопонижительных скважин по контуру застраиваемого участка, оборудованных водозаборной частью в интервале отметок 44,00...47,00 м во втором слое. К рассмотрению были приняты две схемы водопонижения – с 13 и 5 скважинами.

При работе дренажной системы с 13 скважинами производительность каждой скважины составляла 1,5 м³/час (36 м³/сут), с 5 скважинами – 5 м³/час (120 м³/сут). Общий дренажный водоотбор при организации водопонижения в первом случае составлял 468,0 м³/сут, во втором – 600,0 м³/сут.

Результаты прогнозного моделирования показали, что достижение требуемой отметки уровня грунтовых вод при работе пластового дренажа (рис. 2) происходит непосредственно в пределах застраиваемой площадки, а необходимое снижение уровней обеспечивается при заложении фильтрующего слоя на отметке 52,00 м и величине дренажного водоотбора 307,6 м³/сут. Необходимое понижение в пределах застраиваемой площадки достигается при гидравлической проницаемости фильтрующего материала не ниже 100 м/сут.

В условиях работы вертикального дренажа с 13 скважинами снижение уровня грунтовых вод в аллювиальном водоносном горизонте обеспечивается не только непосредственно в пределах застраиваемой площадки, но и на прилегающих участках в пределах 60...80 метрового контура.

Снижение уровней воды до отметки 52,40 м на защищаемом участке достигается при положении уровней в водопонижительных скважинах на отметках 52,12...52,25 м. Результатом развития гидравлической депрессии в аллювиальном горизонте является смещение составляющих баланса области в сторону привлечения дополнительных ресурсов со стороны р. Днепр.

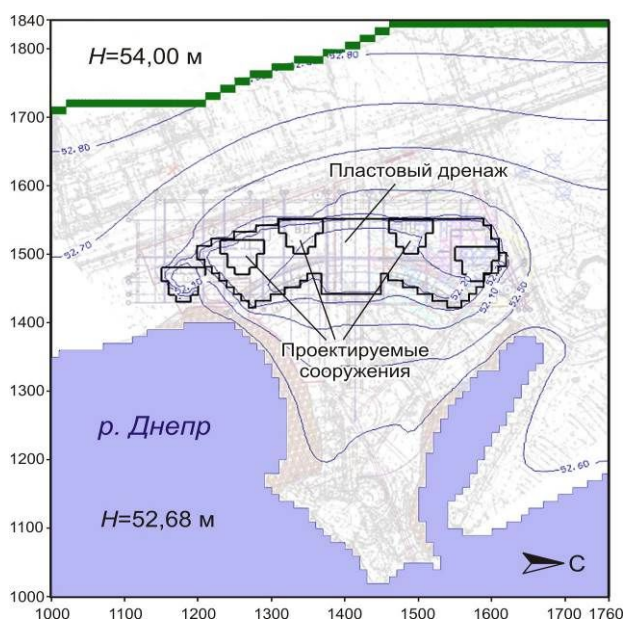


Рис. 2 Уровневая поверхность грунтовых вод в условиях работы пластового дренажа / Groundwater surface in conditions of bed drainage operation

В варианте вертикального дренажа с 5 скважинами (рис. 3) требуемое снижение уровней воды в аллювиальном горизонте достигается при понижениях в скважинах до отметок 51,33...51,97 м, что приводит к развитию в водоносном горизонте гидравлической депрессии с понижением уровней до отметок 52,40 м и ниже за пределами застраиваемой площадки в пределах 100...120 метрового контура.

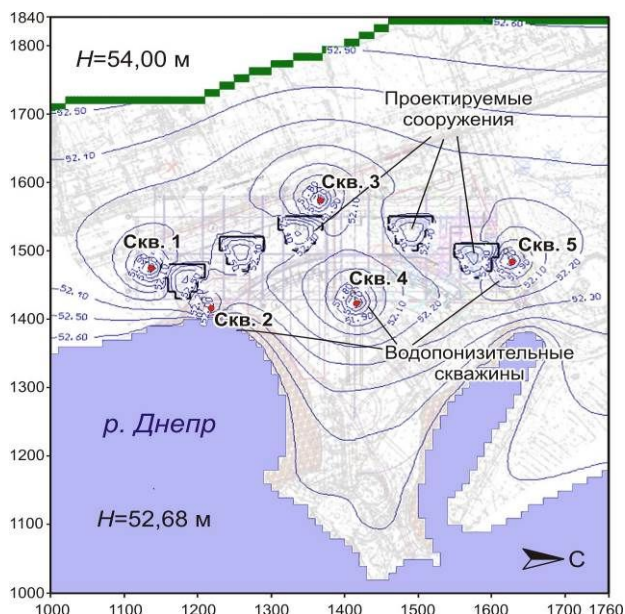


Рис. 3 Уровневая поверхность грунтовых вод в условиях работы вертикального дренажа (5 скважин) / Groundwater surface in conditions of vertical drainage operation (5 wells)

Как и в варианте с 13 скважинами баланс моделируемой области характеризуется

привлечением в дренажный водоотбор ресурсной составляющей, формирующейся преимущественно за счет притока со стороны р. Днепр.

На участке проектируемой застройки выполнена оценка параметров дренирования для варианта работы системы водопонижения из 5 скважин с общим дебитом 25 м³/час при прохождении паводка продолжительностью до 120 дней с абсолютной отметкой уровня воды 1% обеспеченности – 52,68 м. На рис. 4 приведены графики изменения расчетных уровней грунтовых вод в аллювиальном горизонте в центральной части участка.

Согласно расчетным данным, через 15 суток после начала прохождения паводка уровни грунтовых вод в центральной части участка превысят допустимую отметку 52,40 м и продолжат свой рост. Максимальная отметка уровня грунтовых вод, которая может быть достигнута, составляет 52,9...52,93 м. После окончания паводкового периода (90 суток), продолжительность восстановления уровней ниже граничной отметки 52,40 м составит 30 дней, т.е. период, когда уровни грунтовых вод на защищаемом участке находятся выше допустимой отметки, составляет 100...105 суток, что определяет интервал работы системы дренажного водопонижения.

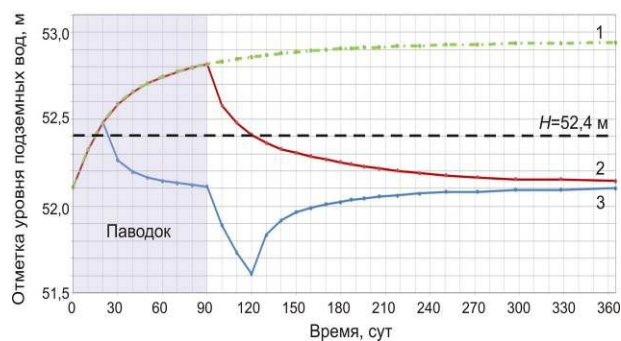


Рис. 4 Прогнозная динамика уровенного режима грунтового водоносного горизонта при прохождении паводка. Работа 5 водопонижительных скважин: 1 – поднятие уровней в паводок, 2 – восстановление уровней после паводка, 3 – работа водопонижительных скважин / Forecast of dynamics of groundwater level during the high water period. 5 water-reducing wells are working: 1 – water table raising during flood, 2 – level recovery after flood, 3 – drainage wells operation

Снижение уровней воды до отметки 52,40 м в центральной части участка проектируемого строительства происходит в течение 1...5 дней после запуска дренажной системы из 5 водозаборных скважин, и поддерживается в течение всего времени прохождения паводка на отметках 52,10...52,40 м.

Выводы

Анализ геолого-гидрогеологических условий пойменных участков среднего течения р. Днепр показал, что основными факторами, влияющими на формирование гидродинамического режима на

застраиваемых пойменных территориях, являются изменение интенсивности инфильтрационного питания вследствие утечек из водонесущих коммуникаций, барражирующий эффект свайных фундаментов проектируемых сооружений, и уровенный режим реки, который является определяющим в условиях нарушенного строительством режима аллювиального водоносного горизонта.

По результатам прогнозного моделирования гидродинамического режима на участке перспективной застройки установлено, что прохождение весеннего паводка в р. Днепр с повышением уровня воды в реке до отметки 52,68 м, соответствующей 1% обеспеченности, сопровождается повышением уровня грунтовых вод на застраиваемой территории до абсолютных отметок 52,80...53,00 м, что соответствует подпору подземного потока на 1,1...1,3 м.

В рассматриваемых условиях вертикальный

дренаж в отличие от пластового обеспечивает более глубокое водопонижение, благодаря чему эффективность его работы может быть достигнута при меньшем количестве водозаборных сооружений. При этом, за счет развития более глубокой гидравлической депрессии дренирующее влияние будет распространяться и на смежные участки, также подверженные подтоплению и затоплению в период паводков.

При оценке работы вертикального дренажа в условиях нестационарного режима фильтрации установлено, что при прохождении паводка в р. Днепр уровни грунтовых вод в центральной части участка могут достигать отметок 52,9...52,93 м уже через 15 суток после начала паводка. В этих условиях снижение уровней воды до допустимой отметки 52,40 м происходит в течение 1...5 дней после запуска дренажной системы из 5 скважин с общим дебитом 25 м³/час, и поддерживается в допустимом диапазоне в течение всего времени прохождения паводка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гриневский С. О. Закономерности формирования инфильтрационного питания подземных вод / С. О. Гриневский, М. В. Новоселова. // Водные ресурсы. – 2010. – Т.37, №6. – С. 1–12.
2. Слюсаренко Ю. С. Розробка ДСТУ-Н Б «Інженерний захист територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення» / Ю. С. Слюсаренко, В. Д. Шумінський, В. А. Титаренко, М. М. Хлапук, В. Г. Шаповал // Будівельні конструкції. – 2016. – Вип. 83(1). – С. 206–216. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83%281%29_20
3. Справочное пособие к СНиП. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях – Москва: Стройиздат, 1991. – 272 с.
4. Шестаков В. М. Гидрогеодинамика / В. М. Шестаков. – Москва : КДУ, 2009. – 334 с.
5. Шубин М. А. Исследование процесса подтопления застроенных территорий и разработка защитных мероприятий / М. А. Шубин, А. М. Шубин. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2010. – №17. – С. 142–147.
6. Kinzelbach W. Groundwater modeling / W. Kinzelbach. – Amsterdam : Elsevier, 1986. – 312 p.
7. Schlumberger. Visual MODFLOW 2009.1 User's Manual / Schlumberger Water Services – Waterloo, Ontario, Canada, 2009. – 666 p.
8. Valipour M. A Comparison between Horizontal and Vertical Drainage Systems (Include Pipe Drainage, Open Ditch Drainage, and Pumped Wells) in Anisotropic Soils / M. Valipour. // Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2012. – Vol. 4, №1. – P. 07–12.

REFERENCES

1. Grinevskiy S.O. and Novoselova S.O. *Zakonomernosti formirovaniya infil'tratsionnogo pitaniya podzemnykh vod* [Formation patterns of groundwater infiltration recharge]. *Vodnyye resursy* [Water resources]. 2010, Vol. 37, № 6, pp. 1–12. (in Russian).
2. Sliusarenko Yu.S., Shuminskiy V.D., Tytarenko V.A., Khlapuk M.M. and Shapoval V.H. *Rozrobka DSTU-N B «Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid pidtoplennia ta zatoplennia»* [Development the State standart of Ukraine "Engineering protection of territories, buildings and structures from flooding and inundation"]. *Budivelni konstrukcii* [Building constructions]. 2016, Vol. 83(1), pp. 206–216. (in Ukrainian). – Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83%281%29_20
3. *Spravochnoye posobiye k SNiP. Prognozy podtopleniya i raschet drenazhnykh sistem na zastraiyayemykh i zastroyennykh territoriyakh* [Reference Guide for State building norms. Forecasts of flooding and calculation the grainage systems on built-up territories]. Moscow : Sroyizdat. 1991, 272 p. (in Russian).
4. SHestakov V.M. *Gidrogeodinamika* [Hydrogeodynamics]. Moskow : KDU, 2009, 334 p. (in Russian).
5. SHubin M.A. and SHubin A.M. *Issledovaniye protsessy podtopleniya zastroyennykh territoriy i razrabotka zashchitnykh meropriyatiy* [Investigation of the process of flooding of built-up areas and development of protective measures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State Architecture and Civil Engineering University. S.: Building and architecture.]. 2010, №17, pp. 142–147. (in Russian).
6. Kinzelbach W. *Groundwater modeling*. Amsterdam : Elsevier, 1986, 312 p.
7. *Visual MODFLOW 2009.1 User's Manual*. Schlumberger Water Services. Waterloo, Ontario, Canada, 2009, 666 p.

8. Valipour M.A Comparison between Horizontal and Vertical Drainage Systems (Include Pipe Drainage, Open Ditch Drainage, and Pumped Wells) in Anisotropic Soils. Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2012. Vol. 4, №1, pp. 07–12.

Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. Рудаковым Д.В., (Украина), д.т.н., доц. Гапеевым С.Н. (Украина)

Стаття надійшла в редколегію 28.03.2017