

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРОБОВАНИЕ ЛУЧЕВОГО ВОДОЗАБОРА В РАЙОНЕ ЦНЯНСКО-СЛЕПЯНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

С целью водного благоустройства территории одного из городов Белоруссии и его окрестностей сооружена водная система, состоящая из ряда гидротехнических сооружений. Часть системы — наливное водохранилище — примыкает к одному из городских водозаборов, который более 50 лет эксплуатирует напорные воды межморенного днепровско-московского водоносного горизонта в условиях установившегося режима. Размещены они в пределах древней ложбины стока талых ледниковых вод среди конечно-моренного рельефа. Наполнение водохранилища осуществляется по напорному водоводу с расходом $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ из вышерасположенного регулируемого водохранилища. Режим наполнения регулярный, максимальные колебания уровня — $0,5 \text{ м}$.

Для определения фильтрационных потерь из наливного водохранилища и оценки формирования искусственно восполняемых запасов подземных вод проведены геолого-гидрогеологические изыскания (бурение, откачки и наливывы, лабораторные исследования, режимные наблюдения). Наиболее детально изучены покровные водноледниковые и конечно-моренные отложения, которые имеют повсеместное распространение. Последние преимущественно представлены гравийно-галечными отложениями и крупнозернистыми песками; подчиненное значение имеют средне- и мелкозернистые пески. Мощность отложений изменяется в значительных пределах ($1,5 \div 20,0 \text{ м}$). Преобладающая мощность составляет от 10 до 20 м. Здесь не выделяется единого по площади грунтового потока: он как бы разобщен "выступами" морены. Исследуемый район характеризуется зоной аэрации мощностью от 1,5 до 15,0 м. На развитие этой зоны оказала влияние эксплуатация межморенного водоносного горизонта, гидравлически взаимосвязанного с грунтовыми водами через опесчаненные участки моренных супесей.

Методом электрического моделирования установлено, что фильтрационные потери из водохранилища составляют $0,54 \text{ м}^3/\text{с}$ и за счет них формируется грунтовый поток до 15 м, который в свою очередь пополняет межморенный водоносный горизонт. При таких условиях постоянного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод появляется возможность перехвата вновь создаваемых ресурсов за счет их каптажа, что позволяет комплексно использовать созданное водохранилище.

Наличие мощной зоны аэрации до заполнения водохранилища и благоприятные геоморфологические, а также гидрогеологические условия позволили рассмотреть вариант создания лучевого водозабора на выделяющемся возвышении (в радиусе до 55–60 м) в пределах водохранилища. Полученные в процессе исследований гидрогеологические параметры и материалы положены в основу проектирования осуществленного впервые в условиях Белоруссии лучевого водозабора производительностью $0,35 \text{ м}^3/\text{с}$ (30 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$). Дебит во-

дозабора определялся в зависимости от понижения уровня воды в водосборном колодце, длины, количества и глубины заложения дрен-лучей.

Рассмотрены девять вариантов. Анализ полученных материалов показал, что при неизменных гидрогеологических параметрах (коэффициенте фильтрации — 12,5 м/сут, мощности вновь создаваемого горизонта — 14,5 м, заглублении лучей под дно водохранилища — 5,0 м) основное влияние на дебит водозабора оказывает длина лучей. Количество лучей незначительно влияет на производительность. Наиболее оптимальным оказался водозабор, состоящий из 7 лучей (длина каждого 68 м). План водозабора представлен на рис. 1.

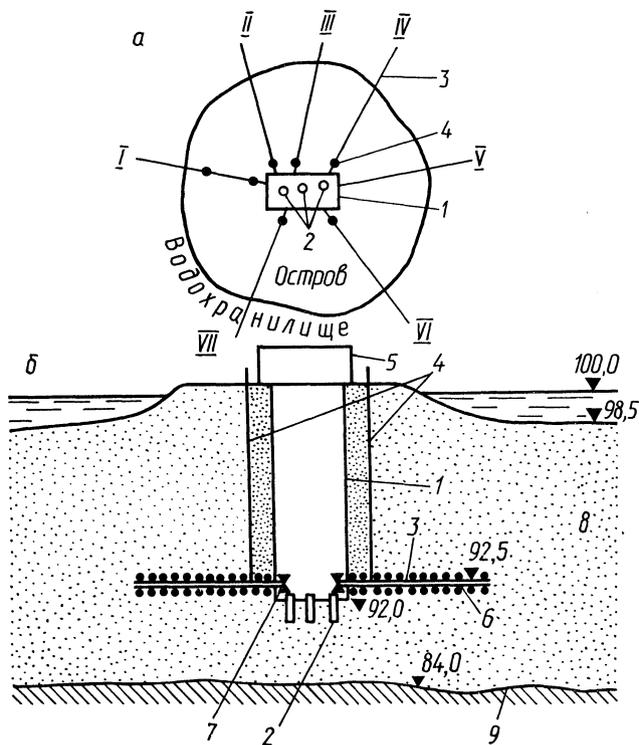


Рис. 1. I—VII — дрены-лучи. Лучевой водозабор: а — схема; б — разрез: 1 — водосборный колодец, 2 — скважины для установки насосов, 3 — дрена-луч, 4 — пьезометр над дренай, 5 — насосная станция, 6 — гравийная обсыпка дрен, 7 — задвижка на дрене, 8 — водовмещающие гравийно-галечные и песчаные отложения, 9 — водоупорные моренные супеси.

В 1980—1981 гг. до заполнения водохранилища на выделяющемся острове был сооружен вертикальный водоприемный колодец глубиной 10 м и сечением 5,7х7,2 м. В качестве дрен использованы каркасно-стержневые фильтры с просечным листом из нержавеющей стали диаметрами 0,273 и 0,325 м, скважностью до 17%. С учетом гравийной обсыпки наружные диаметры дрен

составили 0,623 и 0,675 м. Для укладки фильтров первоначально были вырыты открытым способом семь траншей, расположенных под разными углами друг к другу. Траншеи имеют уклон в сторону водосборного колодца и расположены на 0,5 м выше его дна. На дне колодца пробурены три скважины глубиной до 3 м для установки в них вертикальных насосов. Учитывая, что каждая секция фильтра состояла из рабочей части длиной 2,52 м и глухой — 0,38 м, длина каждого луча составила 78,3 м и позволила уложить в них 68 м фильтрующих дрен.

Визуальным обследованием стенок и дна траншей установлено, что конечно-моренные отложения, в пределах которых сооружен водозабор, представлены преимущественно гравийно-галечными отложениями и крупнозернистыми песками.

В шести траншеях при укладке дрен произведена однослойная гравийная обсыпка (фракция 0,005—0,02 м, толщина по контуру 0,35 м). Использована опалубка, позволявшая по всей длине создать равномерную обсыпку. В одной траншее при укладке дрен произведена двуслойная обсыпка. Первый слой (внутренний) толщиной 0,2 м состоит из фракций 0,005—0,02 м, второй (внешний) — из фракций 0,003—0,008 м (толщина 0,15 м). После укладки дрен с гравийной обсыпкой произведена засыпка траншей естественным грунтом из отвалов. Над каждой дренажной установкой по две наблюдательные скважины (в 2,5 м от водосборного колодца и в конце дрены). Дрены, введенные в водоприемный колодец, оборудованы задвижками.

Для "оживления" семи горизонтальных дрен-лучей, установления зависимости производительности водозабора от понижения в водоприемном колодце, изучения качественного состава искусственно формируемых запасов подземных вод и оценки возможного получения проектного расхода на водозаборе проводились откачки при различных режимах работы как водозабора в целом, так и его дрен-лучей в отдельности.

Исходя из предполагаемой параболической зависимости дебита от понижения, предусматривалось произвести откачку при работе всех дрен-лучей с расходом не менее 50—70 % от проектного (с учетом имеющегося насосного оборудования). Однако результаты испытаний показали, что при имевшемся насосном оборудовании максимальный дебит водозабора достигает только 32 % проектного расхода при понижении, равном 15 % от расчетного.

Проведенными пробными испытаниями установлено, что необходимые понижения (до 3,0 м) можно получить только при работе одной дрены-луча. В этом случае представляется возможным по трем точкам на отрезке до 3 м оценить характер изменения дебита каждой из семи отдельно работающих дрен и построить графическую зависимость, проэкстраполированную затем на большие понижения. В связи с этим откачки производились на три понижения при работе каждой дрены в отдельности и совместной работе четырех и семи дрен-лучей.

Опытные откачки осуществлялись при помощи насосов типа СНП 50/80 и "Андижанец". Дебит водозабора определялся по двум расходомерам диаметром 0,2 м, установленным на водосборной трубе. Сброс откачиваемых вод производился непосредственно в водохранилище. Одновременно с определением расходов осуществлялись замеры уровня воды в водоприемном колодце, а

также в пьезометрах. В период испытаний было прекращено заполнение водохранилища и оно постепенно опорожнялось. Водомерная рейка, установленная в водохранилище, позволяла снимать показания уровня воды. В эти же периоды измерялась температура откачиваемых подземных вод, воздуха и воды в водохранилище. Одновременно отбирались пробы воды из водохранилища и каптируемых подземных вод на изливе для химического и бактериологического анализов и установления изменения качественных показателей первых по пути фильтрации к каптажному сооружению.

Продолжительность опытных откачек при различных режимах работы водозабора регламентировалась ограниченностью времени и техническими причинами. Максимальные понижения поддерживались наиболее продолжительное время (от 18 до 24 ч), менее продолжительными были минимальные понижения (до 8–10 ч). При этом установлено, что стационарный режим наступал обычно через 4–6 ч. Первоначальный статический уровень корректировался с учетом поправок на величину опускания уровня воды в водохранилище (ежедневно уровень падал на 1–3 см). В течение 25 сут уровень упал на 0,33 м. При площади зеркала водохранилища 94 га фильтрационные потери (расходуемые на формирование вновь образуемого грунтового потока) ориентировочно определены в $0,35 \text{ м}^3/\text{с}$.

Анализ полученных материалов показывает, что как при работе каждого луча-дрены в отдельности, так и четырех или семи совместно наблюдается определенная закономерность: зависимость уменьшения удельного дебита от величины понижения (рис. 2). Установлено, что на отрезке понижения до 1,0 м уменьшение удельного дебита происходит незначительно (особенно при совместной работе четырех и семи дрен-лучей), а на участке до 2,5 м оно более интенсивно (рис. 2).

На начальном этапе испытаний каждой дрены в отдельности (на максимально достигнутых понижениях) откачиваемая вода была мутной, что свидетельствует о выносе глинистых частиц при формировании естественного гравийного фильтра вокруг каждого луча. Определено, что за счет оживления дрен-лучей получен прирост дебита водозабора. До прокачки каждого из лучей расход водозабора при совместной работе семи лучей составлял 175 и 260 $\text{м}^3/\text{ч}$ при понижениях в водосборном колодце 0,30 и 0,56 м. После "оживления" дрен при тех же понижениях дебит водозабора соответственно составил 201 и 316 $\text{м}^3/\text{ч}$ (см. рис. 2). За счет полученных срезов в пьезометрах, расположенных над дренами-лучами, установлено, что каждая из работающих дрен оказывает влияние на смежные, т.е. при совместной работе всех дрен-лучей за счет их взаимодействия расход каждой из них при одних и тех же понижениях будет уменьшаться. Об этом свидетельствуют также результаты сопоставления совместной работы четырех и семи дрен-лучей при одном и том же понижении (0,53 м), когда суммарный дебит четырех дрен составил около 80 % расхода всего водозабора.

Анализируя кривые рис. 2, можно установить, что характер изменения дебита в зависимости от понижения для каждой дрены одинаков на интервале от 0,1 до 2,6 м (дрена-луч I уложена в значительно лучших литологических условиях песчано-гравийных отложений, чем остальные дрены). При откачке из совместно работающих семи дрен-лучей также намечается тенденция к параболической зависимости изменения дебита от понижения (хотя на отрезке до

0,72 м это четко не проявляется). Поэтому при прогнозе производительности водозабора в целом можно допустить, что характер изменения дебита в зависимости от понижения останется таким же, как и при работе каждой дрены, но необходимо учитывать влияние взаимодействия лучей.

При определении коэффициента срезки общей производительности водозабора использованы фактические зависимости дебита от понижения в интервале до 0,72 м. Для этого с графиков каждой дрены (см. рис. 2) при определенном понижении снимаем расходы и суммируем их, считая, что при отсут-

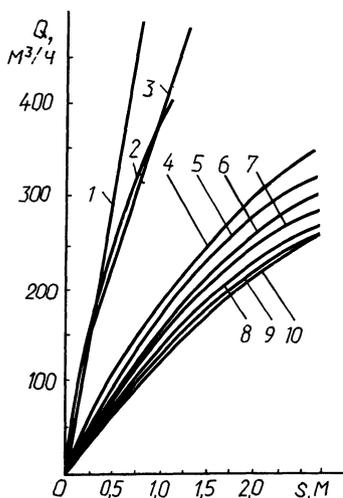


Рис. 2. Фактически полученная зависимость дебита дрен-лучей от понижения воды в сборном колодце лучевого водозабора:

1 — для совместно работающих дрен-лучей I, IV, VI, VII после прокачки каждой из них; 3 — для совместно работающих дрен-лучей I—VII до прокачки каждой из них; 4—10 — для отдельно работающих дрен-лучей.

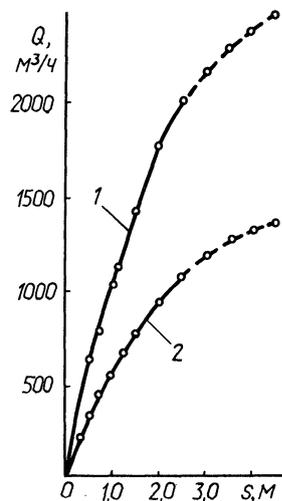


Рис. 3. Зависимость дебита лучевого водозабора от понижения воды в сборном колодце:

1 — кривая связи суммарного дебита отдельно работающих дрен-лучей; 2 — кривая связи для лучевого водозабора в целом для семи совместно работающих дрен-лучей; — — — фактически полученные значения, - - - - прогнозные.

ствии взаимодействия между дренами можно было бы получить соответствующую общую производительность водозабора. Однако при совместной работе всех дрен-лучей на этом понижении фактическая производительность водозабора составляет какую-то долю от суммарного расхода каждой отдельно работающей дрены. В связи с этим отношение фактически полученного дебита к суммарной производительности отдельно взятых дрен представляет коэффициент взаимовлияния. Анализ материалов показал, что с увеличением понижения он увеличивается незначительно (от 0,48 до 0,53). В качестве расчетного значения при дальнейших прогнозах производительности водозабора принят коэффициент 0,55 (с определенным запасом прочности), так как отсутствуют

сведения о расходе водозабора при совместной работе семи дрен-лучей на отрезке понижения от 0,7 до 2,5 м. Приведенные материалы свидетельствуют о том, что при работе лучевого водозабора с понижением 1; 1,5; 2; 2,5 м производительность его составит, соответственно, 546; 757; 933 и 1062 м³/ч (рис. 3).

Реально полученный дебит водозабора при имевшемся насосном оборудовании составил 10,2 тыс.м³/сут (34 % от проектного) при понижении уровня воды в колодце всего лишь на 0,72 м (10,2 % от расчетного). Произведенные расчеты показывают, что при понижении уровня воды в водоприемном колодце на 4,5 м (64 % от расчетного) производительность лучевого водозабора составит до 33 тыс.м³/сут и превысит проектный дебит на 10 %.

По химическому составу вода водохранилища гидрокарбонатно-кальциевая, с сухим остатком до 205 г/м³, умеренно жесткая, характеризуется незначительной цветностью и мутностью, в основном удовлетворяет требованиям ГОСТ 2874—73 "Вода питьевая" (за исключением незначительно повышенной окисляемости и содержания азотистых соединений). Последние показатели характеризуют загрязненность воды, что подтверждается результатами бактериологического анализа (коли-титр до 11,1). Результаты анализов подземных вод показали, что при фильтрации вод водохранилища по направлению к лучевому водозабору произошло улучшение каптируемых вод по некоторым показателям: цветность уменьшилась от 23—20° до 7—16°; мутность и взвешенные вещества снизились от 3,0 и 2,6 г/м³ до 0,8 и 0,6 г/м³; за счет пребывания воды в грунтах и выщелачивания солей произошло увеличение сухого остатка от 204 до 273 г/м³, общей жесткости от 3,3—3,6 до 4,6 мг/экв/л и коли-титра от 11 до 466 и более.

Таким образом, по химическому составу и бактериологическим показателям искусственно сформировавшиеся подземные воды в целом удовлетворяют требованиям ГОСТ 2874—73. Температура их на 2—3° ниже воды водохранилища.

Годовой экономический эффект от впервые внедренного в условиях Белоруссии лучевого водозабора, рассчитанный в соответствии с методикой определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, составил 427 тыс.руб.

Для обоснования масштабов расширения водозабора предусмотрено заложение сети наблюдательных скважин как на самих дренах, удаленных на различном расстоянии от водоприемного колодца, так и между ними.