

УДК 628.11

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСОВЕРШЕНСТВА ТРУБЧАТЫХ КОЛОДЦЕВ НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

ШАРКОВ В. В. <sup>1\*</sup>, к.т.н, доц.,  
СЕМЕНОВ И. И. <sup>2</sup>, зав. лаб.,  
ЖУРАВЛЕВА Е. А. <sup>3</sup>, асс.,  
ФРАНЧУК О. А. , маг.

<sup>1\*</sup> Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: Shar\_kov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

<sup>2</sup> Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

<sup>3</sup> Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** *Цель.* Изучение дисциплин, связанных с источниками водоснабжения и водозаборными сооружениями, подразумевает практическое ознакомление студентов с методиками выбора типа водозаборов, установления их характеристик, расчета основных параметров и подбора соответствующего оборудования. Сложность расчетов заключается в учете большого количества взаимосвязанных гидрогеологических характеристик водоносного пласта и расположения колодца в нем. Оценка качественного влияния этих величин на продуктивность колодцев позволит оптимизировать методику расчета, снизить время и его трудоемкость, разработать предложения для возможного изменения расчетной продуктивности путем более активного варьирования определяющими параметрами. *Методика.* Использован анализ влияния определяющих факторов и их групп на продуктивность одиночных несовершенных трубчатых колодцев в условиях напорных водоносных пластов. Предложен алгоритм внесения изменений в расчетную методику для определения продуктивности колодца путем взаимного варьирования определяющих факторов. *Результаты.* Установлено, что определение величины продуктивности трубчатых колодцев достаточно сложная задача, требующая опыта проектирования, учета и многократного изменения ряда взаимовлияющих определяющих факторов. Показано, что необходимость изменения значений определяющих технических параметров в расчетной методике сохраняется на всех этапах расчета. Установлено, что пропорциональность изменения продуктивности колодца наблюдается только при варьировании одним из главнейших технических параметров скважины - ее радиусом. Подбор величин радиуса колодца и длины его водоприемной части существенно изменяют продуктивность колодца, что делает его подробный анализ ценным и актуальным. Применение результатов исследований позволяет оптимизировать и ускорить методику расчета, вносить контролируемые изменения в конечный результат, изменяя отдельные факторы влияния или их группы. *Научная новизна.* Проведен анализ факторов влияющих на продуктивность одиночных несовершенных трубчатых колодцев забирающих воду из напорных водоносных пластов. Даны рекомендации совершенствующие методику проектирования водозаборных сооружений указанного типа. Показаны направления контролируемого изменения величин продуктивности одиночных колодцев. *Практическая значимость.* Использование результатов анализа влияния отдельных факторов на величину продуктивности одиночных колодцев позволило оптимизировать методику расчетов трубчатых колодцев, показать возможные направления корректировки величины продуктивности в реальных границах.

*Ключевые слова:* трубчатый, несовершенный колодец, напорный водоносный слой, продуктивность колодца

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕДОСКОНАЛОСТІ ТРУБЧАСТИХ КОЛОДЦІВ НА ЇХ ПРОДУКТИВНІСТЬ

ШАРКОВ В. В. <sup>1\*</sup>, к.т.н, доц.,  
СЕМЕНОВ І. І. <sup>2</sup>, зав. лаб.,  
ЖУРАВЛЬОВА О. А. <sup>3</sup>, ас.,  
ФРАНЧУК О. О. <sup>4</sup>, маг.

<sup>1\*</sup> Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: Shar\_kov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

<sup>2</sup> Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна

<sup>3</sup> Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна

**Анотація. Мета.** Вивчення дисциплін, пов'язаних з джерелами водопостачання та водозабірними спорудами, має на меті практичне ознайомлення студентів з методиками вибору водозаборів, встановлення їх характеристик, розрахунку основних параметрів і підбору відповідного обладнання. Складність розрахунків полягає у врахуванні великої кількості взаємопов'язаних гідрогеологічних характеристик водоносного шару та розташування колодязя в ньому. Оцінка якісного впливу цих величин на продуктивність колодязів дозволить оптимізувати методику розрахунку, знизити час і його трудомісткість, розробити пропозиції для можливої зміни розрахункової продуктивності шляхом більш активного варіювання визначальними параметрами. **Методика.** Використаний аналіз впливу визначальних факторів та їх груп на продуктивність одиночних недосконалих трубчастих колодязів в умовах напірних водоносних пластів. Запропоновано алгоритм внесення змін до розрахункової методики визначення продуктивності колодязя шляхом взаємного варіювання визначальних чинників. **Результати.** Встановлено, що визначення величини продуктивності трубчастих колодязів досить складне завдання, потребує досвіду проектування, обліку та багаторазової зміни ряду визначальних чинників, які мають взаємний вплив. Показано, що необхідність зміни значень визначальних технічних параметрів у розрахунковій методиці зберігається на всіх етапах розрахунку. Встановлено, що пропорційність зміни продуктивності колодязя спостерігається тільки при варіюванні одним з найголовніших технічних параметрів свердловини - її радіусом. Підбір величин радіуса колодязя і довжини його водоприймальної частини суттєво змінюють продуктивність колодязя, що робить його докладний аналіз цінним і актуальним. Застосування результатів досліджень дозволяє оптимізувати і прискорити методику розрахунку, вносити контрольовані зміни в кінцевий результат, змінюючи окремі фактори впливу або їх групи. **Наукова новизна.** Проведено аналіз факторів, що впливають на продуктивність одиночних недосконалих трубчастих колодязів, які забирають воду з напірних водоносних шарів. Дані рекомендації удосконалення методики проектування водозабірних споруд вказаного типу. Показано напрямки контрольованої зміни величин продуктивності одиночного колодязя. **Практична значимість.** Використання результатів аналізу впливу окремих факторів на величину продуктивності одиночних колодязів дозволило оптимізувати методику розрахунків трубчастих колодязів, показати можливі напрями коригування величини продуктивності в реальних межах.

*Ключові слова:* одиночний, недосконалий колодязь, напірний водоносний шар, продуктивність колодязя

## ANALYSIS OF IMPERFECTION TUBE WELLS ON THEIR PRODUCTIVITY

SHARKOV V. V.<sup>1\*</sup>,  *cand. Sc. (Tech.)*,

SEMENOV I. I.<sup>2</sup>,  *head lab.*,

ZHURAVLEVA E. A.<sup>3</sup>,  *as.*,

FRANCHUK O. A.<sup>4</sup>,  *master's degree.*

<sup>1\*</sup> Department of water supply, sewerage and hydraulics, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: Shar\_kov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

<sup>2</sup> Department of water supply, sewerage and hydraulics, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine

<sup>3</sup> Department of water supply, sewerage and hydraulics, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine

**Abstract. Purpose.** The study subjects related to sources of water supply intakes, practical means to familiarize students with the methods of selecting the type of water intake, establishing their characteristics, calculation of the basic parameters and the selection of appropriate equipment. The complexity of the calculations is the large number of related hydrogeological characteristics of the aquifer and the location of the well in it. Evaluation of qualitative effects of these variables on the productivity of the wells will optimize the calculation methodology, reduce the time and labor intensity, to develop proposals for possible changes in the estimated productivity through greater variation of determining parameters. **Methodology.** We used analysis of the impact the determinants and groups committed to the productivity of individual tube wells under pressure aquifer. The algorithm changes in the calculation method for determining the productivity of the well through the exchange variation of the determining factors. **Findings.** It was established that the determination of the efficiency of tube wells rather complicated task that requires experience in the design, accounting and multiple changes in a number of mutually determining factors. It is shown that the need to change the values of defining the technical parameters in the calculation method is maintained at all stages of the calculation. It was found that the productivity of the well proportional change is observed only by varying one of the main technical parameters of the well - its radius. Selection of the radius of the well and the length of the water intake significantly change the productivity of the well, which makes it a valuable and detailed analysis of current. The application of research results to optimize and speed up the method of calculation to make controlled changes to the final result, changing the individual factors of influence or groups. **Originality.** Analysis of factors affecting the productivity of individual imperfect tube wells taking water from the pressure aquifer. Recommendations perfection methodology of designing intake facilities of a specified type. Showing controlled direction changes in the values of efficiency of single wells. **Practical value.** Using the results of the analysis of the effect of individual factors on the productivity of individual wells allowed to optimize the calculation method of tube wells, show the possible direction of adjusting the boundaries of real productivity.

*Keywords:* roll, imperfect well, pressure aquifer, productivity of wells

### Введение

Задачей расчета трубчатых колодцев есть установление их продуктивности при заданном (возможном) понижении статического уровня подземного потока. Методика расчета достаточно объемная, требующая опыта проектирования и знаний в области гидрогеологии и конструирования водозаборных сооружений из подземных источников. Задача проектирования (производительность колодца) и местные условия (характеристики водоносного пласта) влияют не только на конечные характеристики колодца, но и вносят изменения в методику расчета. При этом расчеты сопровождаются неточностями и допущениями, что делает их приблизительными, а реальные значения продуктивности и снижения уровней воды определяются только по результатам пробных откачек. В тоже время, такие расчеты важны и актуальны так, как позволяют анализировать гидрогеологическую и техническую ситуацию, устанавливать основные параметры колодцев и водоподъемного оборудования.

### Цель

Расчет несовершенных трубчатых колодцев в напорных водоносных пластах требует учета и анализа большой группы определяющих факторов. Сложность расчета заключается в их взаимном влиянии и необходимости корректировки их значений на различных этапах расчета. Целью работы есть оценка влияния определяющих величин на продуктивность колодцев, разработка предложений для более активного изменения параметров и снижение трудоемкости расчетов.

### Методика

При установившемся режиме эксплуатации одиночного несовершенного колодца, отбирающего воду из напорного водоносного пласта, его продуктивность определяется по формуле (1) [1]:

$$Q = \frac{2,73 * k_{\phi} * m * S}{\lg \left( \frac{10 * S * \sqrt{k_{\phi}}}{r_o} \right) + 0,43 * \xi}, \text{ м}^3/\text{сутки} \quad (1)$$

где  $k_{\phi}$  -коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сутки;  $m$  -мощность пласта, м;  $S$  -понижение уровня воды в колодце при его эксплуатации, м;  $R = 10 * S * \sqrt{k_{\phi}}$  -радиус влияния, м [2];  $r_o$  -радиус скважины, м;  $\xi$  -коэффициент, учитывающий несовершенство колодца.

При откачке воды из несовершенного трубчатого колодца ее частицам приходится преодолевать более значительное сопротивление, чем в совершенном колодце. Поэтому, если для получения расхода  $Q$  из

совершенного колодца необходимо снизить уровень воды в колодце на величину  $S_{сов}$ , то для получения этого же расхода из несовершенного колодца понижение уровня должно быть равно  $S = S_{сов} + \Delta S$ , где  $\Delta S$  – дополнительное понижение уровня, обусловленное несовершенством колодца [3].

Дополнительное понижение уровня связано с дополнительным сопротивлением, связанным с характером и степенью вскрытия водоносного пласта. Для вычисления коэффициента, учитывающего несовершенство колодца, используется выражение (2), полученное на основе решения Маскета [4]. При этом, приток воды, моделируется точечными источниками, непрерывно и равномерно распределенными вдоль оси водоприемной части колодца.

$$\xi = 2,3 * \left( \frac{m}{l} - 1 \right) * \lg \frac{4 * l}{r_o} - \frac{m}{2 * l} * A, \quad (2)$$

где  $m, r_o$  –то же, что и в (1);  $l$  –длина водоприемной части (фильтра), в данном случае принято, что фильтр примыкает к кровле, м;  $A$  –функция, зависящая от степени вскрытия водоносного пласта  $l/m$  [3].

Часть множителей, входящих в (1,2) ( $k_{\phi}, m$ ), зависят от гидрогеологических характеристик водоносного слоя, определяются на этапе сбора данных и имеют широкий диапазон значений. Другие величины- понижение уровня воды в колодце, радиус его влияния, длина водоприемной части рассчитываются на возможность нормальной эксплуатации водозаборного сооружения в условиях конкретных технических характеристик водоподъемного оборудования.

В [1] приведена оценка влияния перечисленных факторов на величину производительности совершенных колодцев в напорных водоносных пластах. Несовершенство колодцев изменяет это влияние, что требует оценки, позволяющей качественно совершенствовать методику расчета, оперативно вносить изменения в расчеты на любом этапе проектирования и использовать результаты исследований в учебном процессе.

### Результаты

Для упрощения расчетов значения дополнительного сопротивления [2,3] предлагается определять по графику или табличным данным, построенным по зависимости  $\xi = f\left(\frac{m}{r}, \frac{l}{m}\right)$ , что не позволяет отследить влияние каждого из определяющих факторов на конечную величину.

На рис.1,2 представлены графики для определения величины дополнительного сопротивления, возникающего при несовершенстве трубчатых колодцев, с определяющими величинами в диапазоне  $m=10-60$  м,  $l= 4-18$  м и радиуса скважин  $r_o = 0,1-0,175$  м. При этом  $S= 5$  м,  $k_{\phi} = 10$  м/сутки.

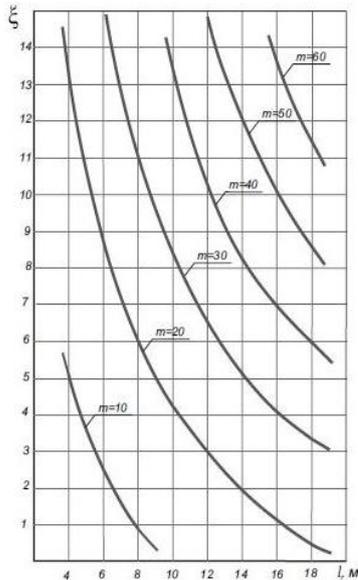


Рис.1. График влияния длины фильтра скважины на дополнительное сопротивление, вызванное ее несовершенством / Graph wells Filter Length on additional resistance caused by its imperfection

Анализ влияния длины водоприемной части скважины и ее радиуса на величину дополнительного сопротивления свидетельствует, что наименьшее ее изменение вызывает изменение радиуса колодца. Переход с одного стандартного размера эксплуатационных труб на следующий больший увеличивает сопротивление, в среднем на 5 %. Уменьшение же рабочей части фильтра с шагом в 2 метра, увеличивает сопротивление на 50-20 %. При этом, наименьший процентный прирост сопротивления характерен для малых величин разницы мощности водоносного слоя и длины фильтра.

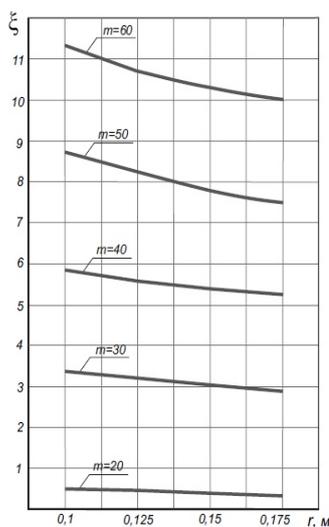


Рис.2. График влияния радиуса скважины на дополнительное сопротивление, вызванное ее несовершенством / Graph well radius of influence for the additional resistance caused by its imperfection

Влияние изменения размеров водоприемной части колодца и его радиуса представлено на рис.3,4.

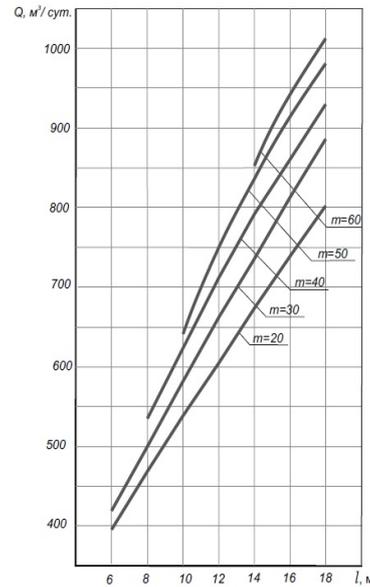


Рис.3. График влияния длины фильтра несовершенной скважины на ее производительность / Graph Filter Length imperfect well on its performance

Изменение дебита колодцев характеризуется зависимостью (3), которая справедлива при гидрологических характеристиках водоносного слоя используемых при построении графиков на рис.1,2.

$$Q = m^{1.32} + 97,5 * l^{0.73} \text{ , м}^3/\text{сут (3)}$$

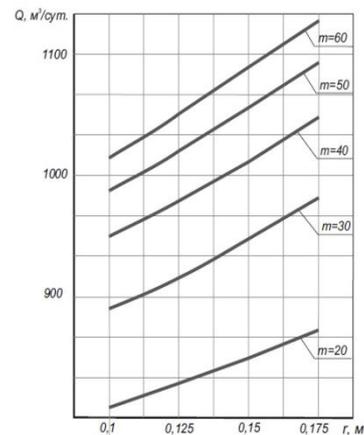


Рис.4. График влияния радиуса несовершенной скважины на ее производительность / Graph influence radius imperfect well on its performance

Производительность скважины увеличивается на 50-100 м³/сутки при увеличении водоприемной части шагом всего в 2 м.

Увеличение же радиуса колодца на один стандартный размер (при данных условиях) пропорционально увеличивает дебит скважины на величину порядка 50 м³/сутки, что также является

существенным фактором для внимательной оценки принимаемых технических решений.

конечный результат, изменяя отдельные факторы влияния или их группы.

#### Научная новизна и практическая значимость

Установлено, что определение величины продуктивности несовершенных трубчатых колодцев достаточно сложная задача, требующая опыта проектирования, учета и многократного изменения ряда взаимовлияющих определяющих факторов. Показано, что необходимость изменения значений определяющих факторов в расчетной методике сохраняется на всех этапах расчета. Установлено, что пропорциональное изменение продуктивности колодца характерно только при изменении его радиуса. Применение результатов исследований позволяет оптимизировать и ускорить методику расчета, вносить контролируемые изменения в

#### Выводы

1. Проведен анализ факторов влияющих на продуктивность одиночных несовершенных трубчатых колодцев забирающих воду из напорных водоносных пластов.

2. Даны рекомендации для совершенствования методики проектирования водозаборных сооружений указанного типа.

3. Использование результатов анализа влияния отдельных факторов на величину продуктивности одиночных колодцев позволило оптимизировать методику расчетов трубчатых колодцев, показать возможные направления корректировки величины продуктивности в реальных условиях.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шарков В. В. Анализ влияния определяющих факторов на продуктивность трубчатых колодцев / В. В. Шарков, Головачинская А. С. // Строит., материаловед., машиностр. : Сб. научн. трудов. / ГВУЗ «Приднепр. гос. академии стр-ва и архитектуры». – Днепропетровск, 2015. – Вып. 84. – С. 207–211.
2. Тугай А. М. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди : Посібник / А. М. Тугай, Я. А. Тугай. -Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу, 1998. -196 с.
3. Абрамов Н. Н. Водоснабжение / Н. Н. Абрамов. - М. : Стройиздат, 1981. - 440 с.
4. Проектирование водозаборов подземных вод / А. И. Арцев, Ф. М. Бочеввер, Н. Н. Лапшин. – Москва : Стройиздат, 1976. – 292 с.
5. Абрамов С. К. Забор воды из подземного источника / С. К. Абрамов, В. С. Алексеев. – М. : Колос, 1980. - 239 с.
6. Кравченко В. С. Водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник / В. С. Кравченко. – Рівне : Укр. держ. акад. водного гос-ва, 1997. - 235 с.
7. Орлов В. О. Сільсько-господарське водопостачання та водовідведення: Підручник / В. О. Орлов, А. М. Зошук. - Рівне: УДУВГП, 2002. – 203 с. : іл.
8. Орлов В. О. Водозабірні споруди. Навчальний посібник / В. О. Орлов, С. М. Назаров, А. М. Орлова. - Рівне: НУВГП, 2010. - 167 с.
9. Тугай А. М. Эксплуатация и ремонт систем артезианского водоснабжения / А. М. Тугай, И. Т. Прокопчук. - К.: Будівельник, 1988. - 176 с.
10. Тугай А. М. Водоснабжение из подземных источников. Справочник / А. М. Тугай, И. Т. Прокопчук. - К.: Урожай. 1990. - 264 с.
11. Aller L. Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells / L. Aller. - Dublin, Ohio : Nat. Water Well Ass., 1990. – 221 p.
12. Roscoe Moss Comp. Handbook of ground water development / Roscoe Moss Company. - New York : Wiley, 1990. - 493 p.
13. Punmia B. C., Kumar Jain, A., Ashok, Kr. J. Water Supply Engineering / Laxmi Publications Pvt Limited, 2012. – 584 p.

#### REFERENCES

1. Sharkov V. V. and Holovachinskaia A. S. Analiz vliianiia opredeliaiushchikh faktorov na produktivnost trubchatykh kolodtsev [Analysis of the impact of the determinants of productivity tube wells]. *Stroit., materialoved., mashinostr.. Sb. nauchn. trudov. GVUZ «Pridnepr. gos. akademii str-va i architektury»* [Constr., materials science, mechanical engineering. Collection of scientific papers. Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, issue 84, pp. 207-211. (in Ukrainian).
2. Tugay A. M. and Tugay Y. A. *Vodopostachannya. Dzherela ta vodozabirni sporudy* [Water supply. Source water supply]. Ukr. – fin. inst. manag. and busin., 1998. 196 p. (in Ukrainian).
3. Abramov N. N. *Vodosnabzhenie* [Water supply]. Moscow, Stroyizdat, 1981. 440 p. (in Russian).
4. Artsev A. I., Bochever F. M. and Lapshin N. N. *Proektirovanie vodozaborov podzemnykh vod* [Design of water intakes of groundwater]. Moscow, Stroyizdat, 1976. 292 p. (in Russian)
5. Abramov S. K. and Alekseev V. S. *Zabor vody iz podzemnogo istochnika* [Diversion of water from an underground source]. Moscow, Kolos, 1980. 239 p. (in Russian)
6. Kravchenko V. S. *Vodopostachannya ta vodovidvedennya* [Water supply and diversion]. Rivne, 1997. 235 p. (in Ukrainian).
7. Orlov V. O. and Zoshchuk A. M. *Silsko-gospodarske vodopostachannya ta vodovidvedennya* [Agriculture water supply and diversion]. Rivne, 2002. 203 p. (in Ukrainian).
8. Orlov V. O., Nazarov A. M. and Orlova A. M. *Vodozabirni sporudy* [Water intakes]. Rivne, 2010. 167 p. (in Ukrainian).

9. Tugay A. M. and Prokopchuk I. T. *Ekspluatatsiya i remont artezianskogo vodosnabzheniya* [Maintenance and repair of artesian water supply]. Kyiv, Budivelnik, 1988. 176 p. (in Ukrainian).
10. Tugay A. M. and Prokopchuk I. T. *Vodosnabzhenie iz podzemnyh istochnikov* [Water supply on the underground source]. Kyiv, Urozhay. 1990. 264 p. (in Ukrainian).
11. Aller L. Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells. Dublin, Ohio. Nat. Water Well Ass., 1990. – 221 p.  
<http://id.lib.harvard.edu/aleph/010269800/catalog>
12. Roscoe Moss Company. Handbook of ground water development. New York, Wiley, 1990. - 493 p.
13. Punmia B. C., A. Kumar Jain, J. Ashok Kr. Water Supply Engineering. Laxmi Publications Pvt Limited, 2012. – 584 p.

Стаття надійшла в редколегію 08.09.2016