

среды. Уровень грунтовых вод находится сравнительно глубоко, и при поливе капельным орошением исключается подъем уровня грунтовых вод, т. к. нормы полива небольшие, а вода глубоко не просачивается.

Локальное орошение капельницами под каждое дерево совершенно предотвращает возможность поверхностного стока и тем самым исключает почвенную эрозию. Системы капельного орошения являются, по сути, природоохранными мероприятиями, как фактор значительной экономии воды за счет – снижения потерь на фильтрацию, испарение, поверхностный сток. Негативные процессы при капельном орошении отсутствуют, и какие-либо меры по устранению нежелательного последствия орошения не назначаются. Возможные утечки при аварии оросительной сети будут предотвращаться путем отключения нужного трубопровода или всей сети запорной арматурой.

Используемые сооружения не имеют по своим технологическим процессам отходов производства.

### **Литература**

1. Газета «Нейтральный Туркменистан» № 70-71 (30441-30442) от 20 марта 2023 г.
2. Национальная Лесная программа Туркменистана на 2021–2025 гг.
3. Временные рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации систем капельного орошения в условиях Туркменистана.
4. Пособие к СНиП 2.06.03.85 (капельное орошение).

УДК 628.1

### **Экономическая эффективность восстановительных мероприятий на скважинном водозаборе «Петровщина»**

Крицкая В. И.<sup>1</sup>, Ивашечкин В. В.<sup>1</sup>, Шейко А. М.<sup>2</sup>,  
Кондратович А. Н.<sup>1</sup>, Стасевич Е. Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2</sup>ОАО «Белгорхимпром»,

<sup>3</sup>УП «Минскводоканал»

Минск, Республика Беларусь

*Установлено, что на скважинных водозаборах подземных вод основную долю стоимости жизненного цикла составляет стоимость электроэнергии водоподъемников: у скважины с регенерацией стоимость электроэнергии составит чуть более 50 % всех затрат, а у скважины без регенерации – почти на 20 % больше и составит почти 70 %, что обусловлено избыточным напором водоподъемников ДНГ.*

Для длительно эксплуатирующихся скважин актуальными являются комбинированные обработки, представляющие собой сочетание импульсных, механических и реагентных методов восстановления их дебита.

Период стабильной работы скважин после таких обработок может достигать 3–4 года. Стоимость обработки несколько возрастает за счет дополнительного использования реагентов, однако она на порядок меньше стоимости новой скважины. Это позволяет считать эти методы ресурсосберегающими. Применение же правильно подобранных на стадии лабораторных исследований реагентов, не наносящих ущерба окружающей среде, позволяет считать эти методы экологически безопасными. Экономический эффект после регенерации достигается не только от дополнительного количества добытой воды, но и от снижения удельных затрат электроэнергии из-за повышения отметки динамического уровня, так как удаляются загрязнения из фильтра и его прифильтровой зоны, снижаются потери напора на нем, увеличивается пропускная способность фильтра и при этом наблюдается рост столба воды в скважине над насосом. Таким образом, уменьшается геометрический напор насоса  $H_{\Gamma}$  относительно устья скважины. Снижение геометрического напора  $\Delta H_{\Gamma}$  в результате регенерации скважины можно определить по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = H_{\Gamma 1} - H_{\Gamma 2} = (H_{\text{ст}} + S_1) - (H_{\text{ст}} + S_2),$$

где  $H_{\Gamma 1}$ ,  $H_{\Gamma 2}$  – геометрические напоры насоса, соответственно, до и после регенерации, м;  $H_{\text{ст}}$  – величина статического уровня воды в скважине, м;  $S_1$ ,  $S_2$  – понижения уровня воды в скважине относительно статического до и после регенерации:  $S_1 = Q / q_1$ ;  $S_2 = Q / q_2$  ( $Q$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/ч;  $q_1$ ,  $q_2$  – удельные дебиты скважины, соответственно, до и после регенерации, м<sup>2</sup>/ч).

Окончательно снижение геометрического напора насоса  $\Delta H_{\Gamma}$  в результате регенерации скважины можно найти по формуле

$$\Delta H_{\Gamma} = Q \left( \frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_2} \right).$$

Экономия электроэнергии на водозаборе также может быть достигнута за счет снижения гидравлического сопротивления трубопроводов путем удаления отложений с их внутренней поверхности или их замены на новые. Снижение геометрического напора насоса  $\Delta H_{\Gamma}'$  в результате перекладки трубопровода от скважины к сборному водоводу можно определить как

$$\Delta H_{\Gamma}' = h_{\text{тр}1} - h_{\text{тр}2} = A_1 l Q^2 - A_2 l Q^2,$$

где  $h_{\text{тр}1}, h_{\text{тр}2}$  – потери напора по длине до и после замены трубопровода соответственно, м;  $A_1, A_2$  – удельное сопротивление участка трубопровода до и после замены трубопровода соответственно,  $\text{с}^2/\text{м}^6$ ;  $l$  – длина участка трубопровода, м;  $Q$  – производительность скважины,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Тогда снижение гидравлической энергии, передаваемой насосом жидкости, рассчитывается по формуле [1]

$$\Delta P_W = \frac{Q \cdot \sum \Delta H_{\Gamma} \cdot \rho}{367000},$$

где  $\Delta P_W$  – снижение гидравлической мощности, передаваемой насосом, кВт;  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости,  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\sum \Delta H_{\Gamma} = \Delta H_{\Gamma} + \Delta H_{\Gamma}'$ .

Снижение электрической мощности насоса рассчитывается по формуле

$$\Delta P_e = \frac{\Delta P_W}{\eta_p \cdot \eta_M},$$

где  $\eta_p$  – КПД насоса;  $\eta_M$  – КПД двигателя;  $\eta_D$  – КПД привода (если привод не установлен, параметру присваивается значение 1).

Для определения величины годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_{\text{пг}}$  используем формулу

$$\mathcal{E}_{\text{пг}} = \Delta P_e \cdot C \cdot t,$$

где  $\Delta P_e$  – электрическая мощность насоса, кВт;  $C$  – среднесуточная стоимость 1 кВт электроэнергии, руб/кВт (для УП «Минскводоканал»,  $C = 0,3296$  руб/кВт);  $t$  – количество отработанных часов скважиной за определяемый промежуток времени, ч.

Чистую экономическую эффективность рассчитаем по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{эфф}} = \mathcal{E}_{\text{пг}} - \mathcal{Z}_M - \mathcal{Z}_{\text{раб}},$$

где  $\mathcal{Z}_M$  – затраты на материалы, руб;  $\mathcal{Z}_{\text{раб}}$  – затраты на производство ремонтных работ, руб.

С целью выявления участков трубопроводов со значительными сопротивлениями и скважин с существенным снижением удельного дебита было проведено обследование скважинного водозабора «Петровщина».

В результате проведения манометрии на трубопроводах установлено: внутристанционные трубопроводы (трубопроводы, находящиеся в павильоне скважины) с установленной на них запорной арматурой (обратным клапаном) и водомером создают дополнительные потери напора порядка 2-х метров при диаметре 150 мм и более трех метров при диаметре 100 мм, которые необходимо учитывать при гидравлическом расчете водозабора; линия подключения скважины № 10б к сборному водоводу имеет фактическое удельное сопротивление  $A_{\text{факт}} = 1436 \text{ с}^2/\text{м}^6$  (при справочном значении  $A_{\text{табл}} = 37,11 \text{ с}^2/\text{м}^6$  [2]), т. е. удельное сопротивление линии возросло в 38 раз; линия подключения скважины № 4в к сборному водоводу имеет фактическое удельное сопротивление  $A_{\text{факт}} = 1968 \text{ с}^2/\text{м}^6$  (при справочном значении –  $A_{\text{табл}} = 37,11 \text{ с}^2/\text{м}^6$ ), т. е. ее удельное сопротивление возросло в 53 раза, что требует промывки линий или их замены на новые.

Для восстановления пропускной способности существующих трубопроводов, проводились работы по промывке сети гидродинамической машиной. Положительного результата достигнуто не было. В 2020–2021 гг. на водозаборе «Петровщина» на линиях подключений на скважинах 3б, 4в и 10б были произведены работы по замене старых чугунных труб Ду150 мм на новые полиэтиленовые трубы Ду160 мм, соответственно следующих длин: 13 м, 40 м, 12,5 м. Фотографии с отложениями на внутренней поверхности демонтированных старых чугунных труб представлены ниже (рис. 1).



Рис. 1. Демонтированные трубы с отложениями на внутренней поверхности

Результаты измерения потерь напора по длине  $h_{mp}$  на трубах до и после замены представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения потерь напора в линиях подключения скважин

№ скв.	Потери напора по длине $h_{тр1}$ , м	Потери напора по длине $h_{тр2}$ , м	$\Delta H'_г$ , м
3б	1,21	0,18	1,03
4в	2,22	0,36	1,86
10б	1,27	0,19	1,08

На скважинах 3б, 4в, 10в, 13б проводились следующие виды ремонтных работ: чистка обсадных труб и фильтра ершом, прокачка компрессором с обратной промывкой. Кроме этого, на скважинах 10в и 13б производилась регенерация фильтров электрогидравлической установкой, которая не дала положительного эффекта.

В табл. 2 представлены результаты ремонтных работ на скважинах.

Таблица 2

Результаты замеров по скважинам до и после интенсификации скважин подземных вод

скважина № 3б (октябрь 2021 г.)							
1	2	3	4	5	6	7	8
	Глубина скв., м	Стат., м	Динам., м	Пониж., м	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$q$ , м <sup>3</sup> /ч/м	Прирост удельного дебита, %
До ремонта	78,5	6	17	11	58	5,27	
После ремонта	78,5	6	16	10	72	7,20	37
скважина № 4в (май 2021 г.)							
Доре-монта	83	12	19,8	7,8	48	6,15	
После ремонта	83,1	10,5	17,9	7,4	62	8,38	36,1
скважина № 10в (октябрь 2021 г.)							
До \ ремонта	66,2	10,5	35,5	25	60	2,40	
После про-стрелки	66,2	9,5	35,5	26	68	2,62	9
скважина № 10б (май 2020 г.)							
До ре-монта	73,1	5,5	22,8	17,3	65	3,76	
После ремонта	74,6	7	26,5	19,5	83	4,26	13,3

## Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
скважина № 13б (ноябрь 2020 г.)							
До ремонта	69,2	3	25,1	22,1	59	2,67	
После ремонта	69,2	3	21,1	18,1	63	3,48	30

Результаты расчетов снижения энергопотребления на водозаборе «Петровщина» в результате регенерации скважин и замены старых трубопроводов на новые представлены в табл. 3.

### Литература

1. ГОСТ 33969 – 2016 (ISO/ASME 14414:2015) Энергетическая эффективность. Оценка энергоэффективности насосных систем.
2. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие/ Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М.: Издательский Дом «Бастет», 2016. – 428 с.
3. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин: монография / В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 270 с.

Таблица 3

Расчет снижения энергопотребления на водозаборе «Петровщина» в результате регенерации скважин и замены старых трубопроводов на новые

№ скв.	КПД насосн. агрегата	Кол-во отработ. часов скв-ой, t, час	Затраты на матер. при замене тр-да $Z_m$ , руб	Затраты на выполн. работ $Z_{раб}$ , руб	$\Delta H_r$ , м	$\Delta H_r'$ , м	$\Sigma \Delta H_r$ , м	$P_w$ , кВт	$\Delta P_e$ , кВт	Эпг, руб.	Ээфф, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3б	62	8640	390,31	99,43	3,66	1,03	4,69	0,92	1,48	4215	3724
4в	57	8640	1410,48	91,52	2,68	1,86	4,54	0,77	1,35	3844	2342
10б	63	8640	762,48	64,85	2,59	1,08	3,67	0,83	1,32	3759	2931
10в	61	8640	–	–	2,38	–	2,38	0,44	0,72	2050	2050
13б	62	8640	–	–	5,50	–	5,50	0,94	1,52	4329	4329
											$\Sigma 15376$

### Вывод

В результате выполненных работ был получен экономический эффект в размере 15378 рублей.

Для регенерации скважин 10в и 13б предлагается выбрать комбинированный метод регенерации. Вначале следует разрушить отложившийся слой окислов железа газоимпульсным методом [3], а затем реагентным методом растворить кольматант. Если положительный эффект не будет достигнут, то скважины следует перебурить.