



ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОЗАБОРОВ ЗА СЧЁТ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫВНОЙ ВОДЫ И СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ФИЛЬТРОЦИКЛА

А. А. Капанский

Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого (Беларусь), г. Гомель, Республика Беларусь
kapanski@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Исследование поиска путей уменьшения энергопотребления и развития методов повышения энергоэффективности водоканалов. Отраженные в статье исследования базируются на результатах энергетического обследования водоканала города Гомель (Республика Беларусь) одной из задач актуальных задач которого являлся поиск резервов экономии ТЭР за счет снижения технологических расходов воды. В статье приводятся результаты исследований на примере двух водозаборов «Ипуть» и «Союз». **МЕТОДЫ.** При решении поставленной задачи применялись методы математической статистики, в том числе, для оценки значимости влияния промывки воды на снижение содержания железа использован метод дисперсионного анализа. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** В статье рассматриваются возможные пути снижения затрат электроэнергии за счет уменьшения технологических расходов воды, которые используются на промывку фильтровальных сооружений. В качестве основных мероприятий выделены следующие: изменение графика промывки фильтров с увеличением фильтроцикла; использование водовоздушной промывки; повторное использование промывной воды. В статье сформулирована гипотеза: промывка фильтров приводит к снижению содержания железа в воде, т.е. улучшению качества очистки. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Повышение энергетической эффективности водозаборов наряду с мероприятиями по модернизации и оптимизации работы насосного оборудования достигается путем экономии водных ресурсов и, соответственно, затрат электроэнергии на их добычу необходимую при промывке фильтровальных материалов станции обезжелезивания. Предположением о возможном увеличении фильтроцикла являлось отсутствие значимости влияния промывки на снижение содержания железа, что свидетельствовало о наличии значительного запаса промывочного цикла. Использование совместной водяной и воздушной промывки, способствует значительному снижению как технологических расходов воды (40,1 %), так и расходов электроэнергии (38,8 %). Потенциал энергосбережения за счет сокращения технологических расходов электроэнергии на подъем воды с целью промывки достигал для исследуемого водозабора 89857 кВт·ч / год.

Ключевые слова: энергетическая эффективность; энергосбережение; повышение энергетической эффективности; увеличение фильтроцикла; повторное использование промывной воды.

Для цитирования: Капанский А.А. Повышение энергетической эффективности водозаборов за счёт повторного использования промывной воды и сокращения времени фильтроцикла // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 90-102. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-90-102.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF WATER INLETS BY RE-USING WASHED WATER AND REDUCING FILTER CYCLE TIME

AA. Kapansky

Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus

kapanski@mail.ru

Abstract: *PURPOSE.* The purpose of this article is to study the search for ways to reduce energy consumption and develop methods for increasing the energy efficiency of water utilities. The studies reflected in the article are based on the results of an energy survey of a water utility in the city of Gomel (Republic of Belarus), one of the tasks of which is the search for reserves for saving fuel and energy resources by reducing technological water consumption. The article presents the results of research on the example of two water intakes «Iput» and «Sozh». *METHODS.* When solving the problem, the methods of mathematical statistics were used, including the method of analysis of variance to assess the significance of the effect of water flushing on reducing the iron content. *RESULTS.* The article discusses possible ways to reduce energy costs by reducing technological water consumption, which are used to flush filtering structures. The main activities are the following: changing the filter flushing schedule with increasing the filter cycle; the use of water-air flushing; reuse of wash water. The article formulates a hypothesis: filter flushing leads to a decrease in the iron content in the water, i.e. improving the quality of cleaning. *CONCLUSION.* An increase in the energy efficiency of water intakes, along with measures to modernize and optimize the operation of pumping equipment, is achieved by saving water resources and, accordingly, the cost of electricity for their extraction, which is necessary when flushing the filter materials of the deferrization station. The assumption about a possible increase in the filtration cycle was the lack of significance of the influence of washing on the decrease in the iron content, which indicated the presence of a significant reserve of the washing cycle. The use of combined water and air flushing contributes to a significant reduction in both technological water consumption (40.1%) and electricity consumption (38.8%). The energy saving potential due to the reduction of technological energy consumption for lifting water for the purpose of flushing reached 89857 kWh / year for the studied water intake.

Keywords: energy efficiency, energy saving; increasing energy efficiency; increasing the filtration cycle; reuse of rinse water.

For citation: Kapansky AA. Increasing the energy efficiency of water inlets by re-using washed water and reducing filter cycle time. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(3):90-102. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-90-102.

Введение и литературный обзор

Выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на снижение себестоимости производимой продукции или оказываемых услуг, всегда остается актуальной задачей в современных условиях функционирования промышленных и жилищно-коммунальных потребителей. Совершенствование методической базы проведения исследований энергоэффективности работы предприятий водопроводно-канализационного хозяйства базируется на развитии методов *оценки, управления, прогнозирования и повышения* энергоэффективности.

Существующие *методы оценки* энергоэффективности работы водоканалов основаны во многом на анализе работы единичных электроприемников [1, 2, 3] и сравнении основных энергетических показателей с номинальными параметрами или с

данными современного и технологичного оборудования. Для комплексной оценки систем водоснабжения и водоотведения в целом используются методы, учитывающие чувствительность изменения удельного расхода электропотребления при отклонении объемов производственной программы [4].

Стоимость энергетических ресурсов оказывает значительное влияние на формирование тарифов услуг водоканалов, поскольку в структуре себестоимости подъема и подачи воды, перекачки и очистки стоков доля энергетики достигает 25 %. Совершенствование *методов управления* энергопотреблением, направленных на поиск регуляторов электрической мощности, позволяет значительно снизить оплату за электрическую энергию за счет смещения графика нагрузки в тарифную зону с минимальной стоимостью электроэнергии. В статье [5] в качестве регуляторов электрической мощности рассматриваются накопительные резервуары чистой воды, которые максимально заполняются в ночной тарифной зоне, при этом в пиковой зоне, где оплата электроэнергии максимальная, предполагается отключение скважинных насосов.

Развитие методов *прогнозирования* энергоэффективности имеет важное значение на всех стадиях процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Для промышленных и коммунально-бытовых потребителей топливно-энергетических ресурсов достоверное определение пика электрической нагрузки позволяет снизить величину оплаты за заявленную мощность, а качественное планирование общих и удельных расходов электрической энергии позволяет с наименьшей погрешностью учесть энергетическую составляющую в структуре себестоимости производимой продукции и избежать штрафных санкций за перерасход электрической энергии [6, 7, 8]. В статьях [9, 10] рассматриваются методы прогнозирования показателей энергоэффективности, учитывающие ввод в эксплуатацию дополнительных трубопроводных сетей, насосного оборудования, внедрение мероприятий по энергосбережению, изменение качества очистки и объемов питьевых и сточных вод.

Для традиционных систем водоснабжения и водоотведения, состоящих из группы насосных станций, трубопроводных сетей, систем очистки питьевой воды и стоков к основным энергосберегающим мероприятиям относятся замена устаревшего оборудования на современное энергоэффективное, оптимизация и автоматизация режимов работы насосных агрегатов. Повышение эффективности использования тепловой энергии на отопление водозаборов основано на автоматизации и модернизации действующей системы теплоснабжения [11, 12].

В последние годы энергоэффективность водоканалов значительно возросла в связи с чем экономический эффект от проводимых энергосберегающих мероприятий заметно сократился [13]. Поиск резервов экономии энергетических ресурсов привел к разработке метода оценки потенциала энергосбережения при частотном регулировании режимов работы насосных агрегатов, работающих на водонапорную башню за счет снижения избыточного давления подъема воды и сокращения потерь электроэнергии при пуске двигателя [14]. Целью данной статьи является дальнейшее исследование поиска путей уменьшения энергопотребления и развития методов *повышения энергоэффективности* водоканалов. Отраженные в статье исследования базируются на результатах энергетического обследования КПУП «Гомельводоканал» одной из задач актуальных задач которого являлся поиск резервов экономии ТЭР за счет снижения технологических расходов воды. В статье приводятся результаты исследований на примере двух водозаборов «Ипуть» и «Сож».

Материалы и методы

К технологическим расходам воды системы водоснабжения предприятий водопроводно-канализационного хозяйства относятся:

1. Расходы воды между сооружениями 1-го и 2-го подъёмов, включающие: промывку фильтровальных сооружений; дезинфекцию и промывку скважин;

приготовление растворов реагентов; профилактическую чистку и дезинфекцию резервуаров чистой воды; производственные нужды лабораторий и др.

2. Расходы воды на отдельно стоящих объектах вспомогательного назначения и административных зданиях.

3. Поливомоечные расходы отдельно расположенных территорий объектов водоснабжающей организации.

4. Расход воды на транспортирование воды от насосной станции 2-го подъема до потребителя, включающий: промывку и дезинфекцию водопроводных сетей, законченных строительством; промывку и дезинфекцию баков водонапорных башен; отбор проб из водоразборных колонок.

Обобщённо технологические расходы объединены в две группы: I группа – технологические расходы воды при подъеме и водоподготовке (до прибора учета подачи воды в водораспределительную сеть); II группа – технологические расходы воды при транспортировании воды (от прибора учета подачи воды в водораспределительную сеть до потребителя).

Автор статьи рассматривает возможные пути снижения затрат электроэнергии за счет уменьшения технологических расходов воды I группы, в частности объемов воды, которые используются на промывку фильтровальных сооружений. В качестве основных мероприятий можно выделить следующие направления: изменение графика промывки фильтров с увеличением фильтроцикла; использование водовоздушной промывки; повторное использование промывной воды.

Для исследуемых водозаборов выбор контролируемых показателей питьевой воды основан на базовой информации, имеющейся в лаборатории питьевого водоснабжения. Для достижения качества воды, соответствующего требованиям СанПиН 10-124 РБ-99, на водозаборе предусмотрено обезжелезивание воды методом упрощенной аэрации на скорых фильтрах. В качестве загрузки фильтров использовался кварцевый песок. Параметры промывочного цикла, интенсивности и времени промывки определены опытным путем в процессе эксплуатации и закреплены в технологическом регламенте водозабора.

Предпосылки к регулированию промывочного цикла

Использование методов математической статистики и, в частности, методов дисперсионного анализа позволили оценить значимость промывки фильтров на изменение химических показателей качества воды водозабора «Ипуть» [15]. Станция обезжелезивания оборудована 4 фильтрами, полезная площадь каждого фильтра – 55,4 м². Для исследуемого водозабора предварительно отобран перечень контролируемых и фиксируемых показателей качества воды, в который вошли наиболее значимые факторы, характеризующие стабильность качества воды в источниках, вероятность вторичного загрязнения питьевой воды в процессе ее хранения и транспортирования, а также наличие загрязнения радионуклидами на территории водозабора. Из исходного множества химических показателей в итоговую анализируемую статистику вошли только данные, отражающие содержание железа в воде на входе и выходе фильтров. Это позволило исключить мультиколлинеарность факторов, выполнить условие их вариации и обеспечить репрезентативность выборки за счёт выбора факторов, потенциально влияющих на энергетическую составляющую процесса водоочистки.

Существующая схема промывки предусматривает очистку фильтров в шахматном порядке каждые 48 часов в среднем в течение пяти минут. Регистрация параметров качества воды производится в журнале химической лаборатории, учет объемов промывной воды – в журнале очистки фильтров. В таблице 1 приведен анализируемый фрагмент совмещения журнала очистки фильтров и журнала химической лаборатории за 2019 год.

Как видно из таблицы 1 не все показатели качества очистки попали во временную зону включения промывных насосов и, соответственно, подачи воды на фильтры.

Отсутствующие данные (пустоты) расхода воды на промывку заполнялись «нулями», а показатели железа на входе фильтра и выходе заполнялись ближайшими соседними значениями. Оценка качества очистки фильтра выполнена по показателю разницы между содержанием железа на входе и выходе фильтра:

$$\Delta Fe = Fe_{\text{вх}}^{2+} - Fe_{\text{вых}}^{2+} \quad (1)$$

где $Fe_{\text{вх}}^{2+}$, $Fe_{\text{вых}}^{2+}$ – двухвалентное железо на входе и выходе фильтра, мг/дм³.

Таблица 1

Фрагментов журнала очистки фильтров и журнала химической лаборатории
водозабора «Ипуть»

Дата и время	Расход воды на промывку, м³				Время промывки, мин	Железо, мг/дм³				
	Фильтр №					Поступающая	Фильтр №			
	1	2	3	4			1	2	3	4
01.01.19 10:00	0	415	0		5	3,42	0,12	0,11	0,1	0,12
01.01.19 11:00	0	0	0	335	5	Отсутствующие данные				
01.01.19 20:00	0	0	0	0	0	3,76	0,13	0,11	0,12	0,14
02.01.19 10:00	0	0	0	0	0	3,08	0,09	0,12	0,11	0,13
02.01.19 20:00	0	0	0	0	0	4,03	0,09	0,11	0,091	0,12
03.01.19 10:00	427	0	0	0	5	3,62	0,11	0,15	0,13	0,04
03.01.19 11:00	0	0	438	0	5	Отсутствующие данные				
03.01.19 20:00	0	0	0	0	0	3,56	0,1	0,13	0,11	0,065
04.01.19 10:00	0	0	0	0	0	5	0,1	0,07	0,1	0,16
04.01.19 11:00	0	440	0	0	5	Отсутствующие данные				
04.01.19 12:00	0		0	443	5	Отсутствующие данные				
04.01.19 20:00	0		0	0	0	4,31	0,09	0,095	0,08	0,13
05.01.19 10:00	0		0	0	0	3,25	0,12	0,11	0,093	0,14
05.01.19 20:00	0		0	0	0	3,9	0,07	0,1	0,07	0,13

Гипотеза: промывка фильтра приводит к увеличению ΔFe , т.е. улучшению качества очистки. Предполагалось, что к концу фильтроцикла остаточное содержание железа значительно снижается, а при приближении к концу фильтроцикла (непосредственно перед промывкой) – значительно увеличивается. Таким образом, ожидаемый результат – наличие корреляции между промывкой и степенью очистки.

В таблице 2 приведены результаты сравнения показателей очистки ΔFe на различных этапах промывки.

Таблица 2

Сравнение показателей очистки ΔFe в момент промывки и между промывками

Показатели	Интервал времени		Отклонение, %
	В момент промывки	Между промывками	
Среднее значение содержания железа поступающей воды, мг/л	3,653	3,646	-0,2%
Среднее значение содержания железа на выходе фильтра, мг/л	0,111	0,102	-8,5%
Снижение содержания железа ΔFe после промывки, мг/л	3,541	3,544	0,1%

Как видно из таблицы 2 в среднем качество очистки фильтра в момент и после промывки увеличилось незначительно на 0,1 %. На рисунке 1 также видно, что

сформированные средние значения двух подгрупп факторов не изменились. P -значение в результате проведенного дисперсионного анализа составило 0,95, что значительно больше принятого уровня значимости $\alpha=0,05$. Нулевая гипотеза о значимости влияния промывки на снижение содержания железа отклонена. На рисунке 1 приведено корреляционное поле с выделенными двумя классами факторов, средние значения которых соединены пунктиром.

Поскольку статистически значимого снижения содержания железа на выходе фильтра после промывки не наблюдалось, сделан вывод о наличии значительного запаса промывочного цикла. В качестве рекомендаций предложено проведение активного эксперимента с изменением времени промывки, объемов и показателей качества воды для возможности установления достоверной границы увеличения фильтроцикла при условии соблюдения установленных нормативов качества питьевой воды.

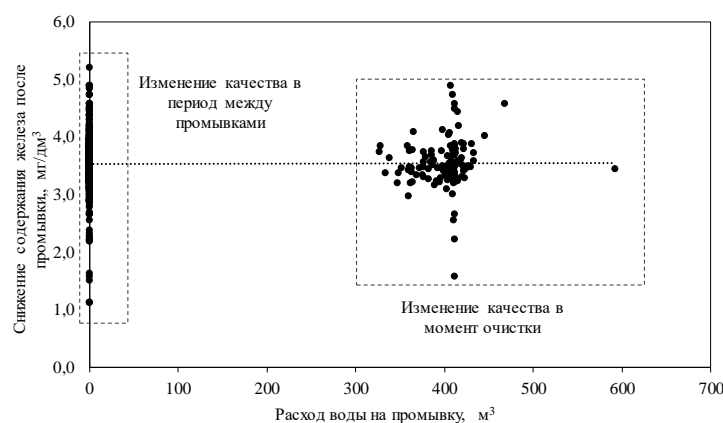


Рис. 1. Корреляционное поле факторов «объем промывной воды» и «степень снижения содержания железа после очистки фильтра»

Fig. 1. Correlation field of the factors "the volume of washing water" and "the degree of reduction of the iron content after cleaning the filter"

Применение водовоздушной очистки фильтров

По мере накопления железа фильтрующий материал загрязняется. Для ускорения процесса очистки фильтров возможно использование одновременно как водяной, так воздушной промывки, которая обладает более сильным действием при небольших расходах промывной воды. На исследуемом водозаборе «Ипуть» проводился эксперимент с подключением компрессора дизельного компрессора ММЗ-ПВ-6/7 мощностью 40,5 кВт, производительностью 360 м³/ч (6000 л/мин) и давлением 0,7 МПа к существующему трубопроводу подачи воды. Схема подключения приведена на рисунке 2. В таблице 3 приведены агрегированные фактические годовые показатели расходов воды на промывку фильтров водозабора «Ипуть».

Таблица 3

Фактические показатели расходов воды на промывку водозабора «Ипуть»

Показатель	Номер фильтра				Итого
	1	2	3	4	
Суммарный объем промывной воды по фильтрам, м³	48 424	51 452	50 054	50 101	200 031
Время промывки, мин	121	123	119	123	2 430
Средний объем единичной промывки в течение пяти минут, м³	400	418	421	407	412
Количество промывок в год	121	123	119	123	486

Таким образом, в соответствии с журналом работы водозабора суммарный объем воды на промывку фильтров за 2019 год составил 200 031 м³. В среднем в сутки

осуществляется две промывки в течение 5-и минут. В общей сложности в течение года выполнено 486 промывок с суммарным затраченным временем 2 430 минуты. При отсутствии приборов учета, годовой расход воды на промывку фильтров может быть определен расчетным путем исходя из интенсивности и времени промывки:

$$Q_{\text{тех}} = \sum_i^n \left(\frac{8760 \cdot I \cdot n \cdot F_i \cdot t_{\text{пром.}i}}{T_{\text{ц}}} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где n – количество фильтров; шт.; I – интенсивность промывки, л/(с·м²); F_i – площадь i -го фильтра, м²; $t_{\text{пром.}i}$ – время промывки, с; $T_{\text{ц}}$ – промывочный цикл, ч.

После подключения компрессора время проверки сократилось с 5-и минут до 3-х при сохранении показателей качества очистки воды. Для реализации технологической схемы рисунка 2 с одной стороны ожидается прирост затрат электроэнергии за счет работы компрессора, с другой – снижение за счет уменьшения объемов подаваемой воды.

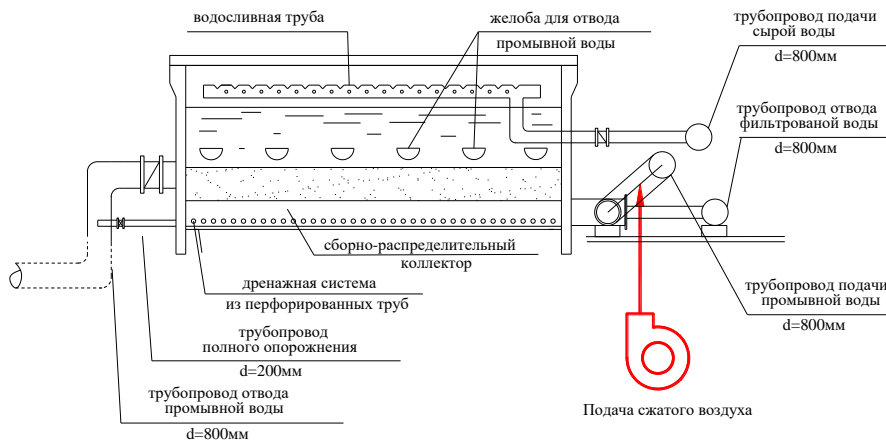


Рис. 2. Схема существующего фильтра с подключением компрессора

Fig. 2. Diagram of the existing filter with compressor connection

При известных номинальных параметрах мощность компрессора определяется по формуле [16]:

$$P_k = \frac{l_k \cdot q}{3600 \cdot \eta}, \quad (3)$$

где l_k – работа компрессора при сжатии воздуха, кДж/м³; q – расход воздуха, м³/ч; η – КПД компрессора.

Для политропного процесса работа сжатия определяются по формуле [17]:

$$l_k = \frac{n}{n-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot p_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \quad (4)$$

где n – показатель политропы; p_1 – абсолютное давление всасывания, кПа; v_1 – начальный всасываемый объем воздуха, м³; ρ_1 – плотность воздуха на всасе, кг/м³; p_2 – абсолютное давление сжатия компрессора, кПа.

Дополнительное включение компрессора обеспечит прирост мощности на 32,2 кВт при расчётной работе сжатия $l_k = 323$ кДж/м³. Вместе с этим, водовоздушная промывка обеспечит снижение технологических расход воды в среднем 40,1 % или на

$Q_{\text{тех.к}} = 80190 \text{ м}^3$, что определено экспериментально на водозаборе. Прирост затрат электроэнергии за счет включения компрессора определяется по формуле:

$$W_{\text{к}} = P_{\text{к}} \cdot t_{\text{пром}} \cdot n_{\text{пром}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{пром}}$ – количество промывок в течение года.

Прогнозируемый прирост затрат электроэнергии при работе компрессора:

$$W_{\text{к}} = 32,2 \cdot 3 \cdot 486 / 60 = 782 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Среднегодовой удельный расход электроэнергии на подъем воды исследуемого за 2019 год составил $w_{\text{уд.скв}} = 300,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. м}^3$. Затраты электроэнергии на технологические нужды определяется по формуле:

$$W_{\text{в}} = w_{\text{уд.скв}} \cdot Q_{\text{тех}}. \quad (6)$$

Фактические годовое объемы промывной воды составили $200\,031 \text{ м}^3$. Затраты электроэнергии, определяемые потребностью в промывной воде до внедрения водовоздушной промывки:

$$W_{\text{в}} = 300,5 \cdot 200\,031 \cdot 10^{-3} = 60109 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Суммарные затраты электроэнергии после реализации водовоздушной промывки определяется разницей между требуемыми объемами технологических расходов воды:

$$W_{\text{вк}} = w_{\text{уд.скв}} \cdot (Q_{\text{тех}} - Q_{\text{тех.к}}) + W_{\text{к}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{тех.к}}$ – ожидаемое снижение технологических расходов воды, м^3 .

Прогнозируемое снижение затрат электроэнергии на технологические нужды водозабора:

$$W_{\text{вк}} = 300,5 \cdot (200\,031 - 80\,190) + 782 = 36794 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}.$$

Применение водовоздушной очистки фильтров для исследуемого водозабора способствовала значительному снижению как технологических расходов воды (40,1 %), так и расходов электроэнергии (38,8 %).

Внедрение сооружения повторного использования промывных вод

Классическая схема промывки фильтров предусматривает подачу воды через распределительную систему и слои загрузки фильтровального материала. Скорость прохождения через фильтр промывной воды в несколько раз больше скорости фильтрования. Вода взмучивает песок и интенсивно оmyвает его от поступивших в процессе фильтрования загрязнений. Как правило, вода после промывки сбрасывается в канализацию. С целью сокращения использования подземной воды на собственные нужды и повышения эффективности работы водозабора реализуются схемы повторного использования промывной воды, апробированные на коммунальном предприятии КПУП «Гомельводоканал» на водозаборе «Ипуть». Основным элементом технологической схемы являются отстойники (рисунок 3), в которые вода после промывки фильтров поступает по напорно-самотечному трубопроводу на отстаивание. После 8-ми часового отстаивания вода равномерно через поплавков поступает в колодец-усреднитель. Из колодца-усреднителя вода

перекачивается погружным насосом на осветлительные фильтры, откуда поступает в трубопровод отвода фильтрованной воды после фильтров станции обезжелезивания.

Для оценки потенциала энергосбережению после реализации схемы повторного использования технологической воды на крупнейшем водозаборе «Сож» выполнен анализ затрат воды на технологические нужды.

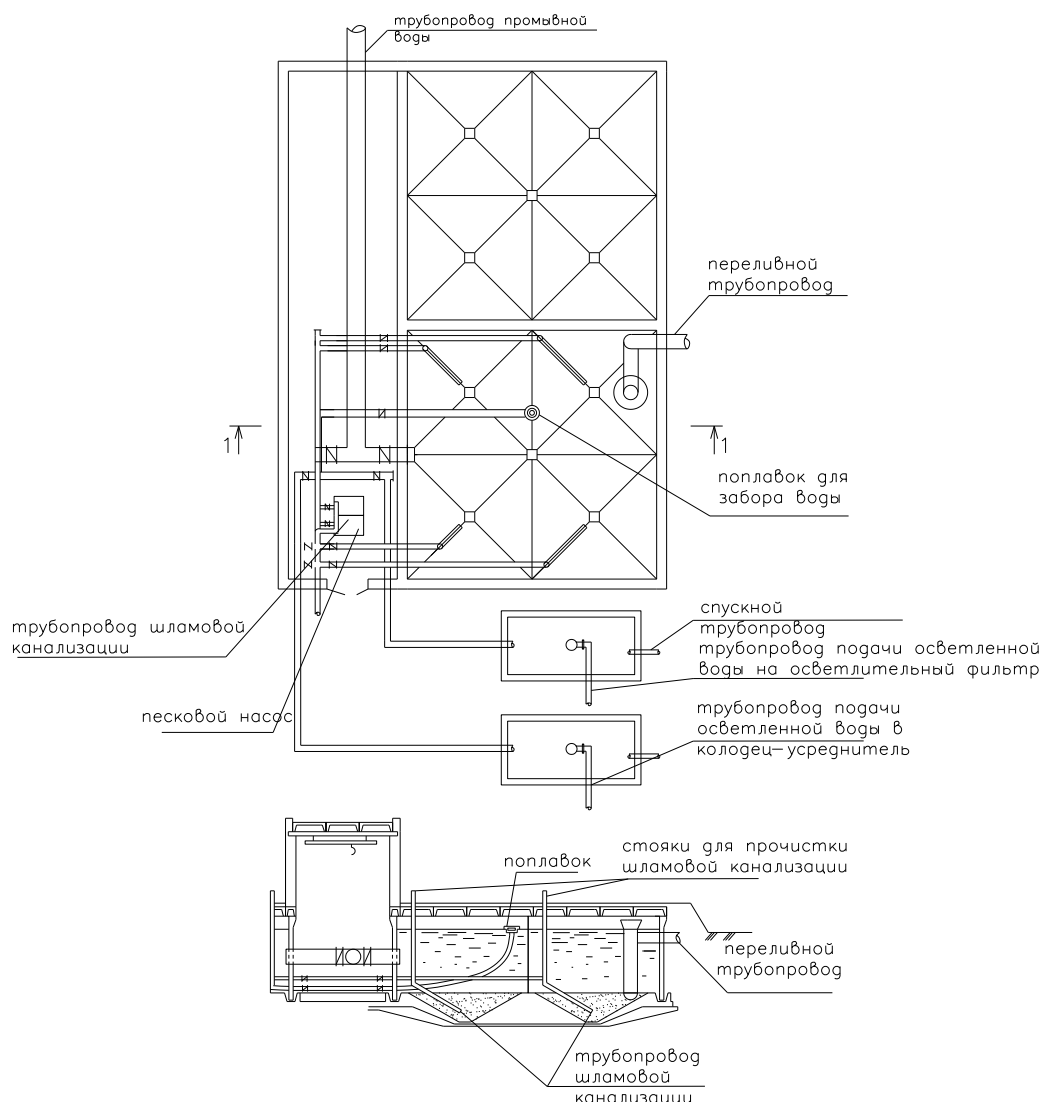


Рис. 3. Типовая схема сооружений
повторного использования технологической
воды

Fig. 3. A typical scheme of facilities for the
reuse of process water

На рисунке 4 приведена статистическая взаимосвязь между подъемом и подачей воды водозабора. Степень взаимосвязи – высокая, коэффициент корреляции Пирсона составил 0,96. Разница между подъемом и подачей воды определяют технологические нужды станции, которые по данным журнала насосной станции второго подъема за 2019 год составили 318 755 м³.

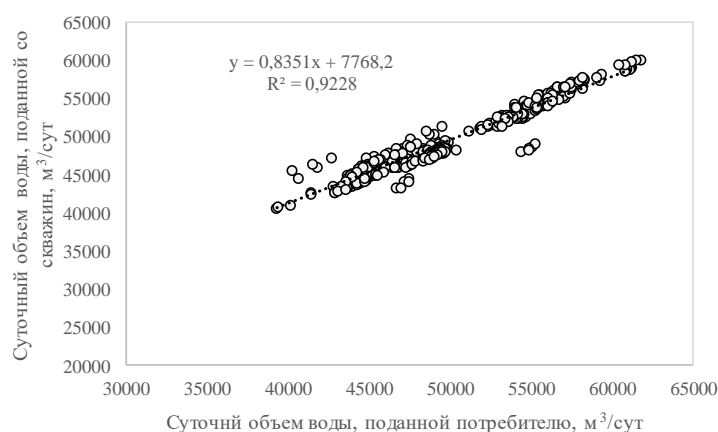


Рис. 4. Связь подъема и подачи воды водозабора «Сож»

Fig. 4. Connection of lifting and water supply of the water intake "Sozh"

Станция обезжелезивания водозабора «Сож» оборудована 14 скорыми открытыми фильтрами с размерами 6х12 м и полезной площадью каждого фильтра – 55,4 м². В таблице 4 приведен фрагмент существующего графика промывки на примере 4-х фильтров.

Таблица 4

Определение технологических расходов воды по фильтрам водозабора «Сож»

Время и дата промывки	Расход воды на промывку, м ³					Время промывки, мин
	Фильтр №				Итого	
	1	2	3	4		
01.01.19 23:00		357			375	5
02.01.19 23:00	269			272	541	5
03.01.19 23:00			299		299	5
04.01.19 23:00		355		359	714	5
05.01.19 23:00	349			351	700	5
06.01.19 23:00			343		343	5
07.01.19 23:00		329			329	5
Среднее	308	341	333	310	323	5

С целью снижения емкости отстойника оптимизирован график промывки фильтров, учитывающий существующий фильтроцикл 72 часа и 8-и часовое время отстаивания воды.

Таблица 5

Оптимизация графика промывки фильтров водозабора «Сож»

Номер суток	Часы суток	Номер фильтра														Средний расход воды на промывку фильтра, м³	Суммарный расход воды на промывку, м³
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	8	+											+			323	646
	16		+											+		323	646
	24			+											+	323	646
2	32				+											323	323
	40					+										323	323
	48						+									323	323
3	56							+								323	323
	64								+							323	323
	72									+						323	323

Результаты и обсуждения

После оптимизации схемы промывки фильтров удалось значительно снизить пиковые объемы воды после промывки и уменьшить предварительны принятые объемы отстойника. Расход воды на промывку в течение 8 часов до оптимизации превышал 1000 м^3 , в то время как после оптимизации – составил 646 м^3 . Повторное использование промывной воды обеспечивает повышение эффективности работы водозабора за счет снижения расхода электроэнергии на технологические нужды. При средневзвешенном удельном расходе электроэнергии на подъем воды, который составил $281,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{тыс. м}^3$ (определен по результатам анализа статистических наблюдений системы учета «Акватория») потенциал энергосбережения за счет сокращения технологических расходов электроэнергии с целью промывки составил $89857 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / \text{год}$.

Выводы

Повышение энергетической эффективности водозаборов наряду с мероприятиями по модернизации и оптимизации работы насосного оборудования достигается путем экономии водных ресурсов, затрачиваемых на промывку фильтровальных материалов станции обезжелезивания. Поэтапное оптимизация технологических расходов воды состоит из оценки возможности увеличения фильтроцикла, использования водовоздушной промывки и повторного использование промывной воды.

Предположением о возможном увеличении фильтроцикла является отсутствие значимости влияния промывки на снижение содержание железа, что свидетельствует о наличие значительного запаса промывочного цикла. Использование совместной водяной и воздушной промывки, способствует значительному снижению как технологических расходов воды ($40,1 \%$), так и расходов электроэнергии ($38,8 \%$). Потенциал энергосбережения за счет сокращения технологических расходов электроэнергии на подъем воды с целью промывки достигал для исследуемого водозабора $89857 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / \text{год}$.

Литература

1. Hakimyanov M.I., Guzeev B.V., Ryabishina L.A. Methodological bases calculation of power consumption of electric drives booster and group pumping station // Electrical and data processing facilities and systems. 2014. № 3. V. 10. P. 15–20.
2. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020;22(2):65-74. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-2-65-74>.
3. Гумерова Р.Х., Черняховский В.А. Моделирование потребления электроэнергии приводами насосов при дроссельном и частотном регулировании производительности. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.19(3-4). С. 96-106.
4. Грунтович Н.В., Капанский А.А. Оценка текущего состояния энергоэффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения // Энергоэффективность. 2016. № 8. С. 20–24.
5. Kapanski A., Hruntovich N., Bakhur S., et al. Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks. In E3S Web of Conferences. 2018. V. 178. p. 01065. EDP Sciences.
6. Douglas A.P. et al. Risk due to load forecast uncertainty in short term power system planning // IEEE Transactions on Power Systems. 1998. T. 13. №. 4. P. 1493-1499.
7. Douglas A.P. et al. The impacts of temperature forecast uncertainty on Bayesian load forecasting // IEEE Transactions on Power Systems. 1998. T. 13. №. 4. P. 1507-1513.
9. Грунтович Н.В., Капанский А.А. Прогнозирование показателей энергоэффективности технологических систем водоотведения при изменении качества очистки и объема стоков // Энергия и менеджмент. 2016. № 4. С. 18–23.
8. Fedorov O.V. Expeditious forecasting of power consumption // 2017 International

Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2017. С. 1-4.

10. Капанский А. А. Управление энергоэффективностью трубопроводных систем водоотведения на основе многофакторного моделирования режимов электропотребления // Агротехника и энергообеспечение. 2016. № 1 (10). С. 51–63.

11. Седнин В.А., Гутковский А.А. Модернизация и автоматизация системы теплоснабжения. Опыт Беларуси // Энергосбережение. 2016. №. 8. С. 52-59.

12. Романюк В.Н., Бобич А.А., Бубыр Т.В. Интенсивное энергосбережение в промышленных теплотехнологиях // Энергия и менеджмент. 2013. № 6. С. 8-12.

13. Moroz D., Hruntovich, N., Hruntovich, N., et al. (2020). Regularities of the formation of structural fields of daily gas consumption of the regional gas supply system. In E3S Web of Conferences. 2020. V. 220, p. 01076. EDP Sciences.

14. Hruntovich N.V., Kapanski A.A., Baczynski D., et al. (2019). Optimization of a variable frequency drive pump working on a water tower. In E3S Web of Conferences. 2019. V. 124, p. 05060. EDP Sciences.

15. Грачева Е. И., Сафин А. Р., Садыков Р. Р. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей // Надежность и безопасность энергетики. 2017. Т. 10. №. 1. С. 48-52.

16. Степанов В.С., Степанова Т.Б., Старикова Н.В. Определение энергетического потенциала сжатого воздуха для оценки эффективности работы воздушно-аккумулирующей станции. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21(3-4). С. 27-37. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-3-4-27-37>.

17. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров // Техн. электродинамика. 2004. №. 3. С. 70-71.

Авторы публикации

Капанский Алексей Александрович – доцент факультета Энергетики, Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого (Беларусь), г. Гомель, Республика Беларусь. Email: kapanski@mail.ru

References

1. Hakimyanov MI, Guzeev BV, Ryabishina LA. Methodological bases calculation of power consumption of electric drives booster and group pumping station. *Electrical and data processing facilities and systems*. 2014;3(10):15–20.

2. Gracheva EI, Gorlov AN, Shakurova ZM. Calculation of the economy of electric energy in industrial electrical supply systems. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(2):65-74. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-2-65-74>.

3. Gumerova RK, Chernyakhovskiy VA. Modelling of electrical energy consumption of electrical drives in throttle and frequency regimes of control. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2017;19(3-4):96-106. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-96-106>.

4. Gruntovich NV, Kapansky AA. Assessment of the current state of energy efficiency of technological systems of water supply and wastewater disposal. *Energy efficiency*. 2016;8:20–24.

5. Kapanski A, Hruntovich N, Bakhur S, et al. (2020). Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks. In E3S Web of Conferences. 2020. V. 178. p. 01065. EDP Sciences.

6. Douglas A.P. et al. Risk due to load forecast uncertainty in short term power system planning. IEEE Transactions on Power Systems. 1998;13(4):1493–1499.

7. Douglas A.P. et al. *The impacts of temperature forecast uncertainty on Bayesian load forecasting*. IEEE Transactions on Power Systems. 1998;13(4):1507-1513.
9. Gruntovich NV, Kapansky AA. Prediction of energy efficiency indicators of technological wastewater disposal systems when changing the quality of treatment and wastewater volume. *Energy and management*. 2016;4:18–23.
8. Fedorov OV. *Expeditious forecasting of power consumption*. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2017. C. 1-4.
10. Kapansky A.A. *Management of energy efficiency of pipeline drainage systems based on multifactor modeling of power consumption modes*. Agrotechnics and energy supply. 2016;1 (10):51–63.
11. Sednin VA, Gutkovsky AA. Modernization and automation of the heat supply system. Experience of Belarus. *Energy saving*. 2016;8:52-59.
12. Romanyuk VN., Bobich AA, Bubyry TV. Intensive energy saving in industrial heat technologies. *Energy and management*. 2013;6:8-12.
13. Moroz D, Hruntovich N, Hruntovich N, et al. (2020). *Regularities of the formation of structural fields of daily gas consumption of the regional gas supply system*. In E3S Web of Conferences. 2020;220:01076. EDP Sciences.
14. Hruntovich NV, Kapanski AA, Baczynski D, et al. (2019). *Optimization of a variable frequency drive pump working on a water tower*. In E3S Web of Conferences. 2019;124: 05060). EDP Sciences.
15. Gracheva EI, Safin AR, Sadykov RR. *Application of an analytical method for calculating the reliability of elements of power supply systems based on probabilistic models*. 2017;10(1):48-52.
16. Stepanov VS, Stepanova TB, Starikova NV. Evaluation the energy potential of compressed air for determining efficiency of air-accumulating electric. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2019;21(3-4):27-37. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-3-4-27-37>.
17. Bobrov A.V. Increasing the energy efficiency of reciprocating compressors. *Tekhn. electrodynamics*. 2004;3:70–71.

Authors of the publication

Alexey A. Kapansky – Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus. Email: kapanski@mail.ru.

Получено 06.04.2021 г.

Отредактировано 13.04.2021 г.

Принято 21.04.2021 г.