$$\frac{\chi}{\beta} = 2 \cdot s + 1 \quad (s = 0, 1, 2, \dots). \quad (13)$$

Тогда z – компонента магнитного поля, т.е. решение уравнения (1), имеет следующий вид:

$$H_{zsm} = A \cdot e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\xi^2} H_s(\xi) Z_n(z, \rho) e^{im\varphi - i\omega t}. \quad (14)$$

Из зависимостей (11) и (14) можно получить уравнение, определяющее резонансную частоту ω :

$$\left(\varepsilon \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2 \cdot n^2}{d_0^2}\right)^2 - R_0^2 \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot n^2}{d_0^3 \cdot R} \left(\varepsilon \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2 \cdot n^2}{d_0^2}\right) + \frac{m^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot n^2}{d_0^3 R} + (2 \cdot s + 1) \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{d_0^3 \cdot \beta^2}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot (\pi \cdot n)^{\frac{3}{2}} = 0.$$

Колебательная система отличается потерями на стенках резонатора, что влияет в первую очередь на добротность. Добротность колебательного контура, в качестве которого представлен резонатор, определяется зависимостью $Q = \omega/\omega''$, где ω'' – составляющая мнимой части резонансной частоты.

Учитывая, что:

$$\omega'' = \frac{\frac{c}{2} \xi' \cdot \int |H|^2 \cdot df}{\int |H|^2 \cdot dV}, \quad (16)$$

где $\xi' = \sqrt{\frac{\omega}{8 \cdot \pi \cdot \sigma}}$ – волновой импеданс, а σ – проводимость металлических стенок, получим:

$$Q = \frac{\omega \cdot d_0}{4 \cdot c \cdot \xi'} \left(\frac{1 + \pi^2 \cdot k^2}{\left(\frac{\omega^2}{c^2} - k^2\right)^2} \right) \cdot d_0^2. \quad (17)$$

Выведенные зависимости предлагается применять для решения задач моделирования технологических процессов, протекающих в резонаторах и волноводах.

1. Васильев А.Н., Будников Д.А., Васильев А.А. Моделирование процесса нагрева зерна в СВЧ-поле универсального электротехнического модуля при различных алгоритмах работы электрооборудования // Вестник аграрной науки Дона. 2016. Т. 1. № 33. С. 12-17.

Бусарев А.В., Селюгин А.С., Шешегова И.Г., Ахмедов Т.М.
К вопросу очистки промывных стоков скорых и сверхскорых фильтров в
напорных гидроциклонах

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, Казань)

doi: 10.18411/lj-10-2018-181

idsp: 000001:lj-10-2018-181

Аннотация

Статья посвящена вопросу очистки промывных стоков скорых и сверхскорых фильтров. В статье приводятся данные о качественных характеристиках и возможностях повторного использования промывных стоков. Авторами предложена технология очистки

промывных стоков с применением напорных гидроциклонов. Представлены результаты исследования по очистке промывных стоков в напорных гидроциклонах.

Ключевые слова: промывные стоки фильтров, качество промывных стоков, повторное использование промывных стоков, очистка промывных стоков с использованием напорных гидроциклонов.

В процессе промывки скорых и сверхскорых фильтров, применяемых для подготовки природных вод, образуются загрязненные промывные стоки. Их объем достигает 10-20% от производительности фильтровальных станций [1,2].

Применение водовоздушной промывки позволяет снизить объем промывных стоков на 30-40%. Однако она применяется только для однослойных фильтров с зернистой загрузкой. Кроме того при водовоздушной промывке необходимо подавать в фильтры сжатый воздух, т.е. необходимо иметь в составе водопроводных очистных сооружений (ВОС) воздухоподводящую станцию [2].

Состав и свойства промывных стоков, образующихся при промывке фильтровального оборудования, зависят от качества обрабатываемой фильтрами воды, времени года (для поверхностных источников водоснабжения) и технологии водоподготовки (типа фильтрующей загрузки, конструкции фильтров, используемых реагентов и т.п.) [3]. Использованная промывная вода фильтров для подготовки природных вод содержит взвешенные вещества, извлеченные из фильтрующей загрузки, ее частицы, продукты гидролиза коагулянтов и т.п. [3].

Концентрация загрязнений в промывных стоках скорых и сверхскорых фильтров для очистки природных вод значительно колеблется в течение суток и цикла промывки [1,3].

При подготовке воды из подземных источников (обезжелезивании) максимальное содержание взвеси в промывных стоках при водовоздушной промывке достигает 500-600 мг/л, а при водяной – 900-1200 мг/л. К концу промывки концентрация взвешенных веществ в этих водах не превышает 8-10 мг/л. После их усреднения концентрация взвеси в промывных стоках составляет 90-340 мг/л [4].

При очистке природной воды в скорых напорных фильтрах концентрация взвеси в промывных водах снижается в течение 10 мин с 1000-1200 мг/л до 100 мг/л [5].

В процессе очистки природной воды из поверхностных источников в скорых фильтрах после усреднения промывных стоков их мутность достигает 20-50 мг/л [3]. По данным [6] концентрация взвешенных веществ в воде после промывки скорых фильтров находится в пределах от 50 мг/л до 1500 мг/л.

Загрязненные промывные стоки могут быть [3,6]:

- очищены и сброшены в поверхностные источники;
- сброшены в системы водоотведения населенных пунктов;
- очищены и использованы на водопроводных очистных сооружениях.

В настоящее время наиболее распространен первый вариант утилизации промывных стоков. Сброс неочищенных промывных стоков в поверхностные источники запрещен [1,6]. Даже после очистки промывные сточные воды не соответствуют требованиям [7], поэтому их поступление в водоемы ухудшают качество воды в них, что требует дополнительных затрат при последующей водоподготовке [3].

При сбросе загрязненных промывных стоков на сооружения канализации (КОС) населенного пункта происходит значительное увеличение нагрузки на системы водоотведения. Кроме того на КОС поступают несвойственные для них загрязнения (коагулянты, флокулянты), что может негативно сказаться на биологической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод.

Повторное использование промывных стоков на ВОС позволяет не только предотвратить загрязнение окружающей среды, но также сократить объемы воды, забираемые из подземных или поверхностных источников водоснабжения [3,8].

В настоящее время существует две основные схемы использования очищенных промывных стоков [6,8]:

- осветленные промывные сточные воды направляются «в голову» водопроводных очистных сооружений;
- промывные стоки скорых или сверхскорых фильтров очищаются до требований, изложенных в [7] и направляются в резервуар чистой воды (РЧВ) или емкости для промывной воды.

В зависимости от схемы использования осветленных промывных стоков на ВОС используются различные методы их очистки.

Согласно [1,6] для очистки промывных стоков предлагается использовать отстаивание. При этом, если для очистки природных вод используются осветлители со взвешенным слоем или горизонтальные отстойники со скорыми фильтрами, то для обработки промывных стоков применяются песколовки. При использовании на ВОС контактных префильтров или контактных осветлителей для очистки промывных сточных вод кроме песколовки применяются отстойники. Осветленные промывные стоки направляются «в голову» ВОС.

Технологическая схема установки очистки промывных стоков скорых фильтров, рекомендуемая [3], представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Блок-схема установки очистки промывных вод фильтров

В состав этой установки входят резервуар 1 для приема сточных вод, образующихся при промывке скорых фильтров, отстойник 2, фильтр 3, трубопроводы и запорно-регулирующая арматура. Промывные стоки под остаточным давлением поступают в резервуар 1 по трубопроводу 4. По самотечной линии 5 вода поступает в отстойник 2. Перед поступлением ее в этот аппарат она обрабатывается реагентом (оксихлоридом алюминия), раствор которого с дозой 5-10 мг/л подается по трубопроводу 6. Из отстойника 2 вода по линии 7 подается в фильтр 3, загруженный дробленным керамзитом.

Из фильтра 3 вода по трубопроводу 8 поступает в резервуар чистой воды 9.

Авторы работы [4] предлагают направлять промывные стоки скорых фильтров в усреднитель, а затем очищать их в барабанных вакуум-фильтрах. Очищенные промывные воды направляются «в голову» станции водоочистки.

Для очистки промывных стоков компания «Waterman» предлагает накапливать их в специальных резервуарах, а затем подавать эти сточные воды в осветлители со взвешенным слоем или тонкослойные отстойники [8]. Перед подачей в осветлители или отстойники промывные стоки обрабатываются коагулянтom. После этого промывные сточные воды направляются на доочистку в скорые фильтры, после чего осуществляется их обеззараживание [8].

Для обезвоживания осадка, образующегося при очистке промывных стоков, компания «Waterman» предлагает использовать фильтр-прессы [8].

На очистных сооружениях Волжского водозабора, принадлежащего МУП «Водоканал» (г.Казань) для очистки воды из р. Волга применяются скорые безнапорные фильтры с зернистой загрузкой [9], т.е. здесь также образуется значительное количество промывных стоков. Кафедра «Водоснабжения и водоотведения» (ВиВ) Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) предложила использовать для очистки промывных сточных вод напорные цилиндрикоконические двухпродуктовые гидроциклоны. Для увеличения производительности несколько напорных гидроциклонов конструкции КГАСУ объединяются в батарею.

Промывные стоки от скорых фильтров с зернистой загрузкой самотеком поступают в резервуар для хранения. Откуда насосами они подаются в батарею напорных гидроциклонов. Под действием сил центробежного поля, возникающего за счет тангенциального ввода воды в корпус гидроциклонов, взвешенные вещества, как более тяжелая фаза, отбрасываются к стенкам этих аппаратов и вместе с частью воды выносятся через их нижние сливные отверстия (нижний слив гидроциклонов). Очищенная вода выносится восходящим аксиальным потоком через верхние сливные отверстия гидроциклонов (верхний слив) [10].

КГАСУ предлагает верхний слив гидроциклонов (очищенные промывные стоки) под избыточным давлением направлять «в голову» ВОС, а нижний слив под избыточным давлением – на сооружения по обезвоживанию осадка, образующегося в горизонтальных отстойниках [9]. Таким образом, напорные гидроциклоны должны работать с противодавлением на сливах [10].

Кафедра ВиВ КГАСУ проводила экспериментальные исследования по очистке промывных стоков в напорных гидроциклонах с помощью опытно-промышленной установки, технологическая схема которой представлена на рисунке 2. В состав этой установки входят напорный цилиндрикоконический гидроциклон 1, успокоительная емкость 2, напорные емкости верхнего 3 и нижнего 4 сливов, трубопроводы, запорно-регулирующая арматура и система контрольно-измерительных приборов (КИП).

Рисунок 2. Схема опытно-промышленной установки

Успокоительная емкость 2 предназначена для стабилизации потока воды, поступающего в напорный гидроциклон [11]. Эта емкость оборудована монометром М-1 и пробоотборником ПР-1.

Емкости 3 и 4 предназначены для создания противодействия на сливах гидроциклонов. Они оборудованы манометрами М-2 и М-3. Емкость 3 также имеет пробоотборник ПР-2. Геометрические характеристики напорных гидроциклонов, принятых на основании рекомендаций [11], представлены в таблице 1.

Промывные стоки на очистку в опытно-промышленную установку подается по трубопроводу 5.

Таблица 1

Обозначение гидроциклона	Диаметр, мм				Угол конусности, α, град	Высота цилиндрической части, Н _{ст.} , мм	Общая высота гидроциклона, Н _{общ.} , мм
	гидроциклона, Д	входного патрубка, d _{вх}	патрубка верхнего слива, d _{в.сл.}	патрубка нижнего слива, d _{н.сл.}			
ГЦ-40-И	40	15	10	5	5	40	565
ГЦ-80-И	80	20	20	10	5	80	745
ГЦ-100-И	100	20	20	10	5	100	1120

Верхний слив гидроциклона отводится от этой установки по трубопроводу 6, а нижний слив гидроциклона – по трубопроводу 7. Давление на входе в гидроциклон контролируется с помощью запорно-регулирующей арматуры по показаниям манометра М-1.

Противодавление на сливах гидроциклонов также регулируется с помощью запорно-регулирующей арматуры по показаниям манометров М-2 и М-3. После начала работы через 15-20 мин, когда поток воды, поступающий в напорные гидроциклоны, будет установившимся, определяются расходы воды со сливов этих аппаратов и отбираются пробы воды из пробоотборников ПР-1 и ПР-2.

Расход воды со сливов определяется объемным методом при помощи мерного цилиндра объемом 1л с ценой деления 0,01л, а также секундомера. В отобранных пробах определяется концентрация взвеси весовым методом [12].

Эффект очистки воды от взвешенных веществ в напорных гидроциклонах $\dot{Y}_{\hat{a}.\hat{a}.}$, %, составляет [11]:

$$\dot{Y}_{\hat{a}.\hat{a}.} = \frac{\tilde{N}_{\hat{a}.\hat{a}.}^{\text{исх.}} - \tilde{N}_{\hat{a}.\hat{a}.}^{\text{сл.}}}{\tilde{N}_{\hat{a}.\hat{a}.}^{\text{исх.}}} 100, \quad (1)$$

где $\tilde{N}_{\hat{a}.\hat{a}.}^{\text{исх.}}$ – концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л,

$\tilde{N}_{\hat{a}.\hat{a}.}^{\text{сл.}}$ – концентрация взвеси в воде с верхнего слива гидроциклонов, мг/л.

Результаты опытов по очистке промывных стоков в напорных гидроциклонах представлены в таблице 2.

На основании их анализа можно заключить следующее:

а) содержание взвеси в промывных стоках, поступающих на очистку, достигает 282-422 мг/л;

б) концентрация взвешенных веществ в очищенной воде на выходе из напорных гидроциклонов составляет 116-149 мг/л;

в) для очистки промывных стоков целесообразно использовать гидроциклон ГЦ-80-И, у которого и эффективность работы и производительность достигают достаточно высоких значений;

г) рост давления на входе в напорные гидроциклоны ведет к увеличению их производительности и эффективности;

д) рост противодействия на сливах гидроциклонов уменьшает эффективность их работы, а также их производительность;

е) очистку промывных стоков скорых фильтров следует проводить при давлении на входе в напорные гидроциклоны равном 0,4 МПа и противодействии на их сливах не превышающем 0,2 МПа.

Подача очищенных промывных сточных вод в «голову» ВОС, предназначенных для подготовки высокомутных малоцветных природных вод, не скажется негативно на работе такой станции водоочистки.

Таблица 2

Результаты очистки промывных стоков скорых фильтров в напорных гидроциклонах

Обозначение гидроциклонов	Давление		Расход воды, л/с		Концентрация взвеси, мг/л		Эффект очистки от взвешенных веществ, %
	на входе в гидроциклон	на сливах гидроциклона	через верхний слив гидроциклона	через нижний слив гидроциклона	в воде, поступающей на очистку	в очищенной воде	
ГЦ-40-I	0,3	0,1	0,25	0,06	345	142	59
	0,4	0,1	0,27	0,7	422	143	66
	0,4	0,2	0,24	0,06	271	148	60
	0,5	0,1	0,28	0,1	418	121	71
	0,5	0,2	0,27	0,09	373	127	66
	0,5	0,3	0,26	0,07	369	136	63
	0,6	0,1	0,34	0,13	385	127	67
	0,6	0,2	0,3	0,11	314	116	63
	0,6	0,3	0,28	0,1	367	149	59
ГЦ-80-I	0,3	0,1	1,17	0,26	306	143	53
	0,4	0,1	1,31	0,3	358	144	60
	0,4	0,2	1,27	0,27	294	141	52
	0,5	0,1	1,55	0,38	345	131	62
	0,5	0,2	1,51	0,34	339	138	59
	0,5	0,3	1,48	0,32	282	129	54
	0,6	0,1	1,72	0,43	410	135	67
	0,6	0,2	1,68	0,4	351	130	63
	0,6	0,3	1,65	0,38	337	132	61
ГЦ-100-I	0,3	0,1	2,38	0,37	275	143	48
	0,4	0,1	2,27	0,44	292	137	53
	0,4	0,2	1,92	0,42	288	144	50
	0,5	0,1	2,43	0,57	311	133	57
	0,5	0,2	2,3	0,52	303	138	54
	0,5	0,3	1,94	0,43	286	140	51
	0,6	0,1	2,48	0,61	389	139	64
	0,6	0,2	2,44	0,58	362	136	62
	0,6	0,3	2,41	0,55	344	137	60
	0,6	0,4	2,39	0,43	350	143	59

1. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод. – изд. 3-е, перераб. и доп.: Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 552с.
2. Адельшин А.Б. Барлев А.А. Автоматизация установок скоростных методов очистки вод. Казань: КИСИ, 1993. – 88 с.
3. <http://www.pandia.ru/text/78/351/12555.php>:11.08.17
4. Алферова Л.И., Курочкин Е.Ю., Дзубо В.В. Повторное использование промывных вод и утилизация осадка на станциях очистки подземных вод // Сантехника. 2006. № 1 – С. 4-9.

5. Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Степанов В.О. Некоторые аспекты очистки стоков, образующихся при промывке скорых фильтров // Журнал «Известия КГАСУ», 2013, №2(44). С.193-200.
6. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 128с.
7. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора России, 2002. – 103 с.
8. <http://www.water2you.ru/articles/napravleniya-vodopodgotovki/ochistka-vody-sistem-vodopodgotovki>: 14.08.17
9. Адельшин А.Б., Нуруллин Ж.С., Бусарев А.В., Шешегова И.Г., Хамидуллина А.А. Некоторые аспекты хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Казани. // Журнал «Известия КГАСУ», 2013, №1(23). С.168-173.
10. Найдено В. В. Применении математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах. Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1976. – 287 с.
11. Адельшин А. Б., Бусарев А. В., Селюгин А. С., Гареев Б. М., Манвелян Ш. Г. Исследование процессов очистки поверхностных стоков // Вода, химия и экология. 2014. № 8. С. 113–117.
12. Калицун В.И., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Алексеев Е.В. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод.– М.:Стройиздат, 2000. – 272с.

Васильев А.Н., Ершова И.Г., Поручиков Д.В.

Устройство с термоэлектрическим модулем для транспортировки молока

ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-10-2018-182

idsp: 000001:lj-10-2018-182

Аннотация

Транспортировка молока, позволяющая сохранить его качество, является актуальной задачей. Целью работы является разработка устройства с термоэлектрическим модулем для транспортировки молока. Патентный поиск указал, что наиболее технические решения имеют ряд недостатков. Нами разработано устройство, которое выступает в качестве источника электроэнергии, содержит термоэлектрический генератор, установленный на выхлопном трубопроводе отработавших газов двигателя.

Ключевые слова: транспортировка молока, термоэлектрический модуль, охладитель, генератор

«Во всем мире производству молока уделяют серьезное внимание. Ежегодное производство молока составляет около 750 млн. т, из них 85% составляет коровье молоко» [1]. Важна реализация программы "Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года" [2]. «Сегодня при промышленном производстве молока особенно большое значение приобретает создание условий, обеспечивающих высокое качество продукции» [3], в том числе оптимальных условий для доставки молока, для осуществления которой, согласно СанПиН 2.3.4.551-96 "Производство молока и молочной продукции", выделяется спецтранспорт. Поэтому транспортировка молока, позволяющая сохранить его качество, является актуальной задачей.

Целью работы является разработка устройства с термоэлектрическим модулем для транспортировки молока.

Патентный поиск указал, что наиболее технические решения имеют ряд недостатков. Устройство для регулирования температуры молока при его транспортировке [4] низкоэффективно и дорого. Устройство для перевозки молока на автомобиле [5] работает на сжиженном газе.