

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию и расчету сооружений очистки воды
от нитратов методом ионного обмена для питьевых целей

Технические рекомендации подготовлены для инженерно-технических работников организаций, осуществляющих разработку проектно-сметной документации систем хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, организаций, осуществляющих эксплуатацию станций водоподготовки (обезжелезивания) подземных вод, а также слушателей, обучающихся по специальности «водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

В технических рекомендациях приведены материалы для расчета и проектирования сооружений очистки воды от нитратов методом ионного обмена для питьевых нужд.

Приведены варианты технологических схем подготовки подземной воды, содержащей нитраты, методика и примеры расчета ионообменного фильтра для очистки природных вод от нитратов.

Составители: С.В. Андреюк, старший преподаватель
Б.Н. Житенев, канд. техн. наук, доцент

Рецензенты: гл. специалист отдела комплексного проектирования
№ 2 УП «Институт Брестстройпроект» С.А. Новик;
начальник группы ВиК УКП «Брестдорпроект» Л.Н. Кишкевич

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

«УТВЕРЖДАЮ»
УП «Институт
«Брестстройпроект»



О.А. Шепетуша
»2018 г.

М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
Учреждения образования «Брест-
ский государственный техниче-
ский университет»



Н.Н. Шалобита
»2018 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию и расчету сооружений очистки воды
от нитратов методом ионного обмена для питьевых целей

Брест 2018

Технические рекомендации составлены на основании результатов исследований, проведенных на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов (ВВиОВР) УО «Брестский государственный технический университет» (БрГТУ).

Исследования по интенсификации процесса очистки воды от нитратов методом ионного обмена для питьевых целей осуществлялись в лабораторных условиях кафедры ВВиОВР УО БрГТУ г. Бреста.

Технические рекомендации приняты к использованию в УП «Институт «Брестстройпроект» при проектировании объектов промышленного и гражданского назначения (справка № 381/12 от 23.02.2018).

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 224017, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267, корп. 2, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов. Тел.: 8(029)5206578, факс: 8(0162)422127

Содержание

Общие сведения	6
1 НАЗНАЧЕНИЕ, СУЩНОСТЬ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ.....	7
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ НИТРАТОВ	12
2.1 Определение ресурса ионообменного фильтра для удаления из воды нитратов	12
2.2 Определение объема ионита для ионообменного фильтра, устраняющего из воды нитраты, способного обеспечить требуемый ресурс	13
2.3 Пример расчета ресурса ионообменного фильтра в системе питьевого водоснабжения.....	14
Список используемых источников.....	15

Общие сведения

В настоящее время водоснабжение многих сельских населенных пунктов Республики Беларусь (до 56% сельского населения), усадеб городской и пригородной зон (до 7 % городского населения) основывается на использовании грунтовых вод, которые эксплуатируются шахтными колодцами либо неглубокими индивидуальными скважинами. Имея, как правило, хорошие вкусовые качества, эти воды подверглись глубокой геохимической трансформации под влиянием антропогенной деятельности человека. Обзор литературных данных и результаты гидрохимических наблюдений указывают на высокую степень загрязненности этих вод азотистыми соединениями: максимальные концентрации нитратов превышают допустимые по гигиеническим требованиям к источникам нецентрализованного питьевого водоснабжения в 5 и более раз и отмечены в 41% всех проб источников нецентрализованного водоснабжения в Брестской области, при среднереспубликанском уровне 24,5%.

Присутствие в воде, используемой для питьевого водоснабжения, минеральных азотсодержащих соединений (аммоний, нитраты, нитриты) приводит к заболеванию водороднитратной метгемоглобинемией и развитию различных степеней кислородного голодания организма.

Азотсодержащие вещества попадают в грунтовые воды из различных источников, естественных или антропогенных. Источники загрязнения могут быть локальными или носить площадной характер. Главными естественными источниками являются: почвенный азот, богатые азотом биологические отложения и атмосферные осадки. Основными источниками антропогенной деятельности, активно влияющими на состав грунтовых вод, являются азотные удобрения, дренажные воды септических бассейнов, животноводческие фермы, места сброса хозяйственных и промышленных сточных вод. Наблюдается прогрессивно ухудшающееся состояние подземных вод, в частности, загрязнение их нитратами и нитритами в концентрациях 2 – 3 ПДК, а иногда – в концентрациях, достигающих уровня 10 – 16 ПДК. Длительность протекания процессов загрязнения обусловила и значительную глубину его проникновения в горизонт грунтовых вод, а нередко и в более глубокие напорные водоносные горизонты. Наиболее интенсивное загрязнение охватывает толщу до 10-15 м, что весьма актуально для сельской местности и приусадебных участков, но нередко и на глубинах 40-50 м фиксируются массовые концентрации нитратов, превышающие уровень предельно допустимой.

В технологии водоподготовки для удаления аммонийного азота, нитратов и нитритов из природной воды находят применение окислительные, сорбционные и ионообменные методы, кроме того электродиализ, обратный осмос и отдувка воздухом. В ситуации, когда существует необходимость удаления таких примесей, одним из подходов к решению проблемы является разделение всего объема потребляемой воды на питьевую воду и воду, используемую для гигиенических и хозяйственных нужд. Один из путей решения проблемы заключается в использовании установок малой и средней производительности для доочистки и кондиционирования природной воды с целью получения небольших объемов воды непосредственно для питья и приготовления пищи.

Для воды, содержащей относительно небольшое количество нитрат- и нитрит-ионов (в концентрациях до трех ПДК), могут эффективно использо-

ваться ионообменные фильтры. Загрузка таких фильтров зависит от характера извлекаемых ионов. Объектом исследований, исходя из гигиенических и органолептических соображений, стали сильноосновные аниониты.

На кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» разработана конструкция водозаборного шахтного колодца, который одновременно выполняет функции сооружения для очистки и накопления очищенной воды с использованием метода ионного обмена на сильноосновных анионитах (Пат. 11081 ВУ, МПК E03B3/08. Водозаборный шахтный колодец / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк, Н. С. Житенева – № u20150330; Заявл. 25.09.2015; Опубл. 15.03.2016 / Гос. реестр полезн. моделей).

1 НАЗНАЧЕНИЕ, СУЩНОСТЬ, КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Разработанная технология очистки подземных вод предусматривает получение воды питьевого качества методом ионного обмена для групповых и одиночных объектов систем водоснабжения коллективного и индивидуального пользования. Сущность предлагаемого метода очистки заключается в последовательном пропускании воды, содержащей нитраты, через слои фильтрующей загрузки, включая ионообменную, что позволяет снизить остаточное их содержание до требований СанПиН 10-124-РБ-99 «Питьевая вода».

1.2 С учетом принципов компоновки технологических схем, применяемых при обработке воды, а также специфических особенностей очистки воды, определяемых требованиями потребителей, процесс очистки от соединений азота будет включать в себя:

- осветление воды (предварительная механическая обработка: для исключения попадания мелких частиц в устройства последующей водоподготовки);
- кондиционирование воды (основная стадия: удаление нитратов; обезжелезивание – при необходимости);
- сорбцию и обеззараживание (заключительная стадия обработки воды – при необходимости).

1.3 В качестве ионообменных материалов исходя из гигиенических и органолептических соображений следует использовать сильноосновные аниониты следующих марок: «Purolite NRW-600(OH)», «Lewatit MonoPlus® SR 7», «AB-17-8чС».

Результаты исследований по определению обменной ёмкости ионитов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Обменная ёмкость ионитов по отношению к нитрат-ионам

Марка ионита	Обменная ёмкость ионитов по отношению к нитрат-ионам	
	Полная динамическая, мг-экв/дм ³	Полная статическая, мг-экв/дм ³
«Purolite NRW-600(OH)»	1050	1500
«AB-17-8чС»	840	1200
«Lewatit MonoPlus® SR 7»	910	1344

1.4 Для технического исполнения процесса обработки подземных вод, содержащих соединения азота и железа, с использованием процесса ионного обмена необходимо построить новые или реконструировать существующие сооружения обезжелезивания в соответствии с технологическими схемами, представленными на рисунках 1÷3.

1.5 Для групповой системы питьевого водоснабжения исходная вода при помощи погружного скважинного насоса подается из источника водоснабжения на станцию водоподготовки, где последовательно проходит две ступени очистки на скорых напорных фильтрах (рисунок 1): 1-я ступень – обезжелезивание предварительно насыщенной кислородом воды; 2-я ступень – ионообменная очистка с использованием ионообменных материалов. После сооружений 1-й ступени физико-химической очистки вода разделяется на два потока: 1) собирается в накопительную емкость на бытовые (гигиенические и хозяйственные) и технические нужды и далее подается потребителю; 2) направляется на последующие сооружения 2-й ступени очистки и доочистки. Вода второго потока проходит ионообменную очистку, обеззараживание с последующим сбором в накопительной емкости и подачей потребителю. Технологическая схема предусматривает блок реагентного хозяйства для регенерации ионообменного фильтра раствором кальцинированной соды или едкого натра.

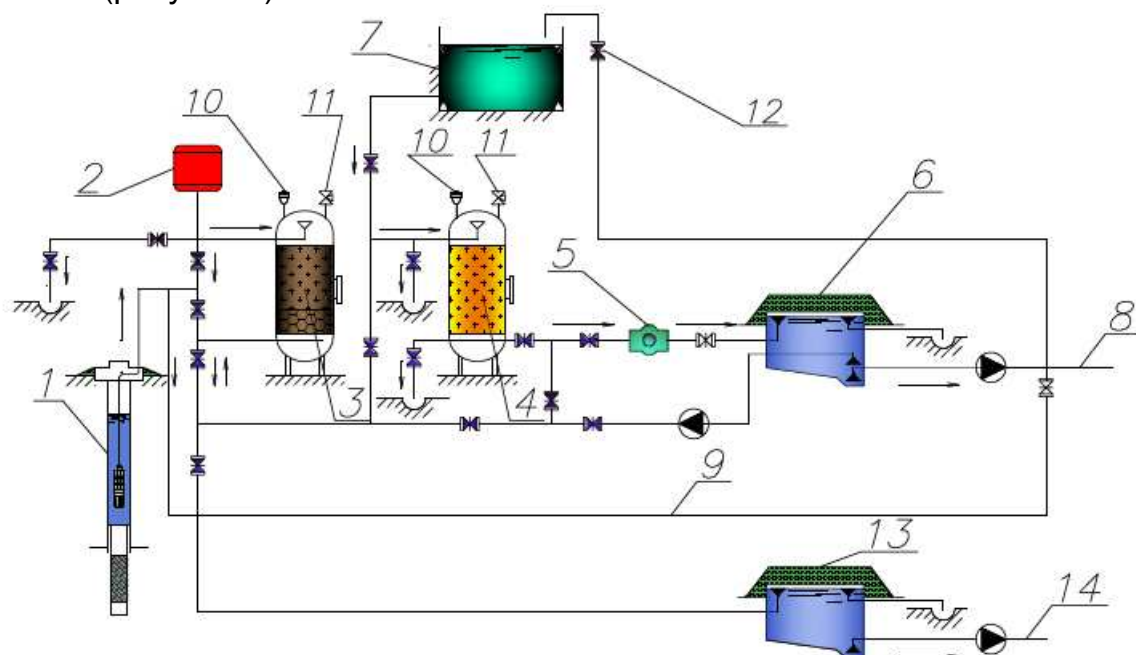
1.6 В результате проведенных научных исследований установлено: наименьшее влияние на эффект удаления нитратов оказывает параметр температуры t воды, подаваемая потребителю вода может иметь температуру первоисточника; более сильное влияние оказывает скорость фильтрации V_{ϕ} обрабатываемой жидкости; основным параметром, оказывающим влияние на эффект удаления нитратов, является величина отношения высоты фильтрационной колонки к ее диаметру H/d . При расчете ионитового фильтра следует учитывать оптимальные параметры работы ионообменной установки (таблица 2).

Таблица 2 – Оптимальные параметры работы ионообменной колонки при использовании различных типов анионитов

Марка ионита	Скорость фильтрации, V_{ϕ} м/ч	Отношение высоты колонки к ее диаметру H/d
«Purolite NRW-600(OH)»	14	5,6
«AB-17-84С»	12	4,4
«Lewatit MonoPlus® SR 7»	13	4,8

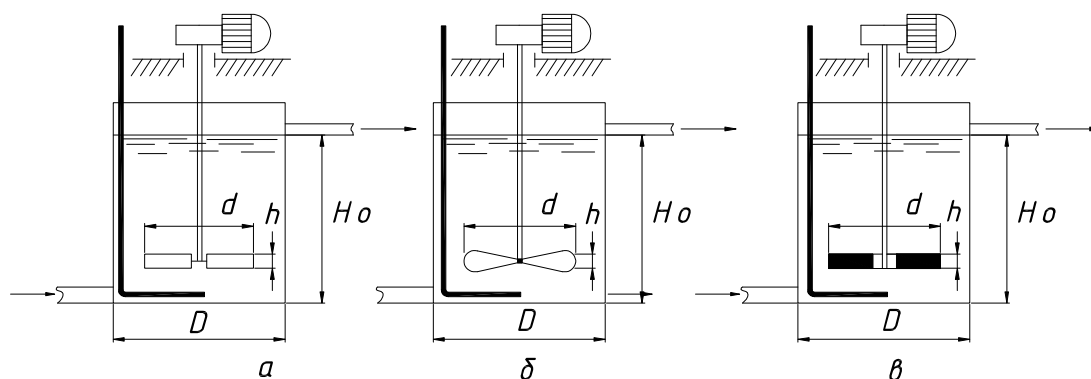
1.7 Концентрации щелочного раствора для регенерации анионита следует принимать – 4 % для $NaOH$, 6 % для Na_2CO_3 . На станциях водоподготовки целесообразно для повышения эффективности регенерации анионита использовать способ ступенчатой регенерации и отмывки: чередование быстрого заполнения фильтра регенерационным раствором (в процессе регенерации) или водой (в процессе отмывки) и выдержка ионита в неподвижном водном растворе в течение 5 ÷ 8 минут.

1.8 Приготовление регенерационных растворов реагентов можно осуществлять в растворно-расходных баках при помощи механических смесительных устройств (рисунок 2).



1 – источник водоснабжения (водозаборная скважина); 2 – компрессор;
 3 – первая ступень водоподготовки (обезжелезивание); 4 – вторая ступень водоподготовки (удаление нитратов); 5 – обеззараживание (УФ установка);
 6 – резервуар для сбора очищенной воды на питьевые нужды;
 7 – бак регенерационного раствора; 8 – трубопровод подачи воды потребителю на питьевые нужды; 9 – противопожарный трубопровод; 10 – вантуз;
 11 – предохранительный клапан; 12 – задвижки; 13 – резервуар для сбора обезжелезенной воды на хозяйственные и технические нужды; 14 – трубопровод подачи воды потребителю на хозяйственные и технические нужды

Рисунок 1 – Технологическая схема обезжелезивания подземной воды и удаления нитратов для нецентрализованной системы питьевого водоснабжения



а – с лопастной мешалкой, б – с пропеллерной мешалкой,
 в – с турбинной мешалкой

Рисунок 2 – Принципиальные схемы растворно-расходных баков, оборудованных мешалками

1.9 В качестве баков для приготовления регенерационных щелочных растворов следует использовать безнапорные емкости для агрессивных жидкостей, выполненные из полимерных материалов, серийно выпускаемые промышленностью.

1.10 Для системы водоснабжения индивидуального пользования с использованием в качестве источника воды шахтного колодца исходная вода забирается насосной станцией с пневмобаком и подается для потребления (рисунок 3). После забора воды первый поток на гигиенические и хозяйственные нужды возможно использовать без предварительной очистки, поскольку вода в шахтных колодцах в большинстве случаев не содержит примеси железа в концентрациях выше ПДК. Второй поток для получения воды питьевого качества проходит трехступенчатую очистку: ионообменную очистку с использованием сильноосновных ионообменных материалов, сорбционную очистку с использованием адсорбционных углей АУ, обеззараживание ультрафиолетовой лампой. Для упрощенного контроля предлагается использовать счетчик воды, с помощью которого осуществляется измерение объема воды, прошедшей ионообменную очистку, который не должен превышать ресурс фильтра.

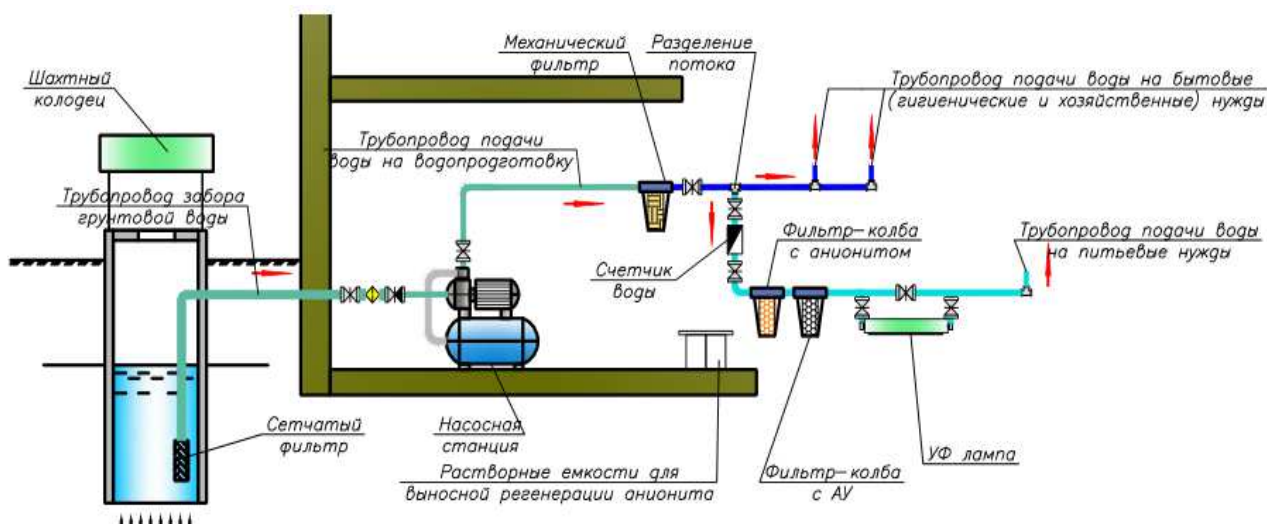


Рисунок 3 – Технологическая схема водоподготовки грунтовых вод, содержащих нитраты в концентрациях выше ПДК, для индивидуальной системы питьевого водоснабжения

1.11 При использовании в качестве водозаборного сооружения системы индивидуального водоснабжения неглубоких скважин в воде наряду с примесями в виде азотистых соединений могут присутствовать примеси в виде соединений железа. Исходная вода забирается насосной станцией с пневмобаком и подается на очистку (рисунок 4). Вода проходит первую ступень очистки – обезжелезивание предварительно насыщенной кислородом воды, после чего разделяется на два потока: 1) подается на бытовые (гигиенические и хозяйственные) нужды потребителю; 2) направляется на последующую очистку. Вода второго потока проходит ионообменную очистку с использованием высокоосновных ионообменных материалов, сорбционную очистку на углях АУ, обеззараживание ультрафиолетовой лампой. Далее вода второго потока поступает потребителю на питьевые нужды. Технологическая схема может предусматривать использование сменных картриджей или баллонных фильтров глуп-

бокой очистки с блоком реагентного хозяйства для регенерации ионообменного фильтра раствором кальцинированной соды (рисунок 5).

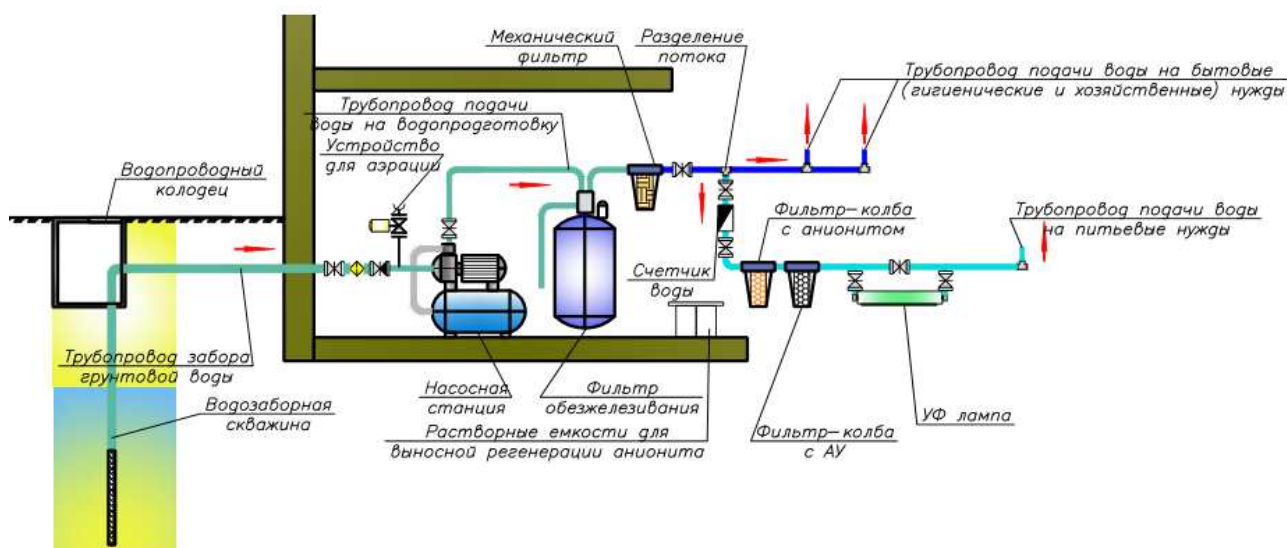
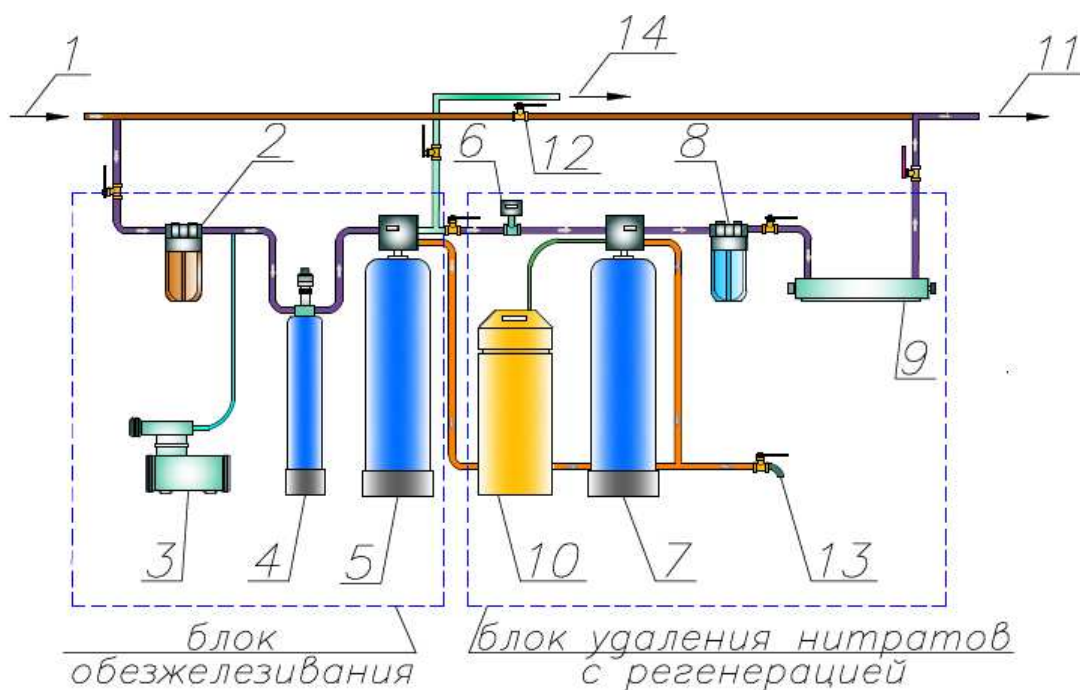


Рисунок 4 – Технологическая схема водоподготовки грунтовых вод, содержащих нитраты и соединения железа (II) в концентрациях выше ПДК, для индивидуальной системы питьевого водоснабжения



- 1 – трубопровод подачи воды из источника водоснабжения; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – компрессор; 4 – аэрационная колонна; 5 – первая ступень очистки (фильтр обезжелезивания); 6 – датчик; 7 – вторая ступень очистки (фильтр ионообменный); 8 – сорбционный фильтр тонкой очистки; 9 – обеззараживание (ультрафиолетовая лампа); 10 – бак регенерационного раствора соды; 11 – трубопровод подачи воды потребителю на питьевые нужды; 12 – байпас; 13 – кран для слива промывной воды; 14 – трубопровод подачи воды потребителю на хозяйственные нужды

Рисунок 5 – Блок технологической схемы очистки подземной воды от железа (II) и нитратов для системы водоснабжения индивидуального пользования

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИОНООБМЕННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ НИТРАТОВ

2.1 Определение ресурса ионообменного фильтра для удаления из воды нитратов

Исходные данные к расчету:

1) полная статическая обменная емкость анионита по нитрат-ионам, определяемая экспериментально, A_0 (экв/м³), либо принимается по рекомендациям (п. 1.3.);

2) доля полной статической обменной емкости анионита, затрачиваемая на сорбцию нитратов, – относительная полная динамическая обменная емкость анионита по нитратам, ε , – определяется экспериментально в процессе нахождения A_0 , либо рассчитывается с учетом содержания сульфатов в исходной воде;

3) объем ионита, m (м³);

4) скорость фильтрации, V (м/с); устанавливается согласно рекомендациям (п.1.6.);

5) содержание сульфатов в исходной воде, S_0 (экв/м³);

6) содержание нитратов в исходной воде, C_0 (экв/м³);

7) требуемый уровень содержания нитратов в питьевой воде, C (экв/м³), принимается равным гигиеническому нормативу – 45 мг/л (0,72 мг-экв/л);

8) кинетическая константа уравнения необратимой кинетики второго порядка k , принимаемая $k = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Расчет ресурса ионообменного фильтра для удаления из воды нитратов ведется в следующей последовательности.

2.1.1 Общая емкость заданного объема анионита (A)

$$A = A_0 \cdot m \quad . \quad (1)$$

2.1.2 Относительная полная динамическая обменная емкость анионита по нитратам (ε), учитывающая влияние анионного состава воды на процесс очистки; может быть рассчитана в следующей последовательности:

– обменная емкость анионита, затрачиваемая на сорбцию сульфатов,

$$S = S_0 \cdot W \quad ; \quad (2)$$

– обменная емкость анионита, оставшаяся на сорбцию нитратов

$$N = A - S = A_0 \cdot m - S_0 \cdot W \quad ; \quad (3)$$

– обменная емкость анионита, затрачиваемая на сорбцию нитратов

$$N_a = C_0 \cdot W \quad ; \quad (4)$$

– доля полной статической обменной емкости анионита, затрачиваемая на сорбцию нитратов,

$$\varepsilon = \frac{N_a}{N} = \frac{C_0 \cdot W}{A_0 \cdot m - S_0 \cdot W} \quad , \quad (5)$$

откуда равноценно

$$W = \frac{\varepsilon \cdot A_0 \cdot m}{C_0 + \varepsilon \cdot S_0} \quad (6)$$

2.1.3 Полная динамическая обменная емкость анионита по нитратам

$$a_0 = \frac{N_a}{m} = \frac{C_0 \cdot W}{m} = \frac{\varepsilon \cdot A_0 \cdot C_0}{C_0 + \varepsilon \cdot S_0} \quad (7)$$

2.1.4 Относительная величина концентрации растворов

$$\sigma = \frac{C}{C_0} \quad (8)$$

2.1.5 Ресурс ионообменного фильтра для сорбции из воды нитратов

$$W = \frac{a_0}{C_0} \cdot m + \frac{V}{k \cdot C_0} \cdot \ln \frac{\sigma}{1 - \sigma} \quad (9)$$

2.2 Определение объема ионита для ионообменного фильтра, устраняющего из воды нитраты, способного обеспечить требуемый ресурс

Исходные данные к расчету:

- 1) ресурс ионообменного фильтра W ;
- 2) полная статическая обменная емкость анионита по нитрат-ионам, определяемая экспериментально, A_0 (экв/м³), либо принимается по рекомендациям (п. 1.3.);
- 3) доля полной статической обменной емкости анионита, затрачиваемая на сорбцию нитратов, – относительная полная динамическая обменная емкость анионита по нитратам, ε , – определяется экспериментально в процессе нахождения, A_0 , либо рассчитывается с учетом содержания сульфатов в исходной воде;
- 4) скорость фильтрации, V (м/с); устанавливается согласно рекомендациям (п. 1.6.);
- 5) содержание сульфатов в исходной воде, S_0 (экв/м³);
- 6) содержание нитратов в исходной воде, C_0 (экв/м³);
- 7) требуемый уровень содержания нитратов в питьевой воде, C (экв/м³), принимается равным гигиеническому нормативу – 45 мг/л (0,72 мг-экв/л);
- 8) кинетическая константа уравнения необратимой кинетики второго порядка k , принимаемая $k = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Объем ионита следует рассчитывать по формуле:

$$m = \frac{C_0}{a_0} \cdot \left(W - \frac{V}{k \cdot C_0} \cdot \ln \frac{\sigma}{1 - \sigma} \right) \quad (10)$$

2.3 Пример расчета ресурса ионообменного фильтра в системе питьевого водоснабжения

Исходные данные:

- константа скорости необратимой реакции второго порядка $k = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$;
- относительная величина обменной емкости анионита, затраченной на сорбцию нитратов $\varepsilon = 0,70$;
- содержание сульфатов $S_0 = 0,63 \text{ мг-экв/л}$, или 30 мг/л;
- содержание нитратов $C_0 = 1,61 \text{ мг-экв/л}$, или 100 мг/л;
- ПДК по нитратам $C = 0,72 \text{ мг-экв/л}$, или 45 мг/л;
- объем анионита $m = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ или 2 л;
- полная статическая обменная емкость анионита («Purolite NRW-600(OH)» сильноосновный) $A_0 = 1500 \text{ мг-экв/л}$;
- скорость фильтрации $V = 14 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ (в индивидуальной системе питьевого водоснабжения при рекомендуемой скорости пропусса расхода 3 л/мин).

Расчет:

$$1. a_0 = \frac{\varepsilon \cdot A_0 \cdot C_0}{C_0 + \varepsilon \cdot S_0} = \frac{0,7 \cdot 1500 \cdot 1,61}{1,61 + 0,7 \cdot 0,63} = \frac{1690,5}{2,051} = 824 \frac{\text{ЭКВ}}{\text{м}^3}$$

$$2. \frac{a_0}{C_0} \cdot m = \frac{824}{1,61} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1024 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$3. k \cdot C_0 = 0,7 \cdot 10^{-2} \cdot 1,61 = 11 \cdot 10^{-3} \text{ м/ЭКВ} \cdot \text{с}$$

$$4. \frac{V}{k \cdot C_0} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{11 \cdot 10^{-3}} = 1,27 \text{ м}^3$$

$$5. \sigma = \frac{C}{C_0} = \frac{0,72}{1,61} = 0,447$$

$$6. \ln \frac{\sigma}{1 - \sigma} = \ln \frac{0,447}{1 - 0,447} = -0,213$$

Откуда

$$W = \frac{a_0}{C_0} \cdot m + \frac{V}{k \cdot C_0} \cdot \ln \frac{\sigma}{1 - \sigma} = 1024 \cdot 10^{-3} + 1,27 \cdot (-0,213) \\ = 753 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ или } 753 \text{ л.}$$

Таким образом, при уровне загрязнения воды нитратами 2 ПДК и с потреблением питьевой воды в размере 2,5 л/сут. на человека объем анионита 2 л позволит обеспечить кондиционной питьевой водой семью из четырех человек в течение: $P = 753 / (2,5 \cdot 4) = 75$ суток.

Список используемых источников

1. Житенев, Б. Н. Исследование и оптимизация процессов регенерации ионообменных материалов, участвующих в процессе очистки вод от соединений азота / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Вестник БГТУ. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 21–25.
2. Андreyuk, С. В. Технологические схемы и аппаратное оформление процессов ионообменной очистки подземных вод от азотистых соединений / С. В. Андreyuk, Г. А. Волкова, Н. Ю. Сторожук // Вестник БГТУ. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 40–42.
3. Житенев, Б. Н. Снижение массовой концентрации нитратов в воде шахтных колодцев для водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Вестник БГТУ. – 2016. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 62–65.
4. Андreyuk, С. В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С. В. Андreyuk // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г.: в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. II. – С. 159–163.
5. Житенев, Б. Н. Технологические решения подготовки воды, с примесями соединений азота и железа, для питьевого водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Вестник БГТУ. – 2017. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 95–98.
6. Андreyuk, С. В. Экономическая эффективность технологии удаления нитратов в индивидуальных системах питьевого водоснабжения / С. В. Андreyuk, Б. Н. Житенев, О. П. Белоглазова // Вестник БГТУ. – 2018. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 126–131.
7. Житенев, Б. Н. Технологические схемы водоподготовки для удаления нитратов на ионообменных смолах в децентрализованных системах питьевого водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Производственно-технический и научно-практический журнал «Вода Magazine». – 2018/5(129) – Москва: ООО «Издательский дом «Экомедиа»». – С. 40–43.
8. Водозаборный шахтный колодец: патент 11081 ВУ, МПК E03B3/08 / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk, Н. С. Житенева; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № u20150330; заявл. 25.09.2015; опубл. 15.03.2016 / Гос. реестр полезн. моделей.

Учебное издание

Составители:

Андреюк Светлана Васильевна

Житенев Борис Николаевич

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию и расчету сооружений очистки воды
от нитратов методом ионного обмена для питьевых целей

Ответственный за выпуск: Андреюк С.В.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 11.02.2019 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. л. 1,0. Заказ № 161. Тираж экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.