

ЗНАЧЕНИЕ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ В РЕГУЛИРОВАНИИ ОБМЕНА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ

В статье представлены результаты исследований направленных на разработку и совершенствование способов подготовки воды, которая может быть использована в технологиях получения продуктов с заранее заданными свойствами. Для безреагентной очистки воды предложено и обосновано использование ультразвуковой кавитации совместно с замораживанием и размораживанием воды, что позволяет регулировать содержание органических и минеральных примесей в ней.

Ключевые слова: питьевая вода, состав воды, очистка воды.

Важную роль в регулировании обменных процессов организма животных играют минеральные вещества и микроэлементы. Они входят в состав всех тканей тела. Недостаток, как и превышение или неправильное соотношение этих элементов в сочетании с недостатком витаминов может вызвать патологические изменения и нарушения здоровья и развития животных.

В корме для животных вода используется для доведения его до необходимой консистенции, способствующей усвоению корма в их организме, и от ее качества зависит и качество животноводческой продукции. Внешне благополучная вода может содержать большой набор растворенных и нерастворенных примесей, в результате чего при разведении ею комбикормов, животные получают гораздо больше минеральных и других веществ, чем это предусмотрено нормами [1,2].

По данным Всемирной организации Здравоохранения, 80% заболеваний напрямую или косвенно зависят от качества употребляемой питьевой воды. Вода составляет большую часть тела животного и содержит питательные вещества при кормлении.

Длительное время считали, что вода – это индивидуальное соединение, описываемое единственно возможной формулой H_2O . Однако было установлено, что кроме обычной воды в природе существует еще и тяжелая вода. В молекулах такой воды место водорода занимает его тяжелый изотоп дейтерий. Она на 10% плотнее обычной, ее вязкость выше на 23%, она кипит при 101,42°C, а замерзает при +3,8°C.

Открытия последних лет показали, что тяжелая вода, являясь повсеместной примесью природных вод, играет немаловажную роль в биологических процессах. Систематическое изу-

чение ее воздействия на животных и растения начато сравнительно недавно. Различные исследователи независимо друг от друга установили, что тяжелая вода действует отрицательно на жизненные функции организмов; это происходит даже при использовании обычной природной воды с повышенным содержанием тяжелой воды.

Под качеством воды понимают содержание минералов, прежде всего, сульфатов. Если концентрация превышает 3000 мг на 1 кг, то это может вызвать болезненные расстройства в организме. Нитраты в организме животного переходят в нитриты. В этом случае они становятся токсичными для животных. Допустимая концентрация нитритов – 100 мг на 1 кг, при превышении которой изменяется структура гемоглобина крови свиньи, и он перестает разносить кислород. Если уровень нитритов действительно высокий, кровь приобретает темный цвет. Высокий уровень содержания нитратов и нитритов мешает животным усваивать витамин А и может быть причиной высоких показателей мертворождения.

Общее количество растворимых твердых веществ влияет на минерализацию или соленость воды. Большое содержание хлорида натрия (соли) может негативно сказаться на продуктивности, а сульфат натрия имеет слабительные и слабораздражающие свойства.

Насыщение воды железом свыше 5 мг на 1 кг, приводит к необходимости ограничивать в рационе животного дополнительное железо, т. к. оно связано с усвоением других микроэлементов, таких как Ca, Mg, Cu, Zn. Большое количество сульфатов в соединении с магнием и натрием может вызвать диарею.

Комбикорма, как правило, уже содержат многие микроэлементы в необходимом количе-

стве, поэтому для получения здорового потомства, экологически чистого мяса, необходимо воду для потребления животных подвергать очистке.

Обычно считают, что достаточно очистить воду от песка, мути и прочих взвесей и тем самым получить «нормальную воду», пригодную для потребления. Однако очищенная таким образом вода может содержать большой набор растворенных и нерастворенных примесей, что пользоваться ею подчас небезопасно [2].

В воде появляются новые, опасные для живого организма химические соединения, которые не существовали полвека назад. Поэтому однозначно судить о качестве воды можно только после полного ее химического анализа. В настоящее время в России требования к качеству питьевой воды изложены в действующем ГОСТе Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест», но нормативно-методическая база действующего ГОСТа уже не соответствует современным требованиям, предъявляемым к контролю качества питьевой воды. Например, «Руководство по качеству питьевой воды», изданное Всемирной организацией здравоохранения в 1993 году, предполагает контроль более чем по 100 показателям.

В соответствии с требованиями ГОСТа вода, используемая в различных технологических процессах, должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, химически безвредной и иметь благоприятные органолептические свойства. Ее состав должен соответствовать следующим показателям: сухой остаток, мг/л – не более 1000, общая жесткость, мг-экв/л – не более 7,0, содержание, мг/л: свинца – более 0,1, мышьяка – 0,05, фтора – 1,5, цинка – 5,0, меди – 3,0, бериллия – 0,0002, селена – не более 0,05, общее количество бактерий при посеве 1 мл: неразбавленной воды, определяемое после 24 ч выращивания при $t=37^{\circ}\text{C}$ – не более 100, коли-титр – не более 300, коли-индекс – не более 3.

Наиболее широко распространенные в мире методы очистки питьевой воды и отработанных водных растворов основаны на моделировании природных процессов – фильтрации, сорбции, ионного обмена. Однако установки, в которых реализованы указанные процессы, нуждаются в регенерации и периодической замене основного рабочего элемента: фильтров, сорбентов, ионообменных смол.

Комбинированные способы очистки воды дают наилучший результат, поскольку позволяют удалять примеси разного характера. Именно по этой причине целью наших исследований явилась разработка комбинированного способа очистки воды, включающего обработку ультразвуковой кавитацией, замораживание и оттаивание, причем замораживание сначала проводят до перехода части воды в твердую фазу, которую удаляют, а оставшуюся часть воды замораживают, подвергая ультразвуковой кавитации до полного перехода в твердую фазу, после чего центральную часть воды удаляют.

Материалы и методы

Общие подходы в области методики эксперимента и некоторые локальные исследования проводились ранее на модельных смесях при различных режимах очистки. Выработанная целесообразная последовательность действий была использована и в данной работе при постановке и проведении экспериментальных исследований.

Для измерения мощности, расходуемой на очистку воды, применяли ваттметр Д 539, по ГОСТ 8476-60 с нагрузочным трансформатором тока УТТ-5М, по ГОСТ 51974-73, напряжение тока измеряли вольтметром «Универсальный», по ГОСТ 6456-81, силу тока – амперметром АМ -352, по ГОСТ 3562-65. Контроль температуры воды в ходе испытаний осуществлялся ртутным термометром типа ТТМ (ТУ 25-2021.010-96).

Взвешивание исходных компонентов и анализируемых образцов проводилось на лабораторных рычажных весах ВЛА-200 (ГОСТ 19491-74).

Время отбора проб, длительность протекания процессов фиксировалось механическим секундомером (ГОСТ 5072-72).

Для проведения эксперимента в лабораторных условиях была использована лабораторная установка циклического действия, у которой для первоначального пуска и получения очищенной воды требуется определенное количество времени и некоторое количество дистиллированной и исследуемой воды.

После достижения устойчивого и равномерного выхода очищенной воды из установки при фиксированных заданных значениях силы и напряжения электрического тока производили

отбор очищенной воды за определенный промежуток времени (60 с), при этом определяли содержание

сухого остатка, кислотность, содержание общего и аминного азота, БПК_{полн}, ХПК, количество золы, скорость прохождения воды.

Приведенную выше последовательность операций повторяли при различных режимах:

– включенном и отключенном электрическом токе;

– при разной напряженности электрического поля в пределах $E = 0...100$ В/см (скорость потока воды составляла $x = 400$ мл/мин, $t=28$ °С);

– при различной скорости протока x воды через загрузку 100...1000 мл/мин ($E=30$ В/см, $t=28$ °С); Удаление поверхностной и внутренней замерзшей воды в количестве 4, 4,5, 5 (% масс.)

Регенерацию фильтрующего элемента производили в следующей последовательности:

1) прекращали подачу воды в рабочую камеру устройства;

2) отключали источник питания;

3) подключали к источнику питания излучатель кавитационного тока;

4) производили обработку загрязняющих веществ, задержанных на фильтрующем элементе, кавитационным полем;

5) производили промывку фильтрующего элемента дистиллированной водой.

Результаты и их обсуждение

При использовании ультразвуковой кавитации в воде в местах неоднородности среды происходят разрывы сплошности потока с образованием парогазовых пузырьков – короткоживущие парогазовые каверны. Скорость их схлопывания очень высока и в микроокрестностях этих точек возникают экстремальные параметры: высокая температура и, прежде всего, высокое давление. В качестве неоднородностей жидкой среды при этом выступают споры бактерий и грибов, различные минеральные примеси которые при кавитационном взрыве (имплозии) оказываются в центре схлопывания. В результате вблизи точек схлопывания полностью уничтожается патогенная микрофлора, даже такие споры грибов, как *Aspergillus niger*, которые вообще не уничтожаются ни ультрафиолетом, ни озоном.

Кроме этого, использование кавитации способствует перемещению примесей с более низкой температурой замерзания, чем чистой воды, в центральную часть объема. Поэтому удаление замороженной воды из центральной части обеспечивает удаление вместе с ней и всех вредных примесей.

Необходимо сказать, что энергия кавитационного пузырька аккумулируется в форме кинетической энергии движущейся жидкости, которая заполняет пузырек:

$$E = \int_{R_k}^{R_0} \frac{1}{2} V^2 m dR = \int_{R_k}^{R_0} \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \right)^2 \rho \cdot 4\pi R^2 dR = \frac{\rho \cdot Q^2}{8\pi} \left(\frac{1}{R_k} - \frac{1}{R_0} \right)$$

где V – скорость движения стенки пузырька;

m – масса движущейся жидкости;

R_0 – начальный радиус сферы жидкости, которая участвует в движении при схлопывании пузырька;

R_k – радиус пузырька в конечной стадии схлопывания;

ρ – плотность жидкости;

Q – количество жидкости, втекающей в пузырек за единицу времени.

Данное уравнение можно применить, установив конечные границы интегрирования, которые в динамике устанавливаются исходя из того, что сигнал движения передается со скоростью звука, поэтому верхняя граница не может превысить величину длины звуковой волны.

Нижняя граница должна соответствовать размеру того объекта, на который направлено воздействие кавитации, т. е. размеру радиуса пузырька [3, 4, 5].

На кафедре пищевой биотехнологии совместно с Институтом биоэлементологии Оренбургского государственного университета разработан способ очистки воды (патент РФ №2282596), который включает в себя замораживание и оттаивание воды, причем замораживание сначала проводят до перехода 4-5% (масс.) воды в твердую фазу, которую удаляют, а оставшуюся часть воды замораживают, подвергая ультразвуковой кавитации, до полного перехода в твердую фазу. Затем центральную часть воды удаляют в количестве 4-5% (масс.).

Удалять менее 8% (масс.) воды с примесями, мы не сможем получить воду необходимого качества, а более 10% (масс.) экономически не выгодно, т. к. целью не является получение абсолютно чистой воды.

Для осуществления способа воду, предназначенную для очистки, помещают в рабочую камеру, и с помощью хладагента температуру воды понижают. Когда на поверхности воды образуется корка льда в количестве 4-5% (масс.), содержащая примеси с температурой заморозки выше, чем у чистой воды, ее удаляют, после чего включают источники кавитационного поля. Исходящие ультразвуковые волны, под действием сил поверхностного натяжения создают разрывы, принимающие форму пузырьков. В момент захлопывания кавитационного пузырька возникает мощная гидравлическая ударная волна, которая оказывает разрушительное действие на органические соединения и микроорганизмы. Под действием кавитации происходит разрыв оболочки микробной клетки и разрушение ее структуры, а также полная гибель патогенной флоры. При этом возникновение экстремальных параметров, т. е. повышение температуры и давление, позволяет концентрировать примеси в центре камеры.

Техническим результатом разработанного устройства для очистки воды является повышение степени очистки воды, а также повышение срока службы, времени регенерации фильтрующего материала.

Указанный результат достигается тем, что устройство для очистки воды, включающее корпус из диэлектрического материала, разделенный мембранами на две электродные камеры, источник кавитационного поля и рабочую камеру, содержит второй корпус с внешним холодильником, расположенный соосно под первым корпусом и соединенный с ним патрубком, а в рабочей камере установлены источник кавитационного поля и система фильтрующих полиамидных стержней с возможностью встраивания.

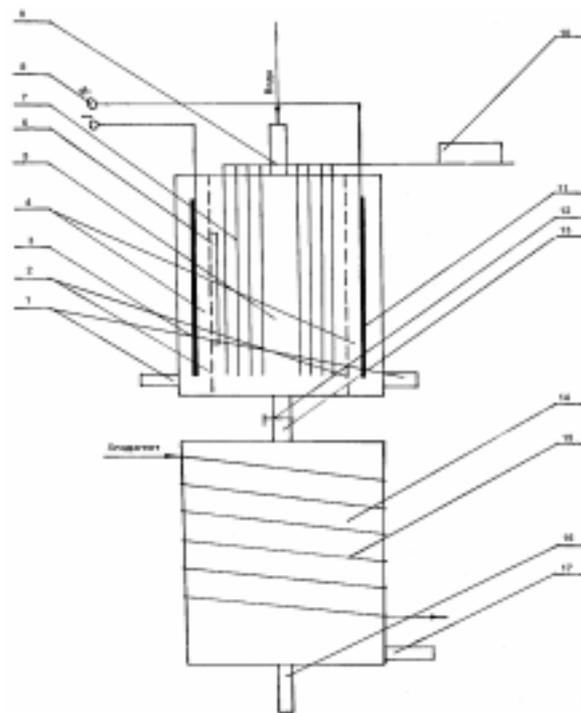
На рисунке 1 показана схема предлагаемого устройства для очистки и подготовки воды.

Устройство для очистки воды работает следующим образом.

Перед началом работы установки для очистки воды электродные камеры 7, заполняют водопроводной водой через входные патрубки

1. Затем воду направляют в рабочую камеру 12 через входной патрубок 7. После заполнения рабочей камеры 12 на электроды 3 посредством блока питания 5 подают электрический ток, под воздействием которого происходит поляризация фильтрующего материала системы полиамидных стержней 10, вследствие чего повышается их адсорбционная емкость. Под воздействием электрического поля происходит иммобилизация коллоидных и биологических систем и адсорбция их на стержнях, таким образом, обеспечивается глубокая очистка воды, содержащей большое количество органических веществ. Очищенная вода направляется в патрубок 14 для перелива во вторую емкость для дальнейшей доочистки.

При длительной работе устройства для очистки воды на фильтрующем материале системы полиамидных стержней 10 удерживается настолько большое количество загрязнений, что



- 1 – корпус, выполненный из диэлектрического материала, 2-патрубки для подвода воды,
- 3 – патрубки для подвода и отвода электролита,
- 4 – электроды, 5 – блок питания, 6 – мембраны,
- 7 – электродные камеры, 8 – рабочие камеры,
- 9 – источник кавитационного поля, 10 – система фильтрующих полиамидных стержней,
- 11 – виброустройство, 12 – корпус из пищевого алюминия, 13 – внешний холодильник,
- 14, 17, 18 – патрубки, 15 – затвор

Рисунок 1 Схема устройства для очистки воды

Таблица 1 Физико-химические показатели воды

Показатели	Единицы измерения	Показатели качества воды			
		исходной	при удалении внутренней части замерзшей воды в количестве, (% масс.)		
			4	4,5	5
Силикаты (по Si)	мг/л	14,0	10,0	9,0	10,0
Нитраты (по NO)	-"-	26,0	20,0	5,0	8,0
Железо (Fe, суммарно)	-"-	0,38	0,30	0,28	0,29
Медь (Cu, суммарно)	-"-	1,4	1,00	0,90	0,95
Натрий (Na ⁺)	-"-	280	200	20	24
Селен (Se, суммарно)	-"-	0,026	0,0100	0,0090	0,0100
Свинец (Pb, суммарно)	-"-	0,012	0,010	0,005	0,010
Цинк (Zn ²⁺)	-"-	8	5	3	4
Бор (В, суммарно)	мг/л	0,61	0,50	0,30	0,40
Мышьяк (As, суммарно)	-"-	0,019	0,010	0,006	0,007
КМАиФ АнМ	КОЕ/100см ³	22	5	отсутствуют	отсутствуют
дрожжи и плесени	КОЕ/100см ³	18	2	отсутствуют	отсутствуют

они превращаются в пастообразную массу, что приводит к увеличению гидравлического сопротивления системы и препятствует протеканию очищаемой воды. При отключении блока питания 5 подача электрического тока на электроды прекращается, загрязнения освобождаются и потоком воды вымываются в виде густой массы через патрубок 10. Иммуобилизованные клетки не могут самостоятельно преодолеть естественные преграды фильтрующего материала, поэтому для разрушения этих комплексов производится обработка их кавитационным полем. В момент включения источника кавитационного поля 5 исходящие ультразвуковые волны, проходящие через загрязняющие вещества, задержанные на системе фильтрующих полиамидных стержней 10, под воздействием сил поверхностного натяжения создают разрывы, принимающую форму пузырьков. В момент захлопывания кавитационного пузырька возникает мощная гидравлическая ударная волна, которая оказывает разрушительное действие на органические соединения и микроорганизмы тем самым сокращается время регенерации фильтрующих полиамидных стержней 10 и происходит обезвреживание полученного концентрата загрязняющих веществ.

После очистки в корпусе 1 вода перетекает в корпус 12 при помощи патрубка 14, скорость и объем наполнения, которого регулируют водяным затвором 15. Когда корпус 12 заполняется на 4/5 общего объема, то водяной затвор 15 закрывают, и подача воды прекращается, причем в этот момент подача очищаемой воды в корпус 1 также прекращается. При помощи хладагента, протекающего по внешнему холодильни-

ку 13 происходит замораживание воды до перехода ее в твердую фазу в количестве 8-10% (масс.), т. к. примеси имеют более низкую температуру заморзания, чем чистая вода и удаление замороженной воды обеспечивает удаление вместе с ней всех вредных примесей. После этого замораживание прекращают и не замороженную воду сливают через патрубок 17. Затем оставшуюся воду размораживают и через патрубок 16 удаляют.

Анализ результатов экспериментов позволил определить оптимальные режимы очистки воды: напряженность электрического поля должна быть равна 40 ± 5 В/см, частота ультразвука не менее 44 ± 2 кГц, скорость протока для устройства объемом 1 дм³ не должна превышать 128 ± 5 мл в минуту. При выполнении данных условий получаемая очищенная вода соответствует нормативу «очищенной».

Физико-химические и микробиологические показатели полученных образцов определяли в соответствии с известными методиками. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Разработанный нами способ очистки воды позволяет регулировать содержание макро- и микроэлементов элементов, содержание различных микроорганизмов в воде, которая может быть использована для производства различных кормовых продуктов с заранее заданными свойствами, при этом, используя полезные свойства отдельных компонентов, добиваться лучшей сбалансированности питательных веществ в готовом продукте.

Перспективы использования водоподготовки в рамках разработанного способа таковы, что в зависимости от фракционного состава

и технических возможностей производства, возможно прекратить очистку воды на любом из этапов, поскольку исследованиями доказано, что в результате полной очистки получаем воду высшей категории.

Таким образом, разнообразие форм, видов и фракционного состава воды, вводимые в биологические объекты, приводит к разнообразию осо-

бенностей ее энергетических эффектов, которые необходимо учитывать в различных технологических процессах переработки сельскохозяйственного сырья, поэтому очистка воды для доведения корма до определенной консистенции является необходимым условием сохранения баланса питательных элементов в кормосмеси и лучшего усвоения ее в организме животных.

20.04.2011

Список литературы:

1. Межуева Л.В., Каргашов Л.П., Иванова А.П. Методологические основы исследований процесса приготовления кормов // Техника в сельском хозяйстве. – №3. – Москва: 2005. – с.18-20.с.136-140
2. Иванова А.П., Межуева Л.В., Гунько В.В., Гетманова Н.В., Быков А.В. К вопросу о влиянии инженерной геометрии на прогнозирование результатов технологических процессов// Вестник. – 2010.-№5.-
3. Тыщенко В.М., Быков А.В. Разработка экологически чистой технологии переработки растительного сырья на основе ультразвуковой кавитации//Вестник. – 2010. – №12. – с.82-87.
4. Ozer B., Kirim B., Atamer M. Effect of hydrogen peroxide treatment on the quality of raw cream Jnt. J. Dairy technol– 2000, 53№3.– pp. 83-86.
5. Ultrasonic processing influences rheological and optical properties of hagh-methoxyl pectin dispersions. Seshadri R., Weiss G., Hulbert Gred G., Gohn M. Food Hydrocolloids. 2003. 17, 2, с 191-197.

Сведения об авторах:

Быков Артем Владимирович, доцент кафедры пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета

Межуева Лариса Владимировна, доцент кафедры пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук

Иванова Анастасия Петровна, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и
компьютерной графики Оренбургского государственного университета, доктор технических наук

Быкова Людмила Анатольевна, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности
Оренбургского государственного университета

Гетманова Наталья Валентиновна, аспирант, технический редактор журнала
«Вестник Оренбургского государственного университета»

460018 г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: artem19782@yandex.ru

UDC 636.085:532,528

Bykov A.V., Mezhueva L.V., Ivanova A.P., Bykova L.A., Getmanova N.V.

Orenburg State University, e-mail: artem19782@yandex.ru

MEANING OF REAGENTLESS WATER CLEANING AT THE REGULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS CHANGE IN ANIMALS' ORGANISM

The article presents the results of research aimed at developing and improving methods of water treatment, which can be used in the technologies of products with preset properties. For reagentless water treatment is proposed and justified the use of ultrasonic cavitation in conjunction with the freezing and thawing of water that allows you to adjust the content of organic and mineral impurities in it.

Key words: drinking water, composition of water, water cleaning.