

2. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

3. **Ленивкин, В. А.** Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюр-геров, Х. Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

4. **Кураш, В. В.** Влияние легирующих присадок из феррохрома на процесс электродуговой наплавки в среде углекислого газа / В. В. Кураш, В. В. Хроленок // Сварка и родственные технологии. – 1999. – № 2. – С. 111–114.

Поступила 25.10.2006

УДК 621.694.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ЭЖЕКТОРА

Докт. техн. наук, проф. ГРУДАНОВ В. Я., канд. техн. наук, доц. БРЕНЧ А. А., СЕКАЦКАЯ Ю. А.

Могилевский государственный университет продовольствия

Вода является неотъемлемым компонентом при производстве различных видов продукции и применяется практически во всех отраслях пищевой промышленности. Как известно, качество готовой продукции во многом зависит от качества сырья, из которого она изготовлена. Поэтому в данных типах производства необходимо осуществлять подготовку воды и строго контролировать ее состав.

Источником водоснабжения большого числа предприятий пищевой промышленности являются подземные воды, которые отличаются большим содержанием железа и железобактерий и повышенным содержанием углекислоты и сероводорода. Наличие в воде большого количества железа существенно влияет на качество воды, придает ей неприятный вкус, делает непригодной для производственных целей. Железобактерии вызывают отложения в металлических трубах водопроводной сети, подающих такую воду. Отложения ведут к суживанию сечения труб и значительным потерям напора, быстрому разрушению труб. Высокое содержание углекислоты препятствует переходу двухвалентного железа в трехвалентное и выпадению соединений железа в осадок.

Согласно СанПиН 10-124РБ 99 содержание железа в воде хозяйственно-питьевых водопроводов, имеющих сооружения для

улучшения качества воды, не должно превышать 0,3 мг/л. Еще более жесткие требования к содержанию железа в воде предъявляют отдельные производства.

Удаление из воды железа – сложнейшая задача в водоочистке, называемая обезжелезиванием. В подземных водах железо чаще всего встречается в растворенном состоянии в виде двууглекислого соединения $Fe(HCO_3)_2$. Метод обезжелезивания выбирается в зависимости от того, в какой форме железо содержится в воде. В настоящее время применяют следующие методы обезжелезивания: безреагентный, осуществляемый путем аэрации, отстаивания и фильтрования; реагентный (коагулирование, хлорирование, известкование); катионного обмена, применяемый в том случае, если, кроме обезжелезивания, необходимо производить и умягчение воды; с помощью катализаторов. Правильно выбрать метод можно только пробным обезжелезиванием.

Из подземных вод двухвалентное железо обычно устраняют при помощи аэрации. Двууглекислое соединение $Fe(HCO_3)_2$ (гидрокарбонат железа (II)) – нестойкое соединение, в котором железо (II) при контакте с воздухом легко окисляется.

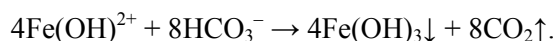
Необходимость аэрации зависит от физико-химических показателей источника

водоснабжения: величины содержания железа, рН воды, окисляемости, наличия запахов, привкусов, агрессивных газов (углекислоты, сероводорода).

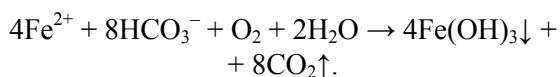
Процесс окисления железа (II) кислородом воздуха в воде без гидрокарбонат-ионов описывается уравнением



Железо (III) в последующем подвергается гидролизу



В общем виде процессы гидролиза и окисления соединений железа можно записать следующим образом:



Образовавшийся углекислый газ CO_2 подкисляет воду



В результате реакции, интенсивно протекающей при аэрации, 1 мг гидролизованного железа выделяет 1,57 мг/л свободной углекислоты CO_2 , щелочность воды при этом снижается на 0,036 мг-экв/л. Образовавшийся растворимый в воде гидроксид железа (II) $\text{Fe}(\text{OH})_2$, соединяясь с кислородом воздуха, превращается в коллоидный гидроксид железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который коагулирует при рН воды 6,5–7,5 и переходит в оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, выпадающий в осадок в виде бурых хлопьев.

Происходящий при аэрации воды гидролиз двууглекислого железа понижает рН воды вследствие образования свободной углекислоты. Понижение рН воды тем интенсивнее, чем больше железа и меньше ее щелочность.

Таким образом, из воды удаляется угольная кислота, а гидроксид железа (II) окисляется до гидроксида железа (III).

Для подземных вод с высоким содержанием железа был разработан безреагентный аэрационный метод обезжелезивания воды с применением эжекционных аппаратов. Сущность метода основана на непрерывном

дроблении капель воды в потоке эжектируемого воздуха до мелкодисперсного эффекта абсорбции кислорода с одновременным достижением высоких скоростей окисления двухвалентного железа в трехвалентное. Помимо окисления железа, применение данного метода позволяет отдувать из воды присутствующий сероводород и иные растворенные газы.

Схема обработки воды такова: вода, подлежащая обезжелезиванию, под напором насосов подается на эжекторы, которые являются главным элементом схемы и устанавливаются вертикально над загрузкой осветлительных фильтров. Количество агрегатов и ступеней определяется экспериментально-расчетным методом в зависимости от качества исходной воды. От выбора рациональной конструкции этих элементов зависят производительность оборудования, надежность его работы, качество готовой продукции.

Эжектор насыщает обрабатываемую воду кислородом воздуха (аэрация) и организует движение потоков в общем объеме воды с целью равномерного распределения растворенного в ней кислорода. Достоинством эжектора являются его способность при изменении производительности поддерживать с достаточной точностью постоянство пропорционирования воды и воздуха, а также простота конструкции, компактность и незначительный износ.

Данный метод рекомендуется для применения и последующей корректировки с учетом особенностей природных вод. Важнейшим элементом процесса эжектирования является степень дробления капель воды. До настоящего времени не решен вопрос о влиянии геометрических характеристик эжектора на степень дробления. Это позволило бы рассчитать оптимальные линейные размеры эжектора, что способствовало бы увеличению эффективности процесса обезжелезивания воды.

До сегодняшнего дня конструкция, форма и размеры эжектора определялись произвольно, исходя из выбранных коэффициентов, которые принимались при расчете. Данная работа содержит ряд технических решений,

позволяющих улучшить конструкцию эжектора, что в свою очередь позволит снизить содержание железа в воде до полного его удаления.

Существующие конструкции эжекторов имеют существенные недостатки. Использование в эжекторах принципа центральной подачи воды при наличии только одного сопла или периферийной подачи воды без закрутки активного потока, сокращает количество эжектируемого воздуха, подсосываемого в струю. Это происходит за счет того, что потоки воды движутся прямолинейно, без их дополнительного закручивания и усиления действия друг друга, сокращается путь струи до места

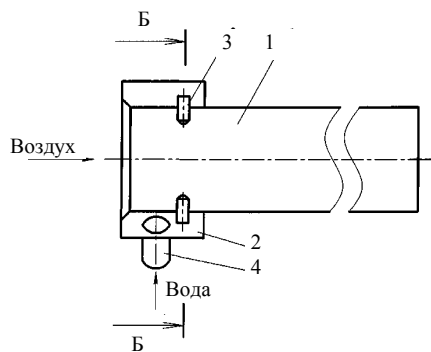


Рис. 1. Схема газожидкостного эжектора: 1 – горловина; 2 – коллектор; 3 – сопла; 4 – патрубок для подвода активной среды; R_r – радиус горловины; R_i – радиус i -й условной окружности; i – порядковый номер условной окружности, считая от центра горловины; α_i – угол наклона i -го сопла

Решение поставленной задачи достигается тем, что в эжекторе, содержащем горловину, патрубок для подвода воды и коллектор с соплами, расположенными концентрично и наклонно к плоскости осевого сечения горловины, площадь поперечного сечения горловины разделена по числу сопел на концентрические условные окружности, разбивающие ее на равные по площади участки. Радиус окружностей R_i определяется по формуле

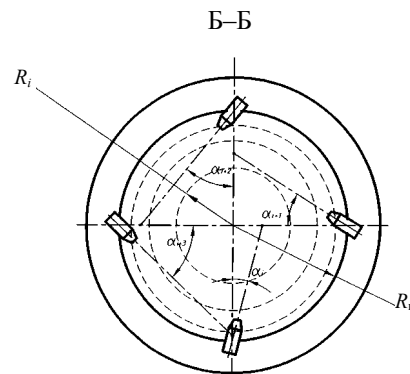
$$R_i = \sqrt{\frac{R_r^2 i}{n}},$$

где R_r – радиус горловины, см; i – порядковый номер условной окружности, считая от центра горловины; n – количество сопел. Угол наклона α_i каждого последующего сопла больше

соприкосновения со стенками горловины (камеры смешения). При этом не происходит достаточно эффективного и качественного использования площади сечения горловины, снижается качество процесса смешения сред, уменьшается время контакта кислорода воздуха с двухвалентным железом, содержащимся в воде, и, как следствие, ухудшается процесс обезжелезивания.

Нами предложена новая конструкция газожидкостного эжектора (рис. 1).

Целью работы является улучшение процесса смешения сред и повышение эффективности работы эжектора.



предыдущего, считая от сопла с минимальным углом наклона, и определяется по формуле

$$\alpha_i = \arctg \left(\frac{R_i + R_{i-1}}{2R_r} \right),$$

где R_i – радиус i -й условной окружности, см; R_r – радиус горловины, см.

Вода под давлением через патрубок поступает в коллектор. Проходя через сопла коллектора, активные струи воды захватывают пассивный воздушный поток и в горловине 1 происходит быстрое и качественное смешение сред.

Геометрические параметры новой конструкции эжектора рассчитаны с использованием законов «золотой» пропорции, что также позволяет улучшить качество процесса обезжелезивания воды.

Скорость истечения воды из сопла

$$v_B = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_B}}$$

где Δp – давление воды в сети, Па; ρ_B – плотность воды, кг/м³; φ – коэффициент истечения (табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициента φ для конических сопел

$\frac{l_c}{d_c}$	0,18	0,35	0,45	0,55	1,00	2,25	4,50
φ	0,75	0,84	0,85	0,87	0,85	0,84	0,83

Площадь поперечного сечения сопла:

$$F_c = \frac{B_B}{3600 v_B n} \text{ и } F_c = \frac{d_c^2}{\sqrt{\Phi}}, \text{ м}^2,$$

где B_B – расход воды, м³/с; v_B – скорость истечения воды, м/с; n – количество сопел, шт.; d_c – диаметр сопла, м; Φ – коэффициент «золотой» пропорции ($\Phi = 1,618$).

Диаметр соплового отверстия определяем по формуле:

$$F_c = \frac{d_c^2}{\sqrt{\Phi}}, \text{ или } d_c^2 = \sqrt{\Phi F_c}, \text{ или } d_c = \sqrt{1,272 F_c}.$$

Диаметр смесителя определяется следующим образом:

$$D_{cm} = d_c \sqrt{\frac{(1+U) \left(1 + U \frac{\rho_{воз}}{\rho_B}\right) \left(1 + \frac{g}{2}\right)}{\cos \alpha_i}},$$

где U – объемный коэффициент инжекции; g – коэффициент аэродинамического сопротивления смесителя ($g = 0,2$); α_i – угол наклона соплового отверстия к оси смесителя, рад; $\rho_{воз}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Длина смесителя рассчитывается следующим образом:

$$L_{cm} = \Phi^2 D_{cm}.$$

В результате данного технического решения происходит закрутка периферийного потока воды в тангенциальном направлении, поскольку каждый поток воды, выходящий из сопла, описывает свой спиралевидный путь. Потoki не мешают друг другу и усиливают взаимное действие. Происходит эффективное и качественное использование площади сечения горловины (камеры смешения) за счет того, что потоки воды, выходящие из сопел, заполняют

соответствующие участки площади сечения горловины, равные между собой, и при этом направляются строго в центр соответствующего участка. Благодаря этому увеличивается путь струи до места соприкосновения со стенками горловины, захватывается большое количество пассивного воздушного потока, происходит его эффективное перемешивание с активными потоками воды, увеличиваются время и площадь контакта кислорода воздуха с двухвалентным железом, содержащимся в воде, и, как следствие, повышается процесс обезжелезивания.

Для оценки качества воды до обезжелезивания и после был проведен химический анализ сульфатной магниевой-кальциевой минеральной воды «Сож».

Массовая концентрация компонентов минеральной воды (табл. 2) определена с помощью атомно-абсорбционного анализа.

Таблица 2

Массовая концентрация компонентов минеральной воды

Вода	Массовая концентрация, мг/л			
	Катионы			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Допустимые концентрации	300–600	80–180	200–300	
До обезжелезивания	460	164	240	
После обезжелезивания	460	164	240	
Вода	Массовая концентрация мг/л, не более			
	Sr	Zn	Cu	
	Допустимые концентрации	25,0	5,0	1,0
До обезжелезивания	9,3	0,49	<0,04	
После обезжелезивания	9,8	0,42	<0,04	

Анализ на содержание железа проводился согласно ГОСТ 4011–72 при чувствительности метода 0,05 мг/л. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание железа в минеральной воде

Вода до обезжелезивания	Массовая концентрация железа – 1,3 мг/л
Вода после обезжелезивания	Железо отсутствует

Все полученные значения находятся в пределах допустимых норм.

Разработанный и изготовленный на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» УО «Могилевский государственный университет продовольствия» жидкостно-газовый эжектор инжекционного типа согласно заказу Могилевского облпотребсоюза (письмо № 20-06/180 от 04.10.2004) внедрен на ЧПУП «Чериковский плодоконсервный завод» Белкоопсоюза Республики Беларусь в линии по производству минеральной воды «Сож».

Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 3,9 млн бел. руб. (в ценах на 01.01.2005). Экономический эффект достигается за счет повышения эффективности процесса обезжелезивания подземных вод при использовании эжектора ЖГЭ-5,0 новой конструкции.

ВЫВОД

При обезжелезивании получается положительный эффект: снижается уровень содержания железа до его полного удаления, УДК 536.248

при этом химический состав и концентрация всех обнаруженных компонентов остаются величинами постоянными.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беленький, С. М.** Технология обработки и розлива минеральных вод / С. М. Беленький, Г. П. Лаврешкина, Т. Н. Думнева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 2-е изд., перераб. и доп. – 151 с.
2. **Громогласов, А. А.** Водоподготовка: процессы и аппараты: учеб. пособие для вузов / А. А. Громогласов, А. С. Копылов, А. П. Пильщиков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
3. **Румянцева, Л. П.** Брызгальные установки для обезжелезивания воды / Л. П. Румянцева. – М.: Стройиздат, 1973. – 104 с.
4. **Успенский, В. А.** Струйные вакуумные насосы / В. А. Успенский, Ю. М. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
5. **Вышелесский, А. Н.** Тепловое оборудование предприятий общественного питания / А. Н. Вышелесский. – М.: Экономика, 1976. – 399 с.
6. **Груданов, В. Я.** Основы инженерного творчества / В. Я. Груданов. – Минск: Изд. центр БГУ, 2005. – 299 с.

Поступила 27.02.2007

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ РЕБЕР НА ТЕПЛООТДАЧУ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, СОБРАННЫХ ИЗ ПЛОСКИХ ТРУБ С ПОДРЕЗНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

Асп. ДЬЯКОВ А. И., кандидаты техн. наук КИСЕЛЕВ В. Г., СУКОНКИН В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Теплообменники из плоских труб с подрезным оребрением широко применяются в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания, конструкциях климатических установок и сушильных камер.

Одним из параметров, характеризующих конструкцию теплообменников такого типа, является шаг расположения плоских труб в сердцевине. При расчетах теплопередающих характеристик теплообменников из плоских труб с подрезным оребрением расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы принимается равным шагу расположения плоских труб в сердцевине, т. е. предполагается, что вершины ребер двух близлежащих плоских труб прилегают друг к другу. Однако при массовом производстве оребренных труб расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы может отличаться от шага расположения плоских труб в сердцевине. Это связано с погрешностью настройки оборудования и инструмента для получения ребер, точностью установки заготовки в технологическом

приспособлении, а также с погрешностью выполнения габаритных размеров заготовки.

Даже незначительное превышение расстояния между вершинами ребер отдельной плоской трубы над шагом расположения плоских труб в сердцевине теплообменника создает существенные дополнительные проблемы при ее сборке. Поэтому процесс оребрения осуществляют с минусовым допуском. Это приводит к тому, что расстояние между вершинами ребер отдельной плоской трубы, как правило, меньше шага расположения плоских труб в сердцевине, т. е. между вершинами ребер в сердцевине теплообменника образуется зазор. В результате уменьшается площадь теплообмена и изменяется скорость воздуха в межреберном пространстве и, как следствие, – снижается теплоотдача теплообменной поверхности.

Целью данной работы было экспериментальное определение влияния величины зазора на интенсивность теплоотдачи оребренной поверхности теплообменника,