

ЭЖЕКТОРЫ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ОЧИЩАЕМОЙ ВОДЫ С РЕАГЕНТАМИ

Б.С. Ксенофонов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены различные варианты использования эжекторов в качестве смесителя реагентов с очищаемой водой. Эжектор, функционирующий как струйный насос, позволяет дозировать и перемешивать реагент со сточной водой. При этом перемешиванию реагентов с водой способствуют и пузырьки подсосываемого воздуха. Другой вариант – применение эжекторов с магнитными элементами. Эффект интенсификации перемешивания под действием магнитного поля различных жидких смесей, одна из которых является электропроводной, открыт автором ранее для смешения различных жидких смесей. Суть эффекта состоит в том, что при движении электролита в магнитном поле на ионы в растворе воздействует индуцированное электрическое поле, что способствует интенсификации молекулярной диффузии.

Ключевые слова: способы перемешивания, реагенты, вода, эжекторы, магнитное и электрическое индуцированное поле

Ejectors for Hashing of the Purified Water with Reagents

B.S. Ksenofontov

Bauman Moscow State Technical University, 105005 Moscow, Russia

In work various options of use of ejectors as the mixer of reagents with the purified water are considered. The ejector functioning as the jet pump allows to dose and mix reagent with waste water. At the same time hashing of reagents with water promoted by vials of podsasvayemy air. Other option – the use of ejectors with magnetic elements. The effect of an intensification of hashing under the influence of magnetic field of various liquid mixes, one of which is conductive, was open by the author earlier for mixture of various liquid mixes. The essence of effect consists in what at the movement of electrolyte in magnetic field in solution influences ions induced electric weeding that promotes an intensification of molecular diffusion.

Keywords: ways of hashing, reagents, water, ejectors, magnetic and electric induced fields

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-08-8-10

Быстрое перемешивание реагентов с водой, как правило, повышает эффективность их использования [1]. Тем не менее, применение для этих целей аппаратов с мешалками как наиболее эффективных технических средств приводит в ряде случаев к разрушению образующихся при этом агрегатов, что требует в этой связи строгого соблюдения временного интервала перемешивания. Наиболее простым в аппаратном отношении и в то же время эффективным устройством является эжектор. Эжектор, функционирующий как струйный насос, позволяет дозировать и переме-

шивать реагент со сточной водой. При этом перемешиванию реагентов с водой способствуют и пузырьки подсосываемого воздуха.

Например, при использовании водо-воздушного эжектора наблюдается выделение крупных пузырьков размером примерно 0,5–2 мм. Такие пузырьки могут оказывать перемешивающее воздействие, но эффект смешения реагентов с водой относительно невысокий. Согласно [2] такие пузырьки всплывают со скоростью порядка 30–35 см/с и создают максимальный скоростной градиент порядка 2000 с⁻¹.

В этом случае проявляется и другая роль пузырьков воздуха как центров хлопьеобразования в коагулирующей системе, что объясняется налипанием твердых частиц вследствие самопроизвольного стремления системы к уменьшению потенциальной энергии [2]. Причем работа закрепления большой частицы на малом пузырьке воздуха снижается с уменьшением размера частицы.

Следует также отметить, что воздух необходимо вводить обязательно в момент образования микрохлопьев коагулированной взвеси, а пузырьки его должны быть как можно более мелкими.

При расходе воздуха в размере 10–20 % количества обрабатываемой воды оказалось возможным уменьшить расход коагулянта.

Для проверки предлагаемых технических решений была создана экспериментальная установка.

Принципиальная схема такой установки представлена на рис. 1. Сточная вода подается в эжектор 1, где в узком месте, в точках разрежения подсасывается раствор реагента из резервуара 2. В смесительной камере эжектора происходит смешение раствора со сточной водой, после чего поток поступает в резервуар-отстойник 3.

Опыты показали, что при подаче воды в количестве 1 л через эжектор подсасывается 100 мл раствора реагента в 1 мин.

В ходе проведения исследований была установлена эмпирическая зависимость:

$$q = kQ, \quad (1)$$

где q — количество подсасываемого раствора реагента; Q — количество рабочей жидкости; k — коэффициент пропорциональности.

Коэффициент k в уравнении (1) имеет достаточно широкий интервал значений и управление им достигается изменением подачи раствора q , например путем регулирования вентилем или каким-либо другим устройством.

Для проведения исследований использовалась специальная установка. Принципиальная схема такой установки с дозирующим устройством изображена на рис. 2. Сточная вода насосом 4 подается в эжектор 1, в который в зонах разрежения подсасывается раствор реагента из резервуара 2. В смесительной камере эжектора происходит смешение раствора со сточной водой, после чего поток переносится в резервуар-отстойник 3. Эжектор установлен на штативе с возможностью регулирования высоты и угла падения струи. Далее вода в виде струи возвращается в отстойник 3 и, таким образом, вода непрерывно циркулирует.

При использовании эжектора по указанной схеме (см. рис. 2) сокращается расход реагентов примерно на 10–15 % по сравнению с известными смесителями, например пневматического типа.

Другой вариант перемешивания реагентов с водой — использование эжектора-смесителя с магнитными элементами. Сам эффект интенсификации перемешивания под действием магнитного поля различных жидких смесей, одна из которых электропроводная, был открыт авторами ранее для смешения различных жидких смесей [3, 4]. Суть эффекта состоит в том, что при движении электролита в магнитном поле на ионы в растворе воздействует индуцированное электрическое поле, что способствует интенсификации молекулярной диффузии.

На рис. 3 показана схема эжектора-смесителя с магнитными элементами.

Такой эжектор-смеситель включает корпус, состоящий из входной камеры 2, на внешней стороне которой расположены патрубки для подачи рабочей жидкости 1, воздуха 3 и имеющей внутри сопло 4, и камеры смешения 5 с выходным патрубком 7, причем входная камера дополнительно снабжена патрубком для подачи раствора реагента 9, а на внешней стороне камеры смешения установлены источники магнитного поля 6 и 8, при этом отношение длин входной камеры L_0 и камеры смешения L_1 составляет от 1:3 до 3:50, причем в качестве источников магнитного поля используются постоянные магниты или электромагниты, создающие напряженность магнитного поля в камере смешения от 500 до 7000 Э с градиентом напряженности магнитного поля в камере смешения от 100 до 500 Э/см.

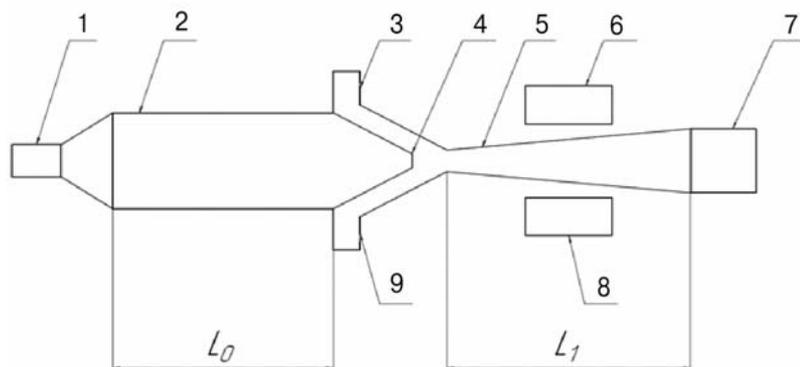


Рис. 3. Схема эжектора-смесителя
Fig. 3. Scheme of the ejector-mixer

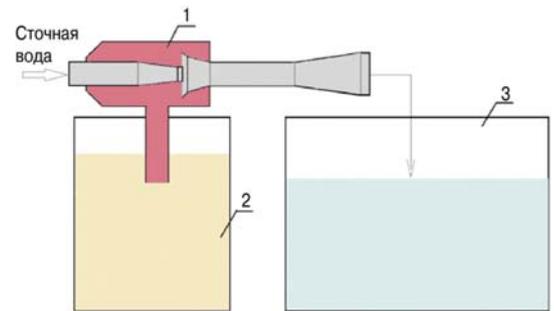


Рис. 1. Схема установки с эжектором-дозатором:
1 – эжектор; 2 – резервуар с раствором реагента;
3 – резервуар-отстойник

Fig. 1. Installation diagram with ejector-dispenser:
1 – ejector; 2 – tank with reagent solution;
3 – settling tank

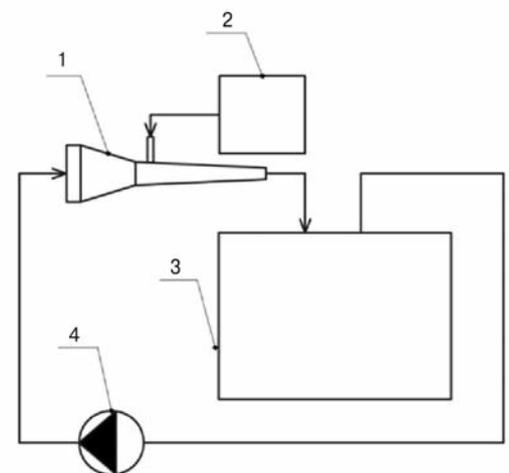


Рис. 2. Схема лабораторной установки с дозирующим устройством:

1 – эжектор; 2 – резервуар с раствором реагента;
3 – отстойник; 4 – насос

Fig. 2. Diagram of the laboratory setup with dosing device:
1 – ejector; 2 – tank with reagent solution; 3 – settling tank;
4 – pump

Принцип работы эжектора-смесителя состоит в следующем. Исходная рабочая жидкость подается под избыточным давлением в корпус эжектора-смесителя через входной патрубок 1 в камеру 2. Далее при

движении рабочей жидкости через сопло 4 в жидкости происходит снижение давления ниже атмосферного, что приводит к подсасыванию воздуха через патрубок 3 и раствора реагента (например, в виде солей алюминия и железа) через патрубок 9. Образующаяся в камере смешения 5 смесь рабочей жидкости, раствора реагента и воздуха интенсивно перемешивается и далее выводится через патрубок 7. Интенсификации процессов перемешивания способствует определенное соотношение длин входной камеры L_0 и камеры смешения L_1 , которое составляет от 1:3 до 3:50, и использование в качестве источников магнитного поля 6 и 8 постоянных магнитов или электромагнитов, создающих напряженность магнитного поля в камере смешения от 500 до 7000 Э с градиентом напряженности магнитного поля в камере смешения от 100 до 500 Э/см. При этом соотношение длин входной камеры и камеры перемешивания способствует усилению турбулентной диффузии, а магнитное поле интенсифицирует диффузию ионов вводимых реагентов. Выбранные параметры магнитного поля обоснованы экспериментально. При этом нижние пределы являются граничными при проявлении эффекта усиления диффузии ионов, а выше значений верхних пределов эффект не усиливается и отпадает необходимость дополнительных материальных и энергетических затрат для поддержания более высоких значений напряженности и неоднородности напряженности магнитного поля.

Литература

1. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: кинетика флотации и флотокомбайны. М., ИД "Форум", ИНФРА-М, 2015. 256 с.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М., Наука, 1977. С. 266–267.
3. Ксенофонтов Б.С. Влияние магнитной обработки воды на электрофоретическое деление белков сыворотки крови. Доклады АН СССР. 1974. Т. 215. №4. С. 994–995.
4. Ксенофонтов Б.С. Влияние предварительного воздействия магнитного поля на структуру полиакриламидного геля. Доклады АН СССР. 1976. Т. 227. № 1. С. 146–148.
5. Патент РФ на полезную модель № 183320. Эжектор-смеситель. Ксенофонтов Б.С. Пр. 16.07.2018. Рег. 18.09.2019. Опубл. 18.09.2018. Бюл. № 26.

При выполнении заявленных условий применение эжектора-смесителя по сравнению с обычным эжектором повышает эффективность применения реагентов, приводящую к снижению их расхода примерно на 20–30 %, а также снижает материальные и энергетические затраты из-за отсутствия необходимости применения в этом случае насосов-дозаторов.

Временную оценку происходящих в смесителе процессов выполним постадийно, начиная от введения и перемешивания реагентов с водой, в частности коагулянта.

Время перемешивания τ определяется из решения кинетического уравнения

$$\partial f(x,t)/\partial t = \text{div}[\mu f(x,t)\nabla\varphi + D\nabla f(x,t)],$$

в случае рассмотрения одномерной задачи имеем: μ — подвижность носителей тока; D — коэффициент диффузии; φ — потенциал электрического поля; $f(x,t)$ — функция распределения; x, t — текущие координата и время.

Предполагая, что перемешивающее действие электромагнитного поля наблюдается, главным образом, в областях, соизмеримых с масштабом турбулентных пульсаций, получим решение задачи только для локального пространства. Решение указанного выше кинетического уравнения в случае пренебрежения последним слагаемым имеет вид:

$$f(x,t) = f_0 e^{-\lambda t}, \quad \tau = q\lambda^2/(12kT\mu),$$

где λ — размер области, соизмеримой с масштабом турбулентных пульсаций; T — температура жидкости; k — постоянная Больцмана; q — заряд носителей тока (ионов); μ — подвижность ионов в электрическом поле.

Величина λ оценивается из известного выражения

$$\lambda = v^{3/4}\varepsilon^{-1/4},$$

где v — кинематическая вязкость; ε — скорость диссипации энергии.

Принимая $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ К; $\lambda = 10^{-4}$ м; $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град; $T = 300$ °К; $\mu = 10^{-7}$ м²/(с·В), получим

$$\tau = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-8} / (12 \cdot 1,3 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 10^8) = 0,34 \text{ с.}$$

В случае $\mu = 10^{-8}$ м²/(с·В) имеем $\tau = 3,4$ с.

Порядок значений показывает, что в областях размером 10^{-4} м время "рассасывания" ионов в жидкости составляет 0,1–10 с. Это позволяет провести перемешивание электропроводной и неэлектропроводной компонент в смесителях сравнительно небольшого объема, в том числе в смесителе-эжекторе. Следует отметить, что время смешения реагентов с очищаемой водой в обычных смесителях составляет порядка 1–5 мин. Это свидетельствует о возможности существенной интенсификации перемешивания реагентов с очищаемой водой в эжекторах-смесителях.

Таким образом, процесс перемешивания реагентов с очищаемой водой можно эффективно осуществлять в эжекторах-смесителях, отличающихся среди других смесителей относительно малым объемом. В отдельных случаях эжектор-смеситель по рабочему объему меньше аналогов в 10–25 раз. При этом на практике эжекторы-смесители могут использоваться в технологических линиях производительностью вплоть до 100 м³/ч и более.

References

1. Ksenofontov B.S. Ochistka stochnykh vod: kinetika flotatsii i flotokombainy. M., ID "Forum", INFRA-M, 2015. 256 s.
2. Babenkov E.D. Ochistka vody koagulyantami. M., Nauka, 1977. S. 266–267.
3. Ksenofontov B.S. Vliyanie magnitnoi obrabotki vody na elektroforeticheskoe delenie belkov syvorotki krovi. Doklady AN SSSR. 1974. T. 215. №4. S. 994–995.
4. Ksenofontov B.S. Vliyanie predvaritel'nogo vozdeistviya magnitnogo polya na strukturu poliakrilamidnogo gelya. Doklady AN SSSR. 1976. T. 227. № 1. S. 146–148.
5. Patent RF na poleznuyu model' № 183320. Ezhektor-smesitel'. Ksenofontov B.S. Pr. 16.07.2018. Reg. 18.09.2019. Opubl. 18.09.2018. Byul. № 26.