

тов в действие поставило ряд новых задач. В частности стала актуальной проблема, связанная с проектированием систем водоотведения и очистных сооружений в сельской местности, требования к которым отличаются от технических решений для крупных городов. Так например, широко применяемые до настоящего поля фильтрации имеют целый ряд недостатков, что требует поиска и апробации технических решений и проектов, которые при простоте эксплуатации отвечали бы современным природоохранным требованиям. Также направленность стандартизации и нормирования в области очистки сточных вод определяется, с одной стороны, сближением с законодательством и стандартами ЕС, что с 2009 года рассматривается правительством как приоритетное направление. С другой стороны, вступление Республики Беларусь в таможенный союз с Россией и Казахстаном диктует необходимость разработки нормативов и стандартов, которые бы могли использоваться в трех указанных странах. Таким образом, существующая ситуация требует интеграции и активизации международного сотрудничества и в этой сфере.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992 года) Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК) ООН.
2. О присоединении Республики Беларусь к Протоколу по проблемам воды и здоровья, к Конвенции по защите и использованию трансграничных водотоков и международных озер 1992 года. Указ Президента Республики Беларусь от 31.03. 2009 г. №159
3. Директива Совета ЕЭС 91/271/ЕЕС об очистке городских сточных вод.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: ТКП 17.06-08-2012 (02250).
5. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 (02250).
6. Очистные сооружения сточных вод. Правила проектирования: ТКП 45-4.01-262-2012 (02250).

УДК 628.356

С.Г. БЕЛОВ, Г.О. НАУМЧИК, Е.И. ДМУХАЙЛО

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест.

ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДИСПЕРГАТОР ГАЗА «ТОРНАДО»

This article describes the mechanism and methods for gas dispersion by different methods, the possibility of the creation of fine gas dispersion by dispersing the gas highly turbulent flow of fluid. The scheme of the experimental setup the device to disperse the gas. It also provides the experimental dependence minimum diameter received in the dispersion of gas bubbles from the liquid flow rate.

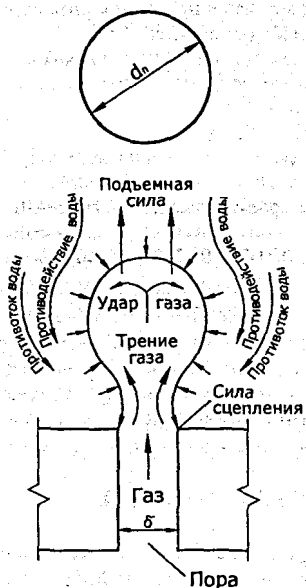
Введение. При обработке природных и сточных вод широко применяются процессы аэрации и диспергирования газов. Процесс получения газовых пузырьков не вызывает проблем, если их диаметр более 1 мм. Такие газовые дисперсии применяют в процессах биологической очистки, струйной и пневматической флотации, в кон-

тактных камерах для введения озона. Однако когда существует необходимость получения более мелких газовых дисперсий, обычные процессы, основанные на применении принципов струйной аэрации и пневмоаэрации, оказываются неэффективными из-за процесса коалесценции газовых пузырьков на диспергирующей пористой поверхности [1]. В этих случаях используют процессы растворения газа под давлением с последующим его выделением, электрохимическое выделение газа, механические диспергирующие аппараты. Механические диспергирующие аппараты сложны в конструктивном исполнении, дороги и энергозатратны. Методы растворения газа под давлением с последующим выделением требуют использования высоких давлений, громоздкого оборудования, имеют ограничения по объему вовлекаемого газа на единицу объема обрабатываемой жидкости. Электрохимические методы, кроме всех вышеперечисленных недостатков, не позволяют диспергировать такие газы, как озон, углекислый газ, азот.

На кафедре ВВиОВР Брестского государственного технического университета выполнены предварительные исследования по диспергированию газов высокотурбулентным режимом движения жидкости. Данный метод разрабатывается для получения мелких газовых дисперсий (диаметры пузырьков 10...100 мкм), необходимых в процессах флотации, озонирования, обескислороживания. В отличие выше рассмотренных методов получения мелких газовых дисперсий, разрабатываемый метод не требует использования громоздкого и сложного оборудования, позволяет диспергировать газы любого состава с высоким удельным расходом, имеет сравнительно невысокую энергозатратность.

Процесс образования пузырька газа на выходе из отдельной поры диспергатора в неподвижной жидкости показан на рисунке 1 [2].

Рисунок 1 – Схема образования пузырька газа при выходе из единичной поры в неподвижной жидкости и сил, действующих на него в процессе роста и отрыва



Как показывает вышеприведенный рисунок, пузырек воздуха, растущий на отдельной поре в неподвижной жидкости, в момент отрыва имеет диаметр значительно больший, чем сама пора. Это связано с краевым эффектом, определяющим условия отрыва пузырька от кромки поры. Отрыв пузырька происходит, когда выталкивающая сила превысит поверхностное натяжение, и в этот момент диаметр пузырька определяется соотношении-

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot d_0 \cdot \sigma}{g \cdot \Delta \rho}}$$

где d_n – диаметр пузырька в момент отрыва, м;

d_0 – диаметр поры, м;

σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\Delta \rho$ – разность плотностей жидкости и газа, кг/м³.

Поскольку диаметр пузырька в момент отрыва значительно превышает диаметр поры, при близком расположении пор соседние пузырьки сливаются, т.е. происходит процесс коалесценции, в результате этого размеры всплывающих пузырьков оказываются значительно крупнее, чем рассчитанные по вышеприведенной формуле.

Совсем другая картина наблюдается, если пузырек газа отрывается в движущейся жидкости.

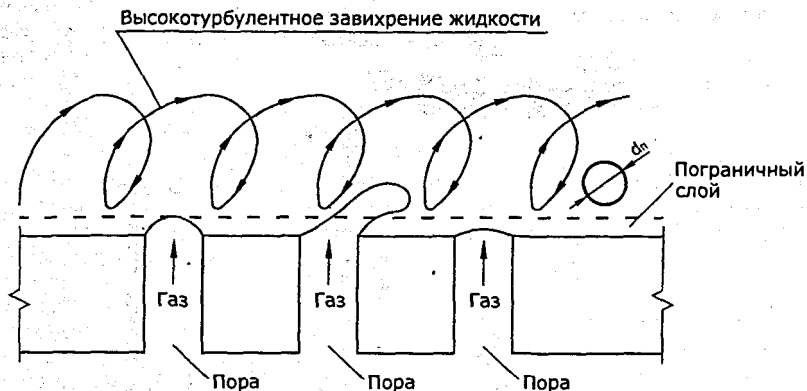
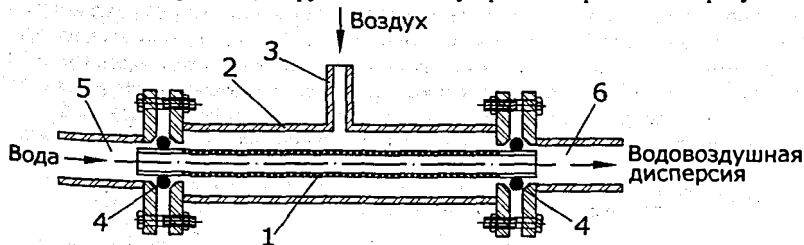


Рисунок 2 – Схема образования пузырька газа при выходе из единичной поры в быстро движущейся жидкости

Условия отрыва пузырька в быстро движущейся жидкости изучены недостаточно. В литературных исследованиях в основном приводятся экспериментальные зависимости [4]. Понятно, что на условия отрыва в основном влияет толщина пограничного слоя (определяемая числом Рейнольдса), диаметр пор, структура поверхности пористого материала и скорость движения газа на выходе из пор. Чтобы оценить данные параметры, необходимо выполнить очень точные экспериментальные исследования.

В рамках данной работы была поставлена цель в экспериментальных условиях проверить эффективность применения принципа получения газовой дисперсии высокотурбулентным режимом движения жидкости. Для этого был использован диспергатор газа, созданный авторами. Конструкция данного устройства приведена на рисунке 3.

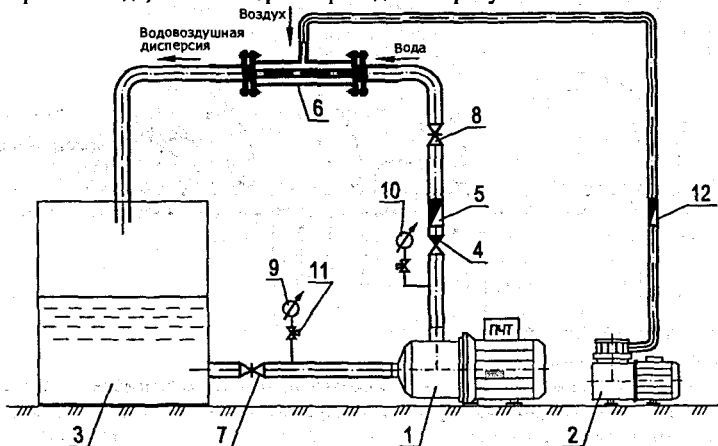


1 – пористая трубка; 2 – корпус с фланцами; 3 – патрубок подачи воздуха; 4 – уплотнитель; 5 – патрубок подачи воды; 6 – патрубок отвода водовоздушной дисперсии

Рисунок 3 – Пневмогидравлический диспергатор газа «Торнадо»

Диспергатор, представляет собой мелкопористую трубку, расположенную в металлическом корпусе с фланцами. На концах пористой трубки между фланцами корпуса имеется уплотнение, поэтому контакт жидкости и газа осуществляется только через стенку пористой трубки. В пространство между наружной поверхностью пористой трубки и металлическим корпусом подается газ с помощью патрубка подачи газа.

Полученные результаты. Пневмогидравлический диспергатор был испытан на лабораторном стенде, схема которого приведена на рисунке 4.



- 1 – центробежный насос; 2 – мембранный компрессор; 3 – бак с водой; 4 – обратный клапан;
5 – водомер; 6 – пневмогидравлический диспергатор «Торнадо»; 7 – задвижка на всасывающем трубопроводе; 8 – задвижка на нагнетательном трубопроводе; 9 – вакуумметр;
10 – манометр; 11 – трехходовой кран; 12 – газовый счетчик

Рисунок 4 – Схема лабораторного стенда для подключения пневмогидравлического диспергатора газа

В данных испытаниях была исследована пористая трубка с внутренним диаметром 4 мм, наружным диаметром 7 мм, изготовленная из полимерного материала. Исследовалось диспергирование воздуха в чистую воду в нормальных условиях. Поскольку трубка имела поры различного диаметра (в интервале от 50 до 150 мкм, согласно приблизительной оценке с помощью микроскопа), необходимо было осуществлять подачу газа под избыточным давлением, потому что иначе вода выдавливалась через крупные поры в пространство между пористой трубкой и корпусом, предназначенное для подачи газа. Расход газа не представлялось возможным измерить в связи с недостаточной чувствительностью газового счетчика для низкого расхода. Поэтому основным фактором, который варьировался в исследованиях, являлся расход жидкости через диспергатор. Средняя скорость течения жидкости через диспергатор определялась по формуле:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2},$$

где v – средняя скорость жидкости в пористой трубке диспергатора, м/с;

Q – расход жидкости через диспергатор, м³/с;

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр пористой трубки, м.

Как было указано выше, пористая трубка имела поры разного диаметра, и соответственно образовывались пузырьки различной крупности, поэтому в исследовании оценивался минимальный диаметр образующихся пузырьков газовой дисперсии. Он определялся по времени осветления образующейся жидкостно-газовой дисперсии при высоте налива 100 мм. Всплытие газового пузырька диаметром менее 0,1 мм происходит практически с постоянной скоростью и она может быть найдена по формуле [2]:

$$v_n = \frac{d_n^2 \cdot g \cdot \Delta\rho}{18 \cdot \mu},$$

где v_n – скорость всплытия газового пузырька, м/с;

d_n – диаметр всплывающего пузырька, м.

$\Delta\rho$ – разность плотностей жидкости и газа, кг/м³;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

При известной высоте подъема пузырька и времени осветления газовой дисперсии диаметр наименьших пузырьков без учета их коалесценции во время всплытия будет определяться по формуле:

$$d_n = \sqrt{\frac{L \cdot 18 \cdot \mu}{t \cdot g \cdot \Delta\rho}},$$

где L – высота слоя жидкости, м;

t – время осветления жидкости, с.

На основе полученных данных построена зависимость минимального диаметра образующихся пузырьков воздуха в диспергаторе от скорости движения воды, представленная на рисунке 5.

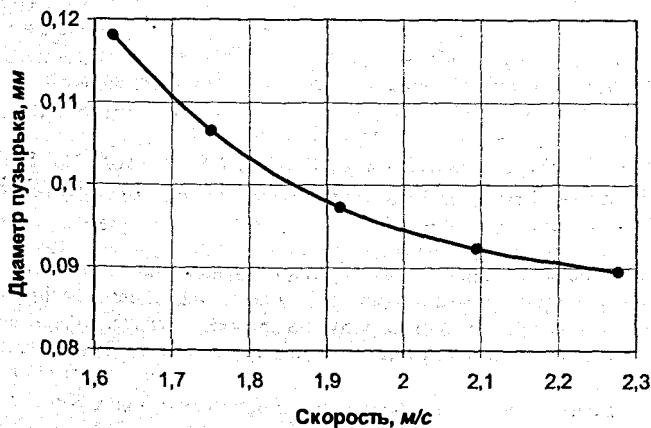


Рисунок 5 – Зависимость минимального диаметра получаемых пузырьков воздуха от скорости движения воды в диспергаторе «Торнадо»

Данные, представленные на рисунке 5, показывают, что с увеличением скорости движения воды в пневмогидравлическом диспергаторе минимальный диаметр образующихся пузырьков уменьшается. Полученная зависимость подтверждает вышерассмотренные теоретические предпосылки получения мелкой газовой дисперсии высо-

котурбулентным режимом движения жидкости. Более высокие скорости движения жидкости не были исследованы по причине ограничения развиваемого давления воздушным мембранным компрессором, применявшимся в данном исследовании.

Заключение. Выполненные исследования показывают, что применение пневмогидравлического метода диспергации газа высокотурбулентным режимом движения жидкости является перспективным, поскольку позволяет получать мелкие жидкостно-газовые дисперсии, крайне необходимые при процессах флотации, озонирования, обескислороживания и т.д. Для более полной оценки экономической эффективности данного метода диспергирования газа необходимо продолжить данные исследования на пневмогидравлических диспергаторах с пористыми трубками большего внутреннего диаметра, имеющими одинаковые поры.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жерноклев, А.К. Аэрация и озонирование в процессах очистки воды / А.К. Жерноклев, Л.П. Пилинович, В.В. Савич. – Мн.: Тонпик, 2002. – 129 с.
2. Мещеряков, Н.Ф. Флотационные машины и аппараты / Н.Ф. Мещеряков – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
3. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
4. Вакулкина, Н.В. Характеристики монодисперсной газожидкостной смеси при течении в вертикальной трубе / Н.В. Вакулкина, Б.К. Козьменко, О.Н. Кашицкий // Инженерно-физический журнал. – 1979. – Том 36, № 4. – С. 695–699.

УДК: 628.21

Г.А. ВОЛКОВА, Н.Ю. СТОРОЖУК, С.В. АНДРЕЮК

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КОАГУЛЯНТОВ И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ

The report examines the use of promising new coagulants and flocculants for intensification of natural water purification. coagulation treatment method used for the extraction of water stabilized and unstabilized surface-active compounds (surfactants) and fine colloidal substances which are not removed by mechanical means, ie, settling, flotation and filtration.

Основной и определяющей стадией очистки природных вод в условиях повышения загрязненности водонисточников остается коагуляция воды. Как известно, коагуляционный метод очистки применяется для извлечения из воды стабилизированных и нестабилизированных поверхностно-активными веществами (ПАВ) коллоидных и тонкодисперсных веществ, не удаляемых механическими методами, то есть отстаиванием, флотацией и фильтрованием. К коллоидным и тонкодисперсным веществам относятся частицы с гидравлической крупностью менее 0,3 мм/сек и имеющих дисперсность частиц менее 100 мкм. Ими могут быть органические гидрофобные загрязнения