

УДК 628.35

**ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ
ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Долгобородова С.Н.

*Институт судостроения и морской арктической техники, филиал «Северный (Арктический)
федеральный университет им. М.В. Ломоносова», Северодвинск,
e-mail: S.Dolgorodova@narfu.ru*

Установки по получению газожидкостных смесей используются во многих областях промышленности. В частности, важную роль они играют в инженерной экологии применительно к водоочистке, в том числе к интенсификации биологической очистки стоков. С целью лабораторного исследования методики получения газожидкостных смесей, устраняющего недостатки аналогов, был собран универсальный стенд. Отградуированы расходомеры жидкости и газа, построены соответствующие зависимости, отработаны режимы стенда. Универсальность стенда заключается в возможности его применения в различных отраслях. Проведено исследование метода получения газожидкостных смесей с пузырьковой структурой повышенной устойчивости на универсальном лабораторном стенде [1]. Газожидкостные смеси предлагаются использовать для интенсификации процесса биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях. Установлены зависимости диаметра пузырьков воздуха от расхода жидкости и воздуха, а также получены данные по гидродинамическому режиму двухфазной системы «газ (воздух) – жидкость (вода)».

Ключевые слова: газожидкостные смеси, биологическая очистка, сточные воды, интенсификация, лабораторный стенд

**LABORATORY STUDY OF TECHNIQUE OF PRODUCING
HIGH STABILITY GAS-LIQUID MIXTURES TO INTENSIFY
BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT**

Dolgorodova S.N.

*Institute of Shipbuilding and Arctic Marine Engineering, branch of Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk, e-mail: S.Dolgorodova@narfu.ru*

Units for production of gas-liquid mixtures are used in many industrial branches. In particular, they play the important role in environmental engineering in the water treatment process, including the intensification of biological wastewater treatment. The universal stand was designed for the purpose of laboratory study of technique of producing gas-liquid mixtures, eliminating disadvantages of the similar technique. The flow of liquid and gas was calibrated, the corresponding relations were built, the stand modes were tested. Versatility of the stand is the ability of its application in various industries. The study of the technique of producing gas-liquid mixtures with bubble structure of increased resistance was carried out at the universal laboratory stand [1]. Gas-liquid mixtures are proposed to be used for the intensification of the process of biological wastewater treatment at wastewater treatment plants. The relations of air bubbles diameters and the flow of liquid and air are made. Also the data on the hydrodynamic mode of two-phase system «gas (air) – liquid (water)» are obtained.

Keywords: gas-liquid mixtures, biological treatment, wastewater, intensification, laboratory stand

Актуальность исследования метода получения газожидкостной смеси с пузырьковой структурой обусловлена тем, что двухфазные потоки являются основным рабочим телом в сооружениях очистки природных и сточных вод, в энергетических установках, аппаратах химической технологии, в различных элементах новой техники. В частности, газожидкостные смеси повышенной устойчивости применяются в аэрационных сооружениях для биологической очистки сточных вод.

Современный этап развития сооружений очистки сточных вод характеризуется широким внедрением новых технологий и оборудования. Главной задачей проекти-

рования сооружений биологической очистки для высококонцентрированных сточных вод является создание эффективных сооружений – аэротенков [2].

Вопросы о влиянии различных факторов на процесс биологической очистки в аэротенках подробно изучены [3, 4, 5]. Главным критерием, обуславливающим характеристики аэротенка, является гидравлическая схема его функционирования [3]. В данном исследовании для обеспечения оптимального гидродинамического режима в аэротенках и интенсификации процессов насыщения аэрируемой сточной жидкости кислородом воздуха, а следовательно, и биологической очистки стоков в целом

предлагается использовать готовую газожидкостную смесь. В свою очередь, это позволит повысить качество очищенных сточных вод, снизить энергозатраты на очистку и уменьшить объем образующихся при этом осадков.

Газожидкостные смеси повышенной устойчивости являются объектом исследования, а процесс их получения – предметом изучения. Детальное изучение методов получения газожидкостных потоков с пузырьковой структурой важно с практической точки зрения для развития технологий очистки воды, химической технологии, энергетики и других отраслей.

Научная новизна заключается:

1) в научном обосновании и экспериментальном подтверждении целесообразности использования для биологической очистки сточных вод готовых газожидкостных смесей повышенной устойчивости;

2) в составлении математической модели получения двухфазного потока с пузырьковым течением повышенной устойчивости, которая позволит оперативно получать данные о дисперсности и однородности газожидкостной смеси.

Целью исследования являлась разработка методики получения газожидкостных смесей повышенной устойчивости, позво-

ляющих интенсифицировать процессы биологической очистки сточных вод в очистных сооружениях. Для этого был проведен аналитический обзор методов и методик получения газожидкостных смесей, используемых при водоочистке. В рамках проводимых исследований рассмотрены вопросы, связанные с основными закономерностями гидравлического насыщения жидкости газом для биологической очистки сточных вод в аэротенках с применением готовых газожидкостных смесей.

Материалы и методы исследования

К основным мероприятиям, необходимым для обеспечения устойчивой работы систем биологической очистки, относятся:

– выбор оптимальной конструктивно-технологической схемы системы биологической очистки и режимов ее функционирования;

– управление гидравлическими режимами течения потоков и содержанием растворенного кислорода водно-иловой смеси в аэротенке [3].

Для исследования был собран универсальный лабораторный стенд [1], позволяющий получать газожидкостные смеси различной пузырьковой структуры в зависимости от области их применения, а также изучать и определять основные характеристики и гидродинамический режим газожидкостных потоков.

Принципиальная схема универсальной лабораторной установки для получения газожидкостных смесей представлена на рис. 1.

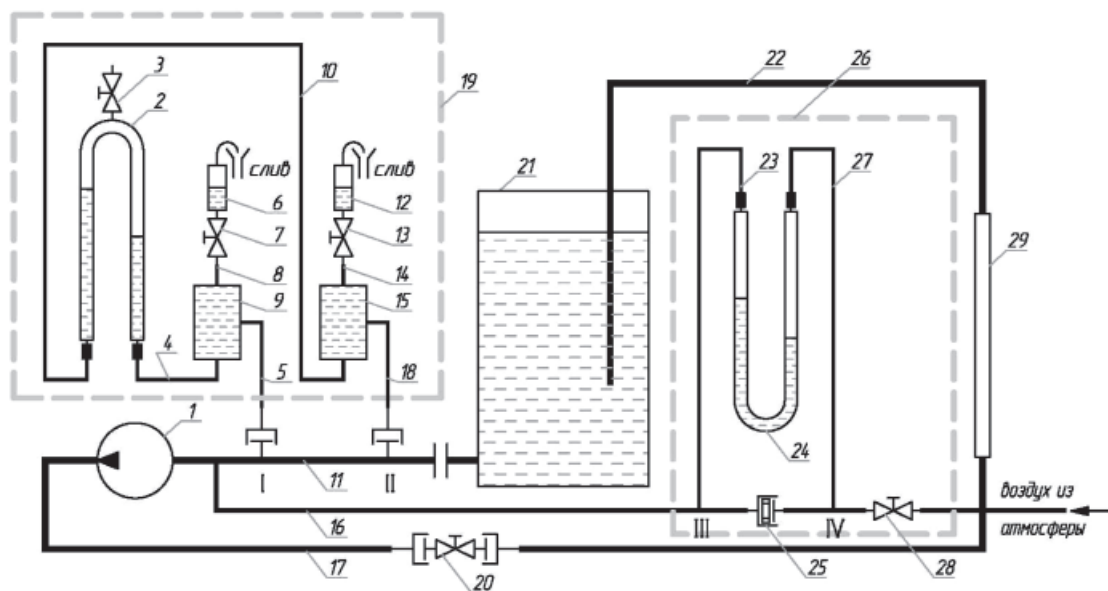


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для получения газожидкостной смеси:
 1 – центробежный насос НЦ 5/10; 2, 24 – пьезометры; 3, 7, 13 – продувочные вентили;
 4, 5, 8, 10, 14, 18 – шланги D_6 ; 6, 12 – смотровые колонки; 9, 15 – газосборники;
 11, 17, 22 – трубопроводы D_{30} ; 16 – трубопроводы D_{15} ; 19 – расходомер жидкости;
 20 – клапан D_{30} ; 21 – бак (100 л); 23, 27 – трубопроводы D_6 ; 25 – шайба дроссельная
 (D_3 , D_6 , D_{10}); 26 – расходомер воздуха; 28 – клапан D_{10} ; 29 – прозрачный рабочий участок

Основными элементами лабораторного стенда являются: центробежный насос 1, бак 21 емкостью 100 л, участок визуализации 19 из стекла, расходомеры воздуха 26 и жидкости 19. Установка работает от электропитания с напряжением, равным 380 В.

В качестве газожидкостной смеси исследовалась водо-воздушная смесь, где сплошной фазой является вода, а дисперсной – воздух.

Лабораторный стенд работает по замкнутому циклу как по воде, так и по воздуху. В связи с этим и ввиду небольшого объема бака не происходит разделения получаемой газожидкостной смеси. То есть полученная смесь газа и жидкости вновь всасывается в насос, что искажает результаты эксперимента (в особенности при повышении расхода воды). Во избежание погрешности в численных значениях расхода воды в баке 21 установлен разделитель с двойным слоем сетки (на рис. 1 условно не показан), размер отверстия которого равен $1,5 \times 1,5$ мм. Выбор разделителя осуществлялся на основе максимально достигаемого значения расхода жидкости.

Измерение расхода воздуха осуществлялось по методу перепада давления в сужающем устройстве на участке трубопровода (III–IV), измеренного пьезометром 24. Комплект расходомера воздуха 26 состоит из двухтрубного U-образного прибора давления с видимым уровнем (пьезометра) 24; трубопроводов 23, 27; сужающего устройства 25 и клапана 28.

Для измерения расхода жидкости использовался комплект расходомера жидкости 19, состоящий из следующего аппаратного оформления: пьезометра 2; газосборников 9, 15; смотровых колонок 6, 12; продувочных вентилях 3, 7, 13; шлангов 4, 5, 8, 10, 14, 18. Измерение расхода жидкости проводилось в зависимости от сопротивления участка трубопровода 11 (I–II).

Были построены градуировочные графики зависимости перепада давления от устанавливаемых расходов жидкости и воздуха $\Delta P(G)$, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Результаты многократных измерений обработаны методом наименьших квадратов путем построения регрессионной кривой.

Кроме того, в научной работе использовались следующие методы исследования:

- теоретический анализ научной литературы, периодических изданий, интернет-ресурсов, а также сравнение и систематизация возможных решений;

- изучение, обобщение традиционной технологии биологической очистки сточных вод и синтез возможного варианта решения;

- аналогия возможного направления совершенствования с отечественными и зарубежными решениями;

- конкретизация выбранного пути совершенствования.

Результаты исследования и их обсуждение

Достоверность результатов исследования и обоснованность выводов подтверждается большим объемом и длительностью исследований, проведенных на лабораторной установке, а также применением стандартизированных методов измерений, анализа и обработки результатов.

В результате лабораторного исследования построены графики зависимости средних диаметров пузырьков воздуха от расхода жидкости и воздуха $d(G)$, представленные на рис. 2 и 3. Максимальный средний диаметр пузырей составляет 5 мм.

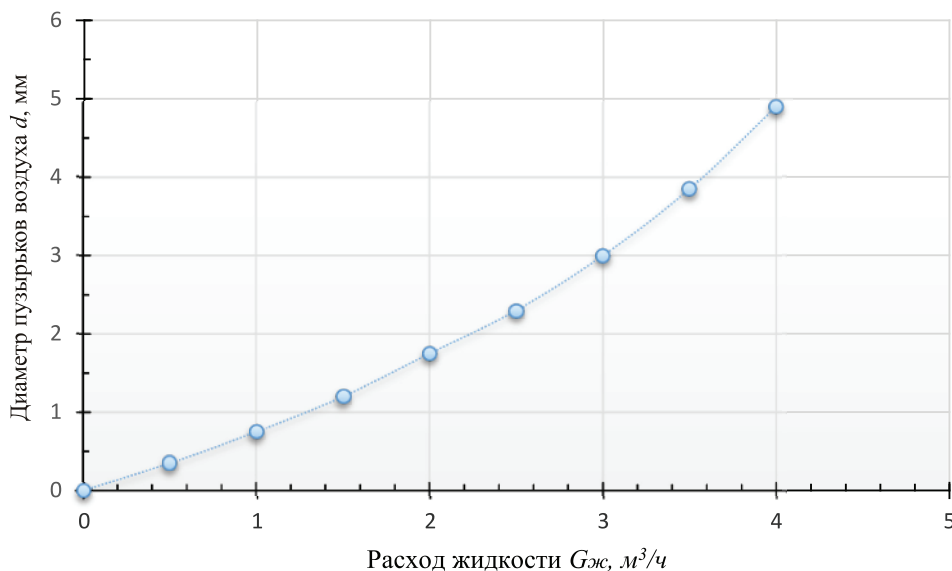


Рис. 2. Зависимость диаметров пузырьков от расхода жидкости

Результаты опытов показали, что при установке различных расходов жидкости G_j и воздуха G_v можно получить газожидкостные смеси с различными диаметрами

пузырьков воздуха (1–8 мм). При этом режим течения двухфазного потока (для обеих фаз) преобладает турбулентный. Опыт эксплуатации работы аэротенков показывает,

что это оптимальные условия для аэрации сточной жидкости [3, 4, 5].

Полученные в ходе лабораторного исследования результаты сведены в таблице.

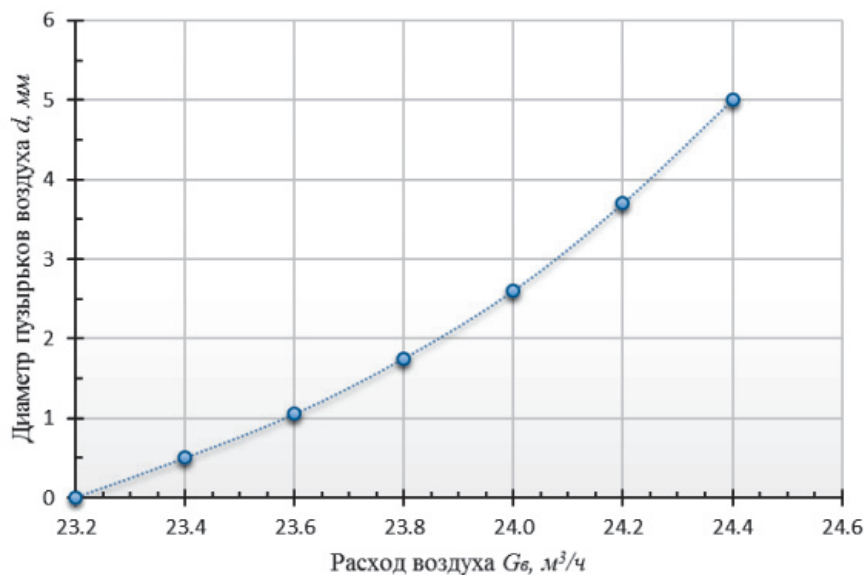


Рис. 3. Зависимость диаметров пузырьков от расхода воздуха

Результаты измерений

Максимально устанавливаемый расход воды, $\text{ м}^3/\text{ч}$	Максимально устанавливаемый расход воздуха, $\text{ м}^3/\text{ч}$	Предельные размеры пузырьков воздуха, мм	Объемное газосодержание, %	Режимы течения газожидкостной смеси (в зависимости от расходов)
4	24,4	0–8	0–87	ламинарный / – турбулентный / ламинарный турбулентный / турбулентный

В ряде исследований было установлено, что увеличение перемешивания и степени насыщения кислородом воздуха иловой смеси достигается сочетанием крупнопузырчатой и мелкопузырчатой аэрации. Это способствует распаду хлопьев активного ила на более мелкие фракции, увеличивает скорость поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, что в свою очередь приводит к повышению скорости очистки сточных вод в аэротенках. За счет интенсивного перемешивания, при котором активный ил находится во взвешенном состоянии, достигается турбулизация газожидкостной смеси, обеспечивая равномерное распределение ила в сточной воде [3].

Кроме того, результаты исследования и проведенные расчеты показали, что на разработанном лабораторном стенде можно осуществлять варьирование газосодержания в достаточно широких пределах

(от 0 до 87%). Этот факт увеличивает область применения установки и позволяет считать его универсальным, так как получаемые на нем смеси могут применяться как для повышения качества очистки стоков, так и, к примеру, для промывки внутренних полостей (трубопроводов и др.) различных систем [1].

Заключение

На основе лабораторного исследования приведено научное обоснование методики получения газожидкостных смесей повышенной устойчивости, устраняющей недостатки аналогов. Перспективность применения готовых газожидкостных смесей повышенной устойчивости подтверждена экспериментами.

Изучение процессов образования и кинетики газожидкостного потока на универсальном стенде позволит разработать математическую модель дисперсности га-

зожидкостных смесей и дать практические рекомендации их применения, в частности для биологической очистки сточных вод на канализационно-очистных сооружениях.

Применение готовых газожидкостных смесей на очистных сооружениях позволит интенсифицировать процесс биологической очистки сточных вод и снизить степень негативного воздействия на окружающую среду за счет сокращения объемов образующихся осадков.

Список литературы

1. Аин Е.М., Горобец А.Г., Агеев А.В., Долгобородова С.Н., Захаров А.А. Стенд для промывки изделий газожидкостным потоком // Патент России № 2414309. 2011. Бюл. № 8. – 5 с.
2. Баженов В.И., Денисов А.А. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод // Экология и промышленность России. – 2009. – Февраль. – С. 26–31.
3. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов / под ред. Ю.В. Воронова. – 4-е изд, доп. и перераб. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
4. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
5. Яковлев С.В., Скирдов И.В., Швецов В.Н. и др. Биологическая очистка производственных сточных вод // Процессы, аппараты и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

References

1. Ain E.M., Gorobets A.G., Ageev A.V., Dolgoborodova S.N., Zakharov A.A. Stand for washing products gas-liquid flow // Russian patent no. 2414309, 2011, bulletin no. 8, p. 5.
2. Bazhenov V.I., Denisov A.A. Designing modern systems of biological sewage treatment. Ecology and Industry of Russia, 2009, February, pp. 26–31.
3. Voronov Y.V. Yakovlev S.V. Sewerage and sewage treatment: proc. for universities. Edited by Y.V. Voronov. Fourth edition, ext. and rev. Moscow, Association in building schools, 2006. 704 p.
4. Zhmur N.S. Technological and biochemical processes of sewage treatment on constructions with aerotanks. Moscow, AKVAROS, 2003. 512 p.
5. Yakovlev S.V., Skirdov I.V., Shvetsov V.N. Biological treatment of industrial sewage. Processes, apparatuses and facilities. Moscow, Stroyizdat, 1985. 208 p.

Рецензенты:

Малыгин В.И., д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Институт судостроения и морской арктической техники (Севмашвтуз) (филиал), Северный (Арктический) федеральный университет, г. Северодвинск;

Черевко А.И., д.т.н., профессор, исполняющий обязанности директора Института переподготовки и повышения квалификации (филиал), Северный (Арктический) федеральный университет, г. Северодвинск.

Работа поступила в редакцию 27.12.2014.