

УДК 57.083.13

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГАЗОНАСЫЩЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ АЭРАТОРОМ**

**Н.Е. Курносов, Д.П. Алексеев**

Пензенский государственный университет,  
kurnosov-ne@mail.ru

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований процесса работы гидродинамического аэратора. Установлено, что наибольшая энергетическая эффективность аэратора достигается при величине давления на входе в аэратор  $P_a=0,2\text{МПа}$ .

**Ключевые слова:** гидродинамический аэратор; эжекция воздуха; окислительная способность; коэффициент массопередачи; энергетическая эффективность.

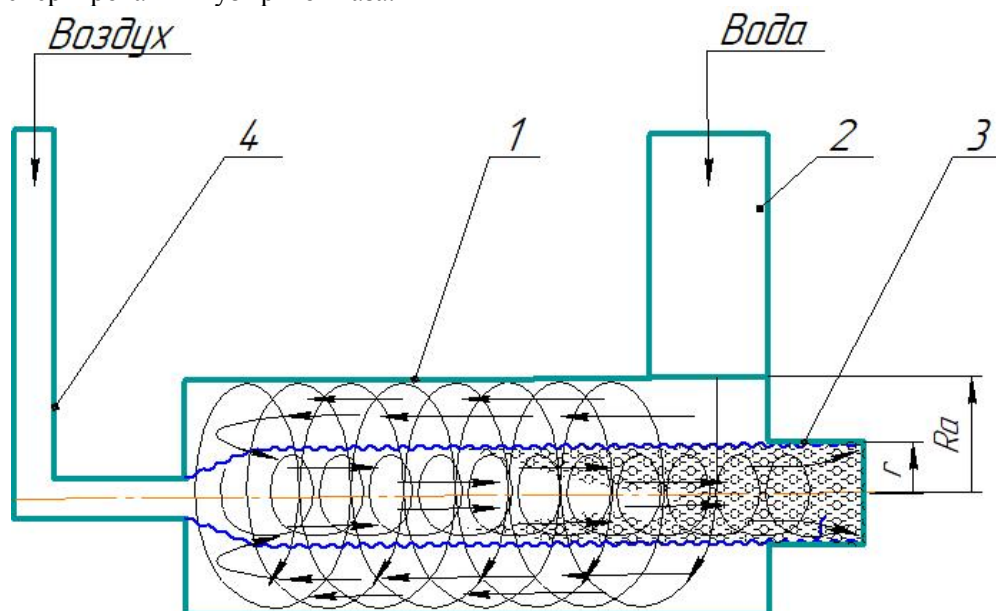
На сегодняшний день процессы газонасыщения играют важную роль во многих отраслях промышленности, определяя при этом не только себестоимость конечной продукции, но и ее качество. Наиболее ярким примером применения таких процессов является пищевая промышленность. При производстве безалкогольных напитков, пива, шипучих вин и т.д. жидкость насыщают диоксидом углерода ( $\text{CO}_2$ ), при производстве сахара для сульфитации и сатурации свекловичного сока, масложировой промышленности для гидрогенизации растительных жиров и окислительной полимеризации растительных масел [1, с. 5]. Процессы газонасыщения используют и в микробиологической промышленности. При аэробном культивировании микроорганизмов, необходима подача кислорода воздуха в культуральную жидкость. В сельском хозяйстве при производстве аквакультуры и овощей в закрытом грунте. Кроме того, активно применяются эти процессы при биологической очистке сточных вод, подготовки питьевых вод, регенерации воды в водоемах и т.д.

Вопросы интенсификации процессов растворения газов в жидкостях, во всех приведенных отраслях промышленности, остро стояли перед инженерами и учеными, так как от скорости проведения этого процесса, зависит общее время проведения технологического цикла.

В настоящее время применяются различные системы газонасыщения, которые в зависимости от способа подачи газа можно разделить на пневматические, механические, комбинированные и гидравлические [2, с. 42].

Самыми распространенными являются пневматические системы, представленные в виде перфорированных трубопроводов, фильтроносных пластин и т.д. Однако для работы таких систем требуются значительные энергозатраты, связанные с поддержанием необходимого напора в пневмомагистралях. С учетом все возрастающей стоимости энергоносителей насыщение водной среды газом данным способом становится очень энергоемким и дорогостоящим.

Принцип действия механических систем газообмена основан на вовлечении атмосферного воздуха вращающимися частями ротора. Однако такие системы имеют не высокую эффективность газонасыщения из-за неравномерности подачи и распределения газа по объему жидкости и низкой степени диспергирования пузырьков газа.



1 – корпус аэратора; 2 – тангенциальный патрубок для подачи воды; 3 – патрубок для вывода водовоздушной смеси; 4 – патрубок для эжектирования воздуха

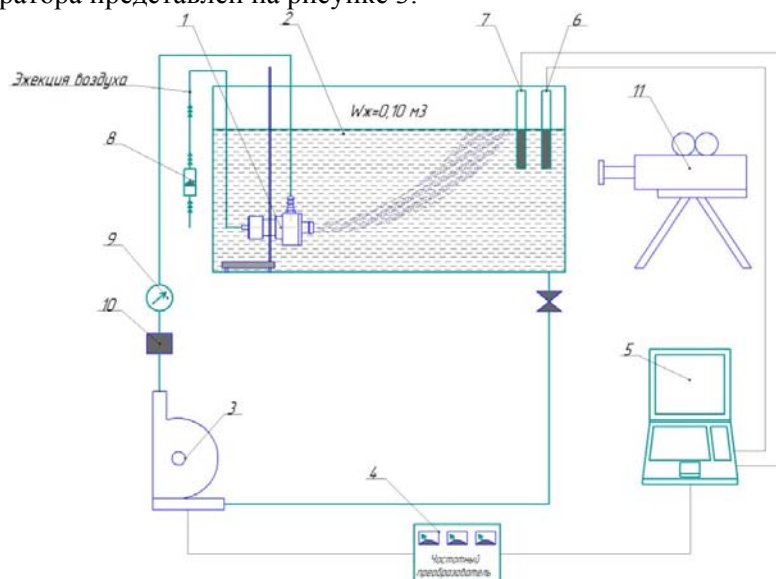
**Рисунок 1. – Схема вихревого гидравлического аэратора**

В последние годы широкое распространение получили гидравлические системы газонасыщения. Принцип действия таких устройств основан на использовании кинетической энергии истека-

ющей струи жидкости, что позволяет создать турбулентный поток, вовлекая газовую составляющую, и, тем самым, увеличивая эффективность газонасыщения жидких сред.

Сотрудниками Пензенского государственного университета ведется разработка новой конструкции гидродинамического аэратора [3]. Схема гидравлического аэратора представлена на рисунке 1.

К цилиндрической камере корпуса вихревого аэратора 1 тангенциально присоединен патрубок 2 для подачи жидкости. При поступлении в корпус аэратора 1 по тангенциально присоединённому к нему патрубку 2 поток жидкости приобретает вращательно-поступательное движение и перемещается в пристеночной области от одного торца к другому торцу корпуса аэратора где он меняет направление своего движения и двигается в приосевой области по направлению к патрубку 3. Тангенциальный ввод жидкости в корпус аэратора позволяет получить «тангенциальную» закрутку потока в приосевой области аэратора с постоянной величиной циркуляции скорости, что обеспечивает создание разрежения и эжектирования воздуха из атмосферы по патрубку 3. Экспериментальные исследования вихревого гидравлического аэратора проводились на лабораторном испытательном стенде, схема которого представлена на рисунке 2. Общий вид работающего вихревого гидравлического аэратора представлен на рисунке 3.



1 – вихревой гидравлический аэратор; 2 – аэрационный бассейн; 3 – центробежный насос; 4 – частотный преобразователь; 5 - ЭВМ; 6 – датчик температуры; 7 – датчик растворенного кислорода; 8 - ротаметр; 9 - манометр; 10 – расходомер жидкости

**Рисунок 2. Схема лабораторного испытательного стенда**



**Рисунок 3. – Общий вид работающего вихревого гидравлического аэратора**

Лабораторный стенд включает в себя следующее оборудование: емкость с прозрачными стенками имеющая объем  $V=0,1 \text{ м}^3$  (аэрационный бассейн) 1 на дне которого закреплялся вихревой гидравлический аэратор 2, центробежный насос 3 перекачивающий рециркуляционный поток аэрируемой воды из аэрационного бассейна в входной патрубок аэратора, датчик температуры 6 (ДТС035-50МВ3.80) и датчик концентрации кислорода 7 (OxyScan Light) показания с которых отображались на дисплее и сохранялись в памяти ЭВМ 5. Рабочие характеристики расход - напор центробежного насоса 3 изменялись при помощи частотного преобразователя 4. Расход воздуха эжектируемого гидравлическим аэратором контролировался ротаметром 8 (Bronkhorst EL-FLOW Select M423-19-00V). Уровень давления и расход рециркуляционного потока, подаваемого центробежным насосом в вихревой гидравлический аэратор, контролировался датчиком давления 9 (ПД100-ДИ10-10.И.110) и расходомером жидкости 10 (СГВ 15). Режим работы вихревого гидравлического аэратора фиксировали видеокамерой 11.

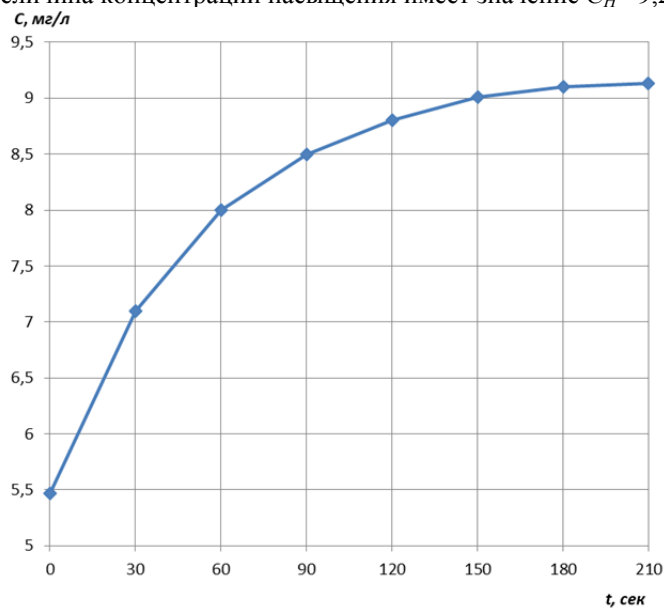
В экспериментальных исследованиях определялись зависимости концентрации кислорода в аэрационном бассейне от продолжительности процесса аэрации  $T$  при расходе перекачиваемой воды  $Q_{ж}=0,00054 \text{ м}^3/\text{с}$  и давлении на входе в аэратор  $P_a=0,8 \text{ МПа}$ . Полученные результаты представлены в виде графика изображенным на рисунке 4.

Величина объемного коэффициента массопередачи вихревого гидравлического аэратора  $K_W, \text{ с}^{-1}$  определялась по методике переменного дефицита кислорода по уравнению:

$$K_W = \frac{1}{T} \ln \frac{C_H - C_0}{C_H - C_T}, \text{ с}^{-1} \quad (1)$$

где  $T$  – продолжение процесса аэрации, с;

$C_H, C_0$ , и  $C_T$  – соответственно: концентрация насыщения воды кислородом воздуха, концентрация кислорода в аэрационном бассейне в начальный момент аэрации и через  $T$  секунд процесса аэрации,  $\text{мг/л}$ . При температуре воды  $t=19^\circ\text{C}$  величина концентрации насыщения имеет значение  $C_H=9,21 \text{ мг/л}$  ( $\text{г/м}^3$ ).



**Рисунок 4. – Зависимость величины концентрации растворенного кислорода в воде аэрационного бассейна  $C_t$  ( $\text{мг/л}$ ) от продолжительности процесса аэрации  $T$  ( $\text{сек}$ )**

Проведенные экспериментальные исследования показали, что величина объемного коэффициента вихревого гидравлического аэратора имеет значение  $K_W=0,018 \text{ с}^{-1}=65 \text{ ч}^{-1}$ .

Основными технологическими характеристиками вихревого гидравлического аэратора наряду с объемным коэффициентом массопередачи  $K_W, \text{ с}^{-1}$  являются: окислительная способность устройства  $OC, \text{ кг/с}$  ( $\text{кг/ч}$ ); коэффициент эжекции  $K_э$ ; коэффициент использования кислорода воздуха  $K_U$ ; энергоэффективности устройства  $\mathcal{E}_a, \text{ кгO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ .

Окислительную способность аэратора принято определять на водопроводной обескислороженной воде используя формулу:

$$OC = K_W \cdot C_H \cdot W_a = 0,018 \cdot 9,21 \cdot 0,1 = 0,06 \text{ кг/ч} \quad (2)$$

Величина коэффициента эжекции гидравлических аэраторов определяется как отношение объемного расхода, подсасываемого (эжектируемого) воздуха  $Q_{\text{в}}, \text{ м}^3/\text{ч}$  к объемному расходу перекачиваемой насосом жидкости  $Q_{\text{ж}}, \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$K_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{ж}}} = \frac{0,00055}{0,00054} = 1,02 \quad (3)$$

Величина использования кислорода воздуха определяется как отношение окислительной способности аэратора  $OC, \text{ кг/ч}$  к массе кислорода, содержащимся в прошедшем через аэратор атмосферном воздухе  $Q_{\text{тв}}, \text{ кг/ч}$ .

$$K_U = \frac{OC}{Q_{\text{тв}}} = \frac{OC}{3600 \cdot Q_{\text{в}} \cdot C_{\text{кв}}} \quad (4)$$

$$= \frac{0,06}{3600 \cdot 0,00055 \cdot 0,3} = 0,10$$

где  $C_{\text{кв}} = 0,3 \text{ кг/м}^3$  – концентрация кислорода в атмосферном воздухе.

Окислительная способность вихревого гидравлического аэратора может быть также определена по формуле:

$$OC = 3600 \cdot K_W \cdot C_{\text{кв}} \cdot Q_{\text{в}} = 3600 \cdot 0,1 \cdot 0,3 \cdot 0,00055 = 0,06 \text{ кг/ч} \quad (5)$$

Величина энергетической эффективности вихревого гидравлического аэратора определяется как отношение окислительной способности устройства  $OC$  к потребляемой аэратором мощности  $N$ .

$$\text{э}_a = \frac{OC}{N} = 3600 \cdot \frac{OC}{Q_{\text{ж}} \cdot P_a} = 3600 \cdot \frac{0,59}{0,00054 \cdot 0,8 \cdot 10^6} = 0,49 \text{ кгO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч} \quad (6)$$

В ходе проведения экспериментальных исследований гидродинамического аэратора удалось получить режим управляемой кавитации, происходящей внутри корпуса устройства. Однако для установления влияния кавитации на эффективность газонасыщения жидкости необходимо провести дополнительные исследования.

Таким образом, полученные в ходе проведения экспериментальных исследований вихревого гидравлического аэратора данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Наибольшая энергетическая эффективность гидравлического аэратора достигается при величине давления на входе в аэратор  $P_a = 0,2 \text{ МПа}$ .
2. При величине давления потока жидкости на входе в вихревой гидравлический аэратор  $P_a = 0,2 \text{ МПа}$  величины коэффициента эжекции воздуха и коэффициента использования кислорода воздуха имеют значения  $K_{\text{э}} = 0,77$  и  $K_U = 0,10$ .

#### Список использованных источников

1. Марков А. А. Разработка и научное обеспечение системы процессов насыщения воды кислородом : специальность 05.18.12 "Процессы и аппараты пищевых производств" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марков Александр Анатольевич. – Воронеж, 2013. – 208 с.
2. Алексеев Д. П. Повышение эффективности проведения процессов массообмена между жидкой и газовой фазой в биореакторах глубинного типа / Д. П. Алексеев, Ю. К. Измайлов // Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий и устройств : сборник статей 5 Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 апреля 2014 года / Под редакцией Н.Е. Курносова. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-методическая организация «Приволжский Дом знаний», 2014. – С. 38–42.
3. Патент № 2576056 С2 Российская Федерация, МПК В01F 3/04, В01D 53/18, С02F 3/12. Массообменный аппарат : № 2014122392/05 : заявл. 02.06.2014 : опубл. 27.02.2016 / Н. Е. Курносов, К. В. Лебединский, А. А. Николотов [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ВКМ Пенза".