

В.А. ВЬРЛАН, аспирант  
Технический университет Молдовы, Кишинев

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЖИДКОСТИ В БИОРЕАКТОРЕ

*Представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень гідродинамічного режиму рідини в біореакторі з комбінованим біоценозом. Для оцінки гідродинамічного режиму застосований метод імпульсної реакції з використанням солі NaCl. Відзначено, що максимальна концентрація трасера (NaCl) протягом короткого часу становить близько 30% в умовах аерації води і перемішуванні за допомогою змішувача.*

**Ключові слова:** біореактор, гідродинамічний режим, рідина, стічні води.

*Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований гидродинамического режима жидкости в биореакторе с комбинированным биоценозом. Для оценки гидродинамического режима применен метод импульсной реакции с использованием соли NaCl. Отмечено, что максимальная концентрация трассера (NaCl) в течение короткого времени составляет около 30% в условиях аэрации воды и перемешивании с помощью смесителя.*

**Ключевые слова:** биореактор, гидродинамический режим, жидкость, сточные воды.

*The results of theoretical and experimental studies of the hydrodynamic regime of a fluid in a bioreactor with combined biocenose are presented. To evaluate the hydrodynamic regime a pulsed reaction method using NaCl salt was used. It is noted that the maximum concentration of the tracer (NaCl) for a short time is about 30% under conditions of aeration of water and mixing with a mixer.*

**Key words:** bioreactor, hydrodynamic regime, liquid, sewage.

### Введение

Гидродинамический режим движения жидкости (сточных вод, сточных вод – воздух) играет важную роль в резервуарах для биологической очистки сточных вод. Это интересное поле с научной точки зрения, потому что поток жидкости имеет свои законы, мало известные исследователям. Эта область представляет интерес для специалистов потому что дисперсия воздуха в воде и перенос кислорода из газа в водную среду требуют большого количества энергии.

Статья анализирует эту область, как посредством теоретических, так и экспериментальных исследований и имеет целью выяснение гидродинамического режима, возникающего при создании и движении воздушных пузырьков через водную среду.

Для анализа гидродинамического режима жидкость считается состоящей из элементарных жидких объёмов, которые могут сохранять или не сохранять свою индивидуальность при входе в реактор и во время движения через рабочую зону.

Концепция элемента (кластера) жидкости или «материальной точки» обозначает небольшой объём его относительно размеров реактора, но достаточно большой, чтобы содержать значительное количество молекул, для которых можно определить непрерывные свойства, такие как плотность, концентрация.

Элементарные жидкие объёмы образуют статистическую популяцию, чьи индивидуумы будут иметь свое время пребывания в реакторе. Характеристика этой популяции и, соответственно, определение возраста элементарных объёмов, производится обычными статистическими методами. Каждая из этих функций содержит одну и ту же основную информацию, но некоторые аспекты гидродинамического режима неидеального потока часто намного лучше описываются одной из *K*-кривых.

#### **Описание экспериментальной установки**

Для выполнения экспериментов была построена и установлена экспериментальная установка для биологической очистки сточных вод.

Технология очистки на этой экспериментальной установке относится к т.н. гибридной, то-есть с использованием взвешенной биомассы (активный ил), а также прикрепленной микрофлорой, которая растёт на движущихся частях – элементах (мобильная биозагрузка) – технология *MBBR* (*mobile bed biological reactor*).

Экспериментальная установка имеет размеры 4,5 x 1,0 x 3,0 м (Д x Ш x В),  $V_{\text{гидр}} = 2,8$  м, разделена на 4 отсека: аноксичный биореактор – два аэробных биореактора – тонкослойный отстойник.

Экспериментальная установка оснащена следующими компонентами: погружной питательный насос для экспериментальной установки, система аэрации, воздуходувка, погружная мешалка, расходомер для измерения расхода перекачиваемой воды, ротаметры для измерения расхода воздуха, запорно-регулирующая арматура и т.д.

Движение воды из одного отсека в другой происходит по восходящему-нисходящему направлению.

Воздух попадает в экспериментальную установку с помощью воздуходувки и системы аэрации из перфорированных труб из нержавеющей стали. Подача сточных вод осуществляется с помощью погружного насоса из уравнительного резервуара и поддерживается в стационарном режиме при разных расходах.



Рис. 1. Экспериментальная установка. Справа налево: аноксичный биореактор, два аэробных биореактора, тонкослойный отстойник

### **Экспериментальный метод установления гидродинамического режима**

Чтобы оценить функции распределения времени пребывания (гидродинамический режим) используется импульсный метод, который заключается в введении сигнала в притоке и измерении отклика в конце потока (в тонкослойном отстойнике).

Эксперименты проводились в отсутствие химической реакции, и жидкость двигалась в стационарном режиме.

Входной сигнал вводится с помощью трассера, который должен удовлетворять следующим условиям:

- может быть измерен предпочтительно физическими методами даже при низких концентрациях;
- быть инертным (не реагировать) с жидкостью в системе, даже при низких концентрациях;
- не впитываться стенками установки;
- может быть введен в систему в режиме, требуемом типом эксперимента.

Для реализации такого сигнала трассер вводится в начало потока технологической жидкости (в аноксичный биореактор). Добавленный объем трассера определяет концентрацию,  $K$  (г/л).

Для экспериментов в качестве трассера была использована соль (NaCl).

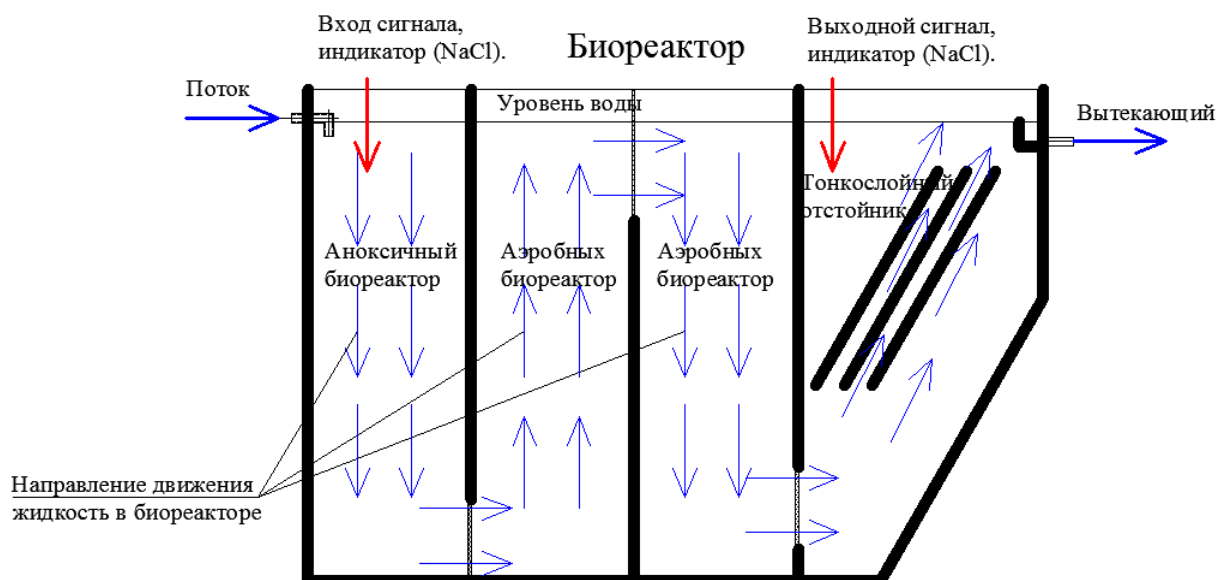


Рис. 2. Схема потока жидкости в биореакторе

### Результаты полученные при исследовании гидродинамического режима воды в различных условиях

Эксперименты проводились при различных расходах воды: 0,5, 1,0 и 2,0 м<sup>3</sup>/ч.

Трассер (NaCl) вводится в начало установки (в аноксичный биореактор) за очень короткое время (импульс в течение нескольких секунд).

Было проведено 6 экспериментов для того, чтобы установить гидродинамический режим воде в биореакторе для различных условий с различными расходами воды а именно:

- условие № 1. Без аэрации, без перемешивания, без рециркуляции – расход 0,5; 1,0; 2,0 м<sup>3</sup>/ч;
- условие № 2. С аэрацией, с перемешиванием, без рециркуляции – расход 0,5; 1,0; 2,0 м<sup>3</sup>/ч.

### Выводы

Исходя из экспериментов по выявлению гидродинамического режима движения воде в биореакторе были сделаны следующие выводы:

1. Максимальная концентрация трассера (NaCl) для условия №1 отмечена за более длительное время, чем условие №2, что показывает, что жидкость, состоящая из сточных вод – воздух, и подвергается перемешиванию с использованием мешалки быстрее перемещается в биореакторе примерно на 30%. Это отмечено на всех трех графиках, которые были выполнены для разных расходов;

2. В то же время наблюдается, что максимальная концентрация во времени приближается в соответствии с расчетами для расходов 1,0 м<sup>3</sup>/ч, то есть за время пребывания 2,0 часа для каждого отделения.

### Результаты К-кривые полученные для условия 1

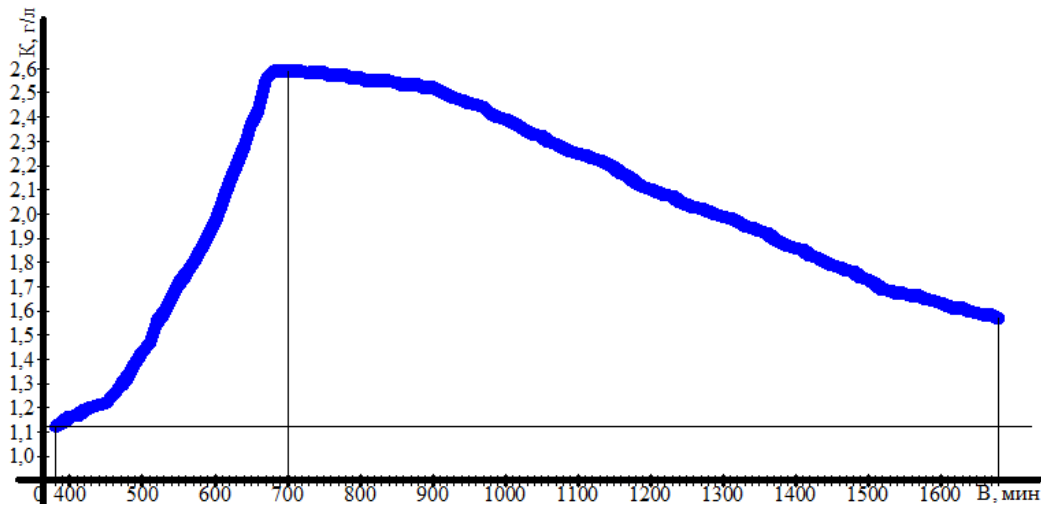


Рис. 3. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 0,5 м³/ч

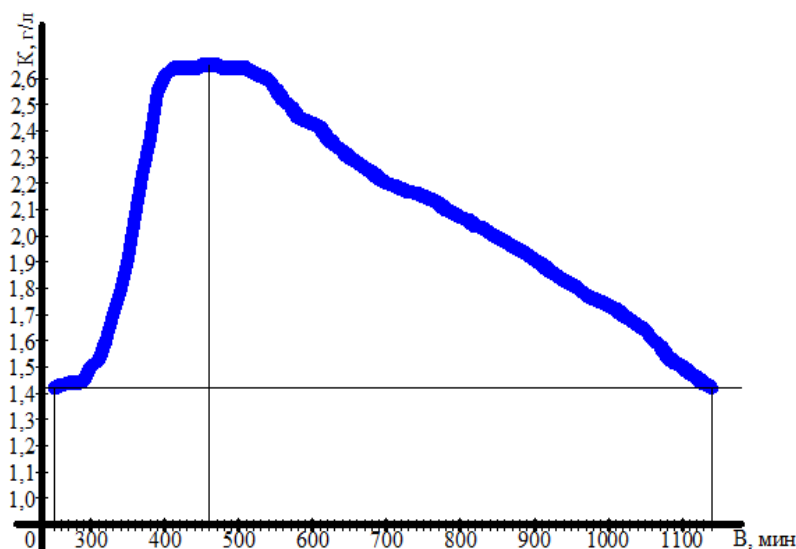


Рис. 4. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 1,0 м³/ч

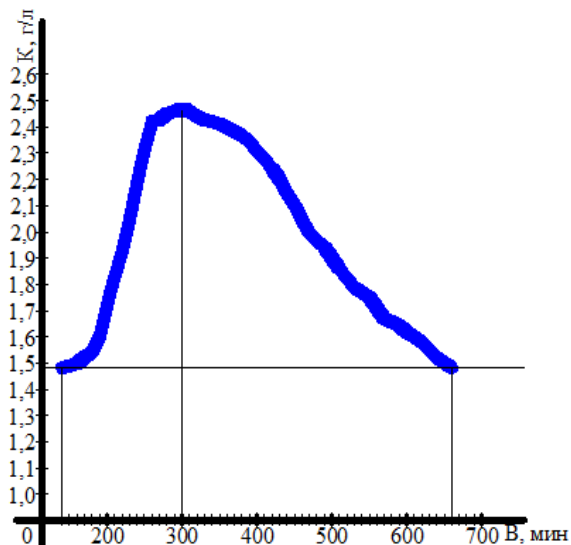


Рис. 5. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 2,0 м³/ч

## Результаты К-кривые полученные для условия 2

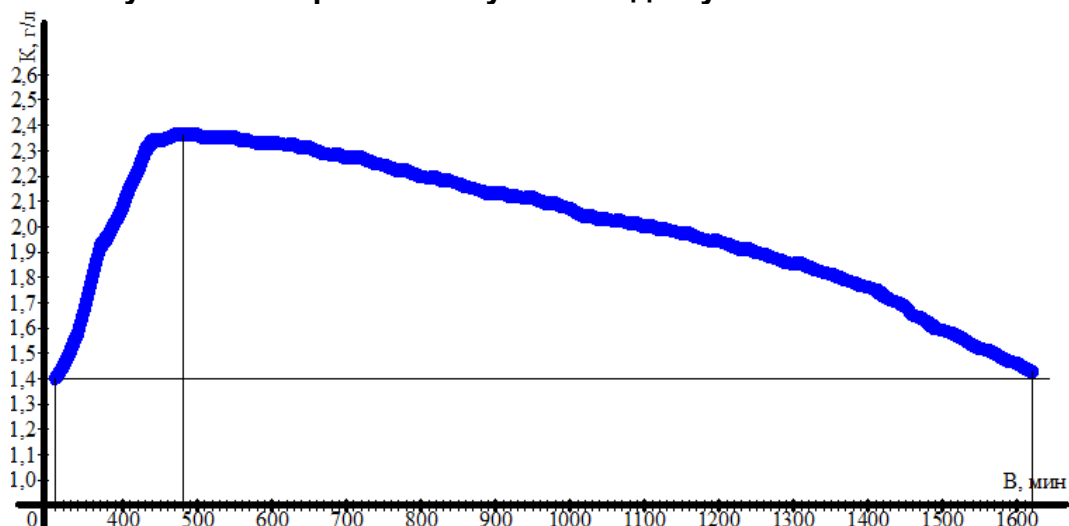


Рис. 6. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 0,5 м³/ч

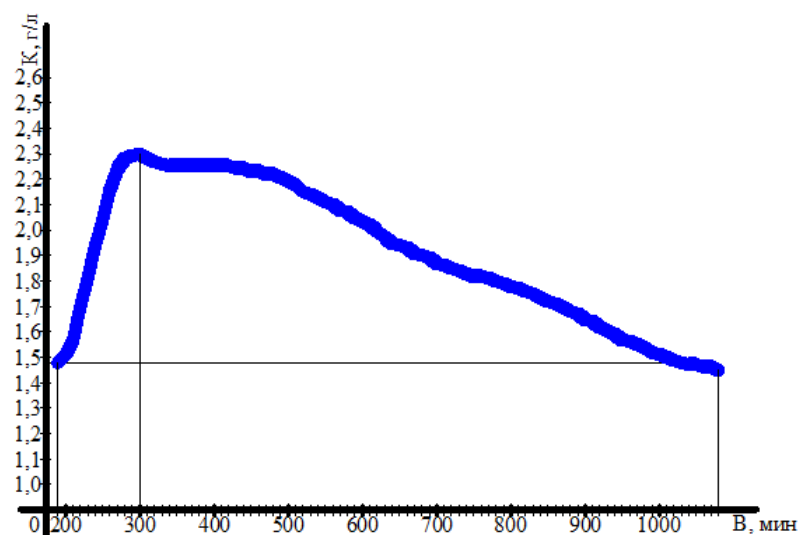


Рис. 7. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 1,0 м³/ч

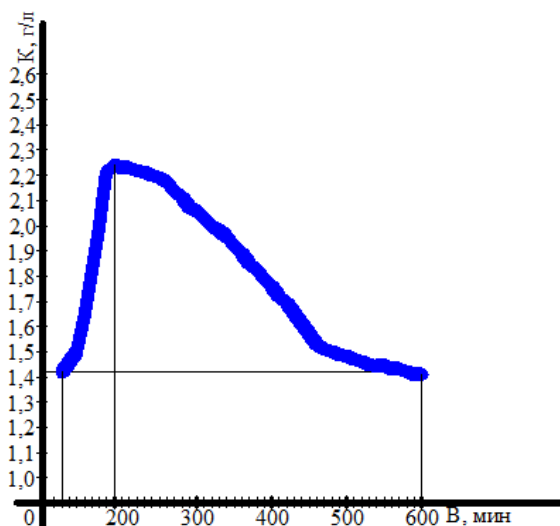


Рис. 8. Гидродинамический режим воде в биореакторе для расхода 2,0 м³/ч

## Список литературы

1. *Корина Ионеску*. Докторская диссертация. Теоретические и экспериментальные исследования потока полифазных флюидов через установку очистки для оптимизации энергии. Бухарест, 2017.
2. *О. Левеншпиль*. Chemical reaction engineering, John Wiley & Sons, New York, 1999.
3. *Г. Бозга, О. Мунтян*. Химические реакторы, том I. Технический издательский дом, Бухарест, 2001.
4. *Иоана Корина Мога, Ирина Вода*. Сборник статей. Бюллетень ISPE. Очистка сточных вод в резервуарах MBBR. Bucuresti, 2012.
5. *Диана Робеску, Феликс Строе, Аурел Престура, Дан Робеску*. Техника очистки сточных вод. Технический издательский дом, Бухарест, 2011.
6. *Мария Гаврилеску*. Учебный материал. Разработка химических и биологических процессов. Яссы.
7. *Иоана Корина Мога, Богдан Нэсэрымбэ-Греческу*. Сборник статей. Журнал Ecoind. Определение концентрации растворенного кислорода в биореакторах типа MBBR. Бухарест, 2011.

*Стаття надійшла до редакції 7.12.17*