

На правах рукописи

**РГБ ОД**

**18 ДЕК 2000**

**Конончук Ростислав Михайлович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ  
ВОД НА БАЗЕ ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное  
использование природных ресурсов

**Автореферат**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Казань – 2000

Работа выполнена на кафедре инженерной кибернетики  
Казанского энергетического института и в Казанском  
государственном технологическом университете

Научные руководители доктор технических наук,  
профессор Шарифуллин В. Н.

кандидат технических наук,  
доцент Зиятдинов Н.Н.

Официальные оппоненты доктор химических наук,  
профессор Дьяконов Г.С.

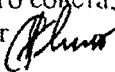
кандидат технических наук,  
Мухачев С. Г.

Ведущая организация ОАО Научно-исследовательский  
институт нефтепромышленной  
химии, г. Казань

Защита состоится "28" июня 2000 г. в 16 часов на заседании  
диссертационного совета Д 063.37.05 в Казанском  
государственном технологическом университете по адресу:  
420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68 (корпус "А", зал заседаний  
учёного совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
технологического университета.

Автореферат разослан "26" мая 2000 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,  
Кандидат технических наук, доцент  А. С. Сироткин

Н761.204.422-1,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Важное место среди существующих методов очистки сточных вод занимает биохимическая очистка. Для интенсификации процесса биохимической очистки воды могут быть использованы различные подходы. Эффективность исследования в данной области можно значительно повысить, применяя методы математического моделирования. Традиционно моделирование и проектирование биоочистки проводится на базе моделей, не учитывающих флоккулы активного ила. В ряде исследований при разработке математических моделей рассматривались процессы, происходящие при наличии флокул активного ила. Это работы Кафарова, Винарова, Вавилина, Васильева. Однако в них активный ил рассматривался как квазитвёрдая фаза, в то время как по физико-химическим свойствам ил можно отнести ко второй жидкой фазе. Кроме того, в них рассматривались не все процессы, происходящие в отдельно взятой флокуле. Не определена также взаимосвязь между концентрациями загрязнений в сточной воде и флокуле. Используя модели, приведенные в этих работах, нельзя определить некоторые важные параметры процесса: оптимальную концентрацию активного ила в аэротенке, оптимальные размеры флокул, оптимальную концентрацию кислорода в жидкости, а также оценить количество загрязнений, которое попадет из системы биоочистки в водные ресурсы с активным илом.

Это затрудняет использование их для более точного расчёта аппаратов и моделирования системы биоочистки. Поэтому в настоящей работе проводились исследования по учёту влияния флокул на базе разработанной модели кинетики биоочистки.

Диссертационная работа выполнена в рамках НИОКР "Химия и химическая технология" республики Татарстан (1996-97 г.г.).

**Цель работы.** Основная цель работы – исследование свойств системы биоочистки, непосредственно связанных с флокулами активного ила, таких как, оптимальный размер флокул активного ила и концентрация растворённого кислорода в сточной воде. Для этой цели необходимо построить модель кинетики биоочистки, с учётом процессов, протекающих во флокулах активного ила и смоделировать

систему биоочистки, включающую аэротенк, вторичный отстойник, регенератор.

**Научная новизна.** 1. Построена флокуляционная модель кинетики биоочистки, учитывающая перенос вещества во флокулы активного ила, протекание процесса биоокисления в них, а также изменение активности микроорганизмов. Проведена идентификация параметров модели по результатам кинетического эксперимента.

2. Установлена равновесная зависимость между концентрациями загрязнений в сточной воде и во флокулах активного ила.

3. Предложена модифицированная модель вторичного отстойника с учётом гибели микроорганизмов и зависимости содержания активного ила в осветлённом стоке от размера флокул.

4. На базе флокуляционной модели построена модель системы биохимической очистки сточных вод, включающей аэротенк, вторичный отстойник, регенератор.

#### **Практическая значимость работы**

1. Установлена зависимость содержания взвешенных веществ в осветлённом стоке от размера флокул.

2. Получена зависимость суммарных загрязнений, выносимых с очищенной сточной водой (загрязнения в сточной воде и во флокулах) от размеров флокул активного ила.

3. Определены размер флокул, концентрация кислорода в жидкости, концентрации активного ила в аэротенке, обеспечивающие минимальную сумму платежей ОАО "Казаньоргсинтез" в экофонд республики Татарстан за сброс загрязняющих веществ в водные ресурсы.

**Апробация работы.** Основные материалы диссертационной работы были доложены на Региональной научно-практической конференции "Промышленная экология и проблемы безопасного будущего" (г. Бавлы, 1997); на Республиканской научной конференции "Проблемы энергетики" (г. Казань, 1998); на 12 Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях" (ММТТ-12, г. Новгород, 1999); на V-ой Международной научной конференции "Методы кибернетики химико-технологических процессов" (КХТТИ-V-99 г. Казань, 1999).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения и пяти глав, выводов и библиографического указателя (141 наименований источников). Работа изложена на 117 страницах, содержит 15 таблиц, 23 рисунка.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования служили очистные сооружения ОАО "Казаньоргсинтез", как пилотные (экспериментальные) установки, так и промышленные аппараты.

Анализ проб проводили с использованием хроматографии, фотоколориметрии, комплексометрического и кислотно-основного титрования.

Для программирования разработанных моделей использовали язык программирования – Fortran-77. Для расчётов аппаратов и системы биохимической очистки сточных вод применяли программный комплекс расчёта и оптимизации химико-технологических систем, разработанный в центре "Системотехника" КГТУ.

#### Содержание работы

В первой главе дан обзор литературы по существующим моделям кинетики биохимической очистки сточных вод, а также моделям систем биоочистки. Наиболее подробно рассмотрены известные флокуляционные модели, процессы образования и распада флокул, указаны их недочёты и намечены основные задачи диссертационной работы.

#### Модель кинетики биоочистки во флокуле

Вторая глава посвящена разработке флокуляционной модели кинетики биоокисления.

В работе было принято, что активный ил – это жизнеспособные микроорганизмы, образующие флокулы. Загрязнитель и продукты автолиза могут находиться как во флокулах, так и в сточной воде. Общая концентрация загрязнителя складывается из концентрации в сточной воде и концентрации во флокулах. Это справедливо и для продуктов автолиза.

Взаимосвязь между концентрациями активного ила, продуктов автолиза, субстрата в сточной воде и во флокуле представлена следующими уравнениями

$$X = X_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot n, \quad (1)$$

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{ж}} + S_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot n, \quad (2)$$

$$Y_{\text{общ}} = Y_{\phi} \cdot V_{\phi} \cdot n + Y_{\text{ж}}, \quad (3)$$

где  $S_{\text{общ}}$  – общая концентрация загрязнителя, мг/дм<sup>3</sup>;  $S_{\text{ж}}$  – концентрация загрязнителя в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $S_{\phi}$  – концентрация загрязнителя во флокулах активного ила, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{\phi}$  – объём флокулы, дм<sup>3</sup>;  $n$  – число флокул в единице объёма жидкости, 1/дм<sup>3</sup>;  $Y_{\text{общ}}$  – общая концентрация продуктов автолиза, мг/дм<sup>3</sup>;  $Y_{\text{ж}}$  – концентрация продуктов автолиза в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $Y_{\phi}$  – концентрация продуктов автолиза во флокулах, мг/дм<sup>3</sup>;  $X$  – концентрация активного ила в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_{\phi}$  – плотность сухого вещества во флокуле активного ила, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_{\phi} = 226000$  мг/дм<sup>3</sup>.

Далее рассмотрена кинетика биоочистки во флокуле. Принято, что в процессе роста микроорганизмов, концентрация активного ила внутри флокулы не изменяется ( $X_{\phi} = \text{const}$ ), а прирост биомассы осуществляется через увеличение числа флокул  $n$ . Для описания кинетики роста микроорганизмов и окисления органического субстрата принята модель Герберта, учитывающая гибель микроорганизмов

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - k_1) \cdot X, \quad (4)$$

$$\frac{dS_{\phi}}{dt} = -\alpha_s \cdot \mu \cdot X_{\phi}, \quad (5)$$

где  $\alpha_s$  – стехиометрический коэффициент;  $\mu$  – удельная скорость роста, 1/ч.

Биохимическая очистка – это сложный процесс, включающий не только очистку стоков, но и восстановление активности микроорганизмов. Изменение активности микроорганизмов в системе биоочистки можно учесть через процессы гибели, автолиза микроорганизмов и окисления автолизата. На основании этого, уравнения кинетики биоочистки должны содержать не только уравнения роста микроорганизмов и окисления субстратов, но и уравнения образования и окисления продуктов автолиза

$$\frac{dY_{\Phi}}{dt} = k_1 \cdot X_{\Phi} - k_2 \cdot X_{\Phi} \cdot Y_{\Phi}, \quad (6)$$

где  $k_1$  – константа скорости образования продуктов автолиза, 1/ч;  
 $k_2$  – константа скорости окисления продуктов автолиза,  $\text{дм}^3 / (\text{мг ч})$ .

Удельная скорость роста  $\mu$  выражается как сепарабельная функция основных факторов, влияющих на кинетику, в число которых входят концентрации субстрата  $S_{\Phi}$ , растворенного кислорода  $C_{\Phi}$  и продуктов автолиза  $Y_{\Phi}$ :

$$\mu = \mu_m \cdot f_1(S_{\Phi}) \cdot f_2(C_{\Phi}) \cdot f_3(Y_{\Phi}), \quad (7)$$

где  $\mu_m$  – максимальная удельная скорость роста биомассы, 1/ч;

Субстратная составляющая удельной скорости роста  $f_1(S_{\Phi})$  выражалась формулой Моно

$$f_1(S_{\Phi}) = \frac{S_{\Phi}}{k_s + S_{\Phi}}, \quad (8)$$

где  $k_s$  – константа насыщения по субстрату,  $\text{мг/дм}^3$ .

Влияние концентрации растворенного кислорода  $f_2(C_{\Phi})$  учитывалось также формулой Моно

$$f_2(C_{\Phi}) = \frac{C_{\Phi}}{k_C + C_{\Phi}}, \quad (9)$$

где  $k_C$  – константа насыщения по кислороду,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $C_{\Phi}$  – концентрация кислорода во флокуле,  $\text{мг/дм}^3$ .

Продукты автолиза, как известно, оказывают ингибирующее воздействие на кинетику ферментации. Это влияние учитывалось как и в модели Иерусалимского соотношением

$$f_3(Y_{\Phi}) = \frac{1}{1 + d \cdot Y_{\Phi}}, \quad (10)$$

где  $d$  – константа ингибирования,  $\text{дм}^3/\text{мг}$ .

### Флокуляционная модель биоочистки и регенерации

В работе принята гипотеза о перераспределении концентраций загрязнений между сточной водой и флокулами активного ила, вследствие разности их физико-химических свойств. Это явление предложено рассматривать как процесс экстракции.

Далее рассмотрена модель кинетики биоочистки и регенерации в сточной воде с учётом массопереноса и процессов во флокулах активного ила.

Изменение концентрации загрязнителя и продуктов автолиза в сточной воде и во флокулах активного ила, можно выразить следующей системой уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS_{ж}}{dt} = -K_{\phi} \cdot f \cdot (S_{ж} - S_{ж}^*) \\ \frac{dS_{\phi}}{dt} = K_{\phi} \cdot f \cdot (S_{ж} - S_{ж}^*) \cdot \frac{X_{\phi}}{X} - \alpha_S \cdot \mu \cdot X_{\phi} \\ S_{ж}^* = S_{\phi} / K \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dY_{\phi}}{dt} = k_1 \cdot X_{\phi} - k_2 \cdot X_{\phi} \cdot Y_{\phi} - K_{\phi} \cdot f \cdot (Y_{\phi} - Y_{\phi}^*) \\ \frac{dY_{ж}}{dt} = K_{\phi} \cdot f \cdot (Y_{\phi} - Y_{\phi}^*) \cdot \frac{X}{X_{\phi}} \\ Y_{\phi}^* = Y_{ж} \cdot K_y \end{array} \right. \quad (12)$$

где  $S_{ж}^*$  – равновесная концентрация загрязнителя в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $Y_{\phi}^*$  – равновесная концентрация продуктов автолиза во флокулах, мг/дм<sup>3</sup>;  $K$  – константа распределения загрязнителя в системе сточная вода – флокулы;  $K_y$  – константа распределения продуктов автолиза в системе сточная вода – флокулы;  $K_{\phi}$  – коэффициент массоотдачи в системе сточная вода – флокулы, м/час;  $f$  – удельная поверхность флокул, 1/м;

Равновесная зависимость между концентрациями загрязнений в сточной воде и во флокулах была экспериментально проверена для



фенола и для обобщённой концентрации загрязнений сточной воды АО "Казаньоргсинтез", выраженной в ХПК. Методика эксперимента заключалась в следующем: в коническую колбу ёмкостью 1 л помещали 1 л воды с активным илом, взятой на выходе из регенератора ( $X = 3,5$  г/л). В такую же колбу помещали 1 л дистиллированной воды. В обе колбы добавляли равные количества фенола (от 1 до 10 мг) или сточной воды, через 10 мин фильтровали и определяли концентрацию загрязнителя на фотоэлектроколориметре.

Общая концентрация загрязнителя равна его концентрации в дистиллированной воде. Из уравнений (1) – (2) можно найти концентрацию загрязнений во флокуле.

Результаты экспериментов обработаны методом наименьших квадратов в форме линейной зависимости (рис. 1, 2). Получено значение коэффициента распределения для фенола  $K \approx 64,5$  и для обобщённой концентрации загрязнений сточной воды  $K = 36,25$ , что говорит о значительном перераспределении компонентов между сточной водой и флокулами активного ила.

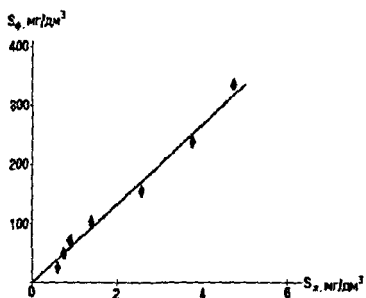


Рис. 1. Распределение концентраций фенола в сточной воде и во флокуле активного ила

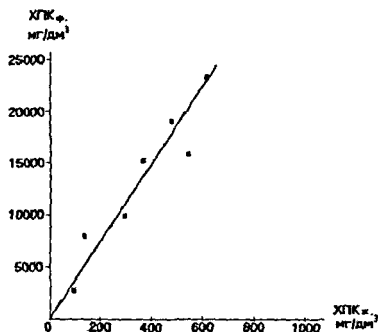


Рис. 2. Распределение концентраций ХПК в сточной воде и во флокуле активного ила

Для идентификации и проверки адекватности флокуляционной модели кинетики биоочистки был проведён эксперимент на сточной воде ОАО "Казаньоргсинтез". Эксперимент проводился в аппарате

барботажного типа, объёмом 6 л. В "аэротенк" заливали 2л активного ила и 4л сточной воды и подавали воздух. Через определенные промежутки времени проводились отборы проб для анализа покомпонентного состава и обобщенной концентрации, выраженной в ХПК. Полученные экспериментальные данные по ХПК (рис. 3), использованы для идентификации констант, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Кинетические параметры модели

$k_1$	$k_2$	$d$	$k_s$	$\alpha_s$	$\mu_m$
0.0002	0.0000015	0.001	503	1.1	0.04

С учётом этих констант проведено моделирование кинетики и получены расчётные кинетические кривые в сточной воде и во флокулах (рис. 3, 4).

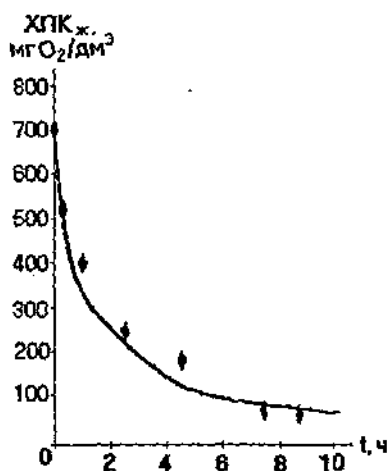


Рис.3. Расчётная и экспериментальная кинетические кривые по ХПК в сточной воде с учётом флокул

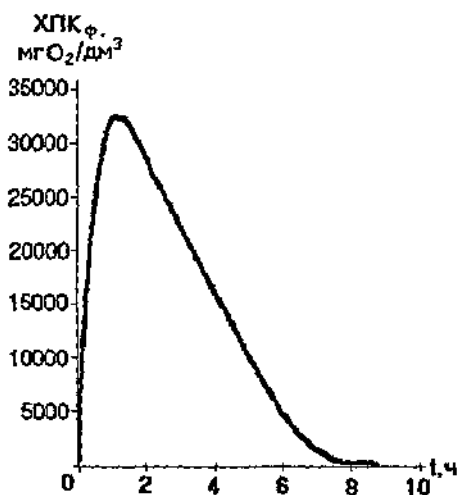


Рис. 4. Расчётная кинетическая кривая по ХПК во флокулах

Учёт флоккул в процессах массопередачи и потребления кислорода в зоне аппарата с идеальным смешением потоков проводился с помощью следующей системы уравнений

а) уравнение материального баланса по кислороду в газовой фазе

$$G \cdot \rho_r \cdot (Z_0 - Z_1) = K_L a \cdot (C^* - C_v) \cdot V_p \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

б) уравнение материального баланса по растворённому кислороду

$$K_L a \cdot (C^* - C_v) = K_f f \cdot (C_v - C_n) \quad (14)$$

в) уравнение диффузии во флоккуле с учетом потребления кислорода клетками

$$\frac{\partial^2 C_\Phi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial C_\Phi}{\partial r} = \frac{1}{D} \cdot \alpha_{O_2} \cdot \mu \cdot X \quad (15)$$

(при граничных условиях:  $r = R : C_\Phi = C_n$  ;  $r = 0 : \frac{dC_\Phi}{dr} = 0$ )

где  $C^*$  – равновесная концентрация кислорода в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_v$  – концентрация кислорода в объеме жидкости, мг/дм<sup>3</sup>;  $G$  – расход газа, м<sup>3</sup>/час;  $K_L a$  – коэффициент массопередачи в системе газ – жидкость, 1/ч;  $Z_0$  – мольная доля кислорода на входе воздуха в аппарат;  $Z_1$  – мольная доля кислорода на выходе воздуха из аппарата;  $V_p$  – объём аппарата, м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $C_n$  – концентрация кислорода на поверхности флоккулы, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_\Phi$  – концентрация кислорода во флоккуле, мг/дм<sup>3</sup>;  $K_f$  – коэффициент массоотдачи в системе сточная вода – флоккулы, м/час;  $f$  – удельная поверхность флоккул, 1/м;  $D$  – коэффициент диффузии кислорода во флоккуле, м<sup>2</sup>/час.

### Моделирование аппаратов и системы биоочистки на базе флокуляционной модели

Для математического описания гидродинамической структуры потока в азротенке канального типа проведён эксперимент с использованием индикаторного метода. В результате обработки кривой отклика на импульсное возмущение по концентрации индикатора установлено, что моделью структуры потока в аппарате является ячеечная модель с обратными потоками и застойными зонами.

В 3-ей главе на основании установленных гидродинамических особенностей, построены математические модели аэротенка и регенератора, с учетом флокуляционной модели кинетики.

4-ая глава посвящена построению модели вторичного отстойника. Для моделирования вторичного отстойника использован метод Дика. Суть метода заключается в том, что суммарный поток активного ила, направленный ко дну отстойника, складывается из нисходящего потока придонных слоев и потока, возникающего в результате осаждения частиц под действием силы тяжести.

Модель позволяет установить взаимосвязь между площадью поперечного сечения вторичного отстойника и концентрацией возвратного ила и дополнена уравнениями, учитывающими процессы изменения активности микроорганизмов и зависимость концентрации активного ила в осветленном стоке от нагрузки на отстойник.

$$Q_y = A \cdot U_0 \cdot (b-1) \cdot \left[ \frac{X_y \cdot (b-1)}{X_{вх} \cdot b} \right]^{-b}, \quad (16)$$

$$Q_y \cdot Y_{O_y} = Q_{вх} \cdot Y_{O_{вх}} + K_1 \cdot X_y \cdot VO - Q_{вых} \cdot Y_{O_{вых}}, \quad (17)$$

$$q_{от} = 4,5 \cdot v \cdot H^{0,8} / (0,1 \cdot J \cdot X_{вх})^{0,15-0,001 \cdot X_{вых}}, \quad (18)$$

где  $X_{вых}$  – концентрация активного ила в осветлённом стоке, мг/дм<sup>3</sup>;  $H$  – глубина проточной части вторичного отстойника, м;  $V$  – коэффициент для вторичного отстойника (для радиального равен 0,4),  $J$  – иловый индекс, см<sup>3</sup>/г;  $q_{от}$  – нагрузка на вторичный отстойник, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч);  $Y_{O_{вх}}$ ,  $Y_{O_{вых}}$ ,  $Y_{O_y}$  – общая концентрация продуктов автолиза во входном, выходном и уплотнённом потоке отстойника, мг/дм<sup>3</sup>;  $K_1$  – константа гибели микроорганизмов, 1/ч;  $VO$  – объём отстойника, м<sup>3</sup>;  $Q_{вх}$ ,  $Q_{вых}$ ,  $Q_y$  – расходы сточной воды во входном, выходном и уплотнённом потоках отстойника, м<sup>3</sup>/ч;  $X_{вх}$ ,  $X_{вых}$ ,  $X_y$  – концентрации активного ила во входном, выходном и уплотнённом потоках отстойника, мг/дм<sup>3</sup>.

Экспериментально установлено, что начальная скорость осаждения флоккул активного ила  $U_0$  и фловый индекс  $J$  зависят от размеров флоккул (рис. 5).

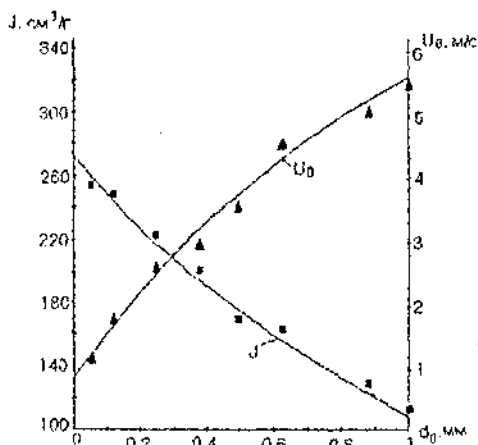


Рис. 5. Зависимость начальной скорости осаждения флоккул активного ила и флового индекса от размера флоккул

В 5-ой главе разработанные математические модели аппаратов системы биохимической очистки сточных вод использованы для моделирования системы биоочистки.

По результатам работы промышленного объекта была проведена повторная идентификация математических моделей аппаратов. Результаты идентификации аппаратов приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Кинетические параметры модели для системы биохимической очистки сточных вод

	$k_1$	$k_2$	$d$	$k_s$	$\alpha_s$	$\mu_m$
аэротенк	0.0047	0.0000015	0.001	503	1.1	0.042
регенератор	0.0002	0.0000015	0.001	543	1.2	0.01

Таблица 3

Константы вторичного отстойника

	$k_1$	$b$	$v_0$
Вторичный отстойник	0,016	6,53	1,75

В результате моделирования системы биоочистки, получены профили концентраций субстрата, биомассы активного ила и продуктов автолиза, по времени пребывания в системе биоочистки при сосредоточенной подаче сточной воды в аэротенк (рис. 6).

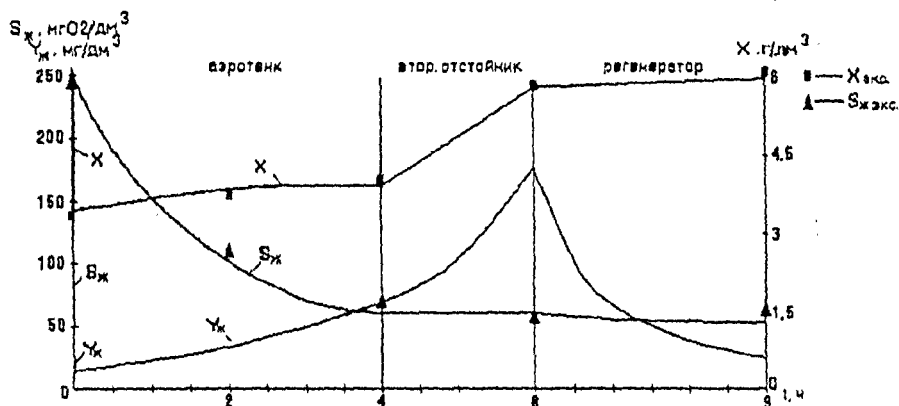


Рис. 6. Изменение концентрации активного ила  $X$ , продуктов автолиза  $Y$  и загрязнений  $S$  по времени пребывания потока  $t$  в системе

В соответствии с результатами моделирования в системе происходят следующие процессы:

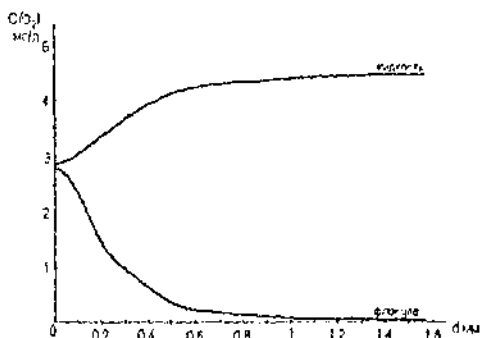
1) Концентрация активного ила снижается в начале аэротенка за счёт разбавления сточной водой. Затем она увеличивается сначала в результате роста биомассы (в аэротенке), а потом за счёт сгущения в потоке возвратного ила из вторичного отстойника. В регенераторе прирост биомассы происходит слабо;

2) Концентрация субстрата резко увеличивается в начале аэротенка, в результате сосредоточенной подачи сточной воды, затем падает последовательно в аэротенке и регенераторе. Во вторичном отстойнике процесса очистки не происходит;

3) Концентрация продуктов автолиза сначала снижается в аэротенке за счёт разбавления сточной водой, затем постепенно увеличивается по всей длине аппарата и достигает пика в потоке уплотнённого ила из вторичного отстойника, в результате интенсивной гибели микроорганизмов в нём. В регенераторе происходит восстановление активности биомассы, связанное с доокислением загрязнений и окислением продуктов автолиза.

Построенная модель позволяет анализировать состояние системы в любой точке системы, что в дальнейшем позволит регулировать основные параметры регенерации.

Скорость окисления субстрата зависит от размеров флокул. С уменьшением размеров флокул происходит увеличение коэффициента массопередачи кислорода во флокулу, и концентрация кислорода во флокуле увеличивается. Это обеспечивает нормальное протекание жизнедеятельности микроорганизмов.



Зависимость концентрации кислорода в сточной воде и во флокулах активного ила от размеров флокул приведена на рис. 7.

Низкая концентрация кислорода во флокулах активного ила приводит к лимитированию скорости роста микроорганизмов, и степень очистки в системе биохимической очистки сточных вод снижается.

Рис. 7. Зависимость концентрации кислорода в жидкости и во флокуле активного ила от размера флокул

Высокая степень очистки достигается при малых размерах флокул. Однако флокулы малых размеров уносятся из вторичного отстойника в виде взвешенных веществ, что в конечном итоге приводит к загрязнению водоёмов. И хотя концентрация взвешенных веществ в очищенном стоке не очень велика, превышение её выше ПДК (15 мг/л) недопустимо. Это обусловлено также тем, что в связи со сложным рельефом дна водоёмов, флокулы активного ила способны накапливаться на некоторых участках, вызывая очаги поражения остаточными загрязнениями, содержащимися во флокулах активного ила в виде трудноокисляемых соединений и тяжёлых металлов.

Разработанная флокуляционная модель позволяет определять концентрацию загрязнителя как в сточной воде, так и во флокулах активного ила, а также определять количество загрязнений, которое попадёт вместе с активным илом из вторичных отстойников в

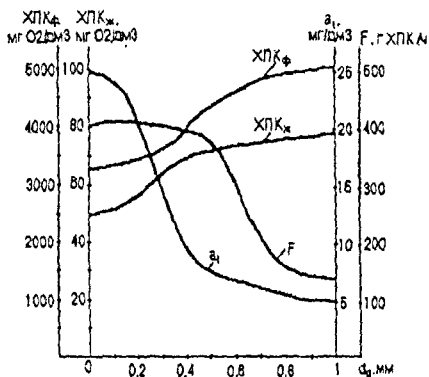


Рис. 8. Зависимость качества очистки и содержания активного ила в осветлённой воде от размера флокул

флокулах активного ила. Определение оптимального размера флокул, при котором сумма платежей ОАО "Казаньоргсинтез" в экофонд республики Татарстан будет минимальной, было проведено по двум показателям – БПК (полное) и взвешенным веществам. Все расчеты

П, тыс.руб/год

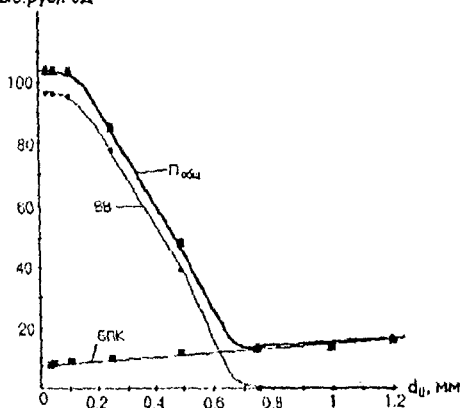


Рис. 9. Влияние размера флокул на сумму платежей

водоёмы. Влияние размера флокул на концентрацию активного ила, в виде взвешенных веществ, и основные расчётные параметры для очищенного стока на выходе из вторичного отстойника показано на рис. 8.

Из графиков следует, что с увеличением размера флокул снижается количество активного ила, выносимого из вторичных отстойников, однако при этом увеличивается содержание загрязнений в очищенной воде и во

проведены в соответствии с нормативами Кабинета Министров республики Татарстан № 814 от 10.12.1999г.

Зависимость суммы платежей от размера флокул активного ила в системе биохимической очистки сточных вод, приведена на рис. 9. Определён оптимальный размер флокул, который для данных условий оказался равным 0,7 мм. При этом



размере не происходит излишнего выноса активного ила из вторичного отстойника, и будет обеспечиваться оптимальная степень очистки стоков при фиксированных затратах энергии и нагрузках на очистные сооружения.

Из графика, приведённого на рис. 7, следует, что оптимальная концентрация кислорода в сточной воде, соответствующая оптимальному размеру флокул активного ила равна  $4 \text{ мг/дм}^3$ . Снижение этого значения не допустимо, так как это скажется в ухудшении качества очистки. Превышение оптимальной концентрации кислорода также не желательно, так как это связано с увеличением энергозатрат, а также может привести к разрушению флокул активного ила за счёт усиления перемешивания, что в конечном итоге приведет к выносу активного ила из вторичных отстойников.

### Основные выводы и результаты

1. Процессы роста биомассы и окисления субстрата рассмотрены на уровне флокул активного ила, в которых учтены также процессы изменения активности микроорганизмов, через образование и окисление продуктов автолиза.

2. Исследовано явление перераспределения растворённых органических соединений между сточной водой и биомассой. Получена зависимость между концентрациями загрязнений в жидкости и во флокулах активного ила.

3. Построена флокуляционная модель кинетики биоочистки, учитывающая перенос вещества во флокулы активного ила и протекание процесса биоокисления, а также изменение активности микроорганизмов. Проведена идентификация параметров модели по результатам кинетического эксперимента.

4. Предложена модифицированная модель вторичного отстойника, учитывающая гибель микроорганизмов и зависимость содержания активного ила в осветлённом стоке от размера флокул.

5. Проведено моделирование системы биохимической очистки сточных вод с учётом флокуляционной модели. Проведена идентификация модели по результатам работы промышленного объекта.

6. Получены кривые распределения концентраций субстрата, биомассы активного ила и продуктов автолиза, в аппаратах системы биочистки.

7. Установлена зависимость содержания взвешенных веществ в осветлённом стоке от размера флокул.

8. Получена зависимость суммарных загрязнений, выносимых с очищенной сточной водой (загрязнения в сточной воде и флокулах) от размеров флокул активного ила.

9. Получена зависимость суммы платежей в экофонд республики Татарстан за сброс загрязняющих веществ в водные ресурсы от размера флокул активного ила.

10. Определены и рекомендованы оптимальные размер флокул, концентрация кислорода в жидкости, концентрация активного ила в аэротенке, при которых расходы АО "Казаньоргсинтез", связанные с компенсацией вреда, наносимого окружающей среде в результате неполной очистки сточной воды на очистных сооружениях будут минимальными.

**Основное содержание диссертации изложено в работах:**

1. Шарифуллин В. Н., Конончук Р. М., Зиятдинов Н. Н. Интенсификация биологической очистки стоков. / Тезисы докладов региональной научно-практической конференции "Промышленная экология и проблемы безопасного будущего", Бавлы, 1997, С. 101-102.

2. Шарифуллин В. Н., Конончук Р. М., Зиятдинов Н. Н. Оптимизация биологической очистки стоков. / Материалы докладов республиканской научной конференции "Проблемы энергетики", Казань, 1998 ч.3, С. 28-29.

3. Конончук Р. М., Шарифуллин В. Н., Зиятдинов Н. Н. Математическое моделирование биохимической очистки сточных вод от нефтепродуктов. / Материалы докладов республиканской научной конференции "Проблемы энергетики", Казань, 1998, ч.3, С. 29-30.

4. Шарифуллин В. Н., Зиятдинов Н. Н., Конончук Р. М. Иерархический анализ кислородного питания процесса биологической очистки сточных вод. / Сборник трудов Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях ММТТ-12.", т. 2. Секции 3, 8, Новгород, 1999, С. 43-45.

5. Конончук Р. М., Шарифуллин В. Н., Зиятдинов Н. Н. Моделирование системы очистки азротенк-вторичный отстойник-регенератор. // "Проблемы энергетики", 1999, №1-2, С. 102-105.

6. Шарифуллин В. Н., Зиятдинов Н. Н., Конончук Р. М. Моделирование кинетики роста и регенерации активного ила в процессе биоочистки сточных вод. / V-ая Международная научная конференция (КХТП-V-99) "Методы кибернетики химико-технологических процессов", Казань, 1999, С. 156-157.

7. Шарифуллин В. Н., Зиятдинов Н. Н., Конончук Р. М. Моделирование системы аэробной биоочистки сточных вод. // "Биотехнология", 1999, №5, С. 55-60.

8. Шарифуллин В. Н., Конончук Р. М., Зиятдинов Н. Н. Флокуляционная модель кинетики биоочистки. // "Проблемы энергетики", 1999, № 11-12, С. 97-101.

Сонскатель



Р. М. Конончук

ЛР № 020058 от 20.12.95. Подписано к печати 22.05.2000г. Формат 60x84\16. Бумага офсетная. усл. печат. лист.1.0.

Заказ № 448. Тираж 100 экз.

Типография КГЭИ 420066, Казань, Красносельская, 51.