Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/132TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/132TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/132TVN115>)

УДК 628

Лебедев Владимир Владимирович

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса»

Россия, Москва¹

Кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса

E-mail: voval_matr@mail.ru

Башкирцев Владимир Иванович

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса»

Россия, Москва

Доктор технических наук, профессор

E-mail: vbashkirtsev@yandex.ru

Крымская Елена Яковлевна

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса»

Россия, Москва

Аспирант кафедры сервиса

E-mail: yakovkrymsky@yandex.ru

Результаты теоретического исследования процесса аэробной очистки сточных вод в циклотенке

¹ 141221, Московская обл., Пушкинский район, поселок Черкизово, ул. Главная, 99

Аннотация. Определены параметры технологического цикла, которые выступают в качестве факторов, определяющих проектные параметры циклотенка и технико-экономические показатели проектируемой установки на базе нестационарных периодических процессов системы очистки сточных вод в системе ЖКХ. Разработана и численно исследована имитационная модель процесса очистки сточных вод в циклотенках. Исследовано влияние различных режимных факторов на показатели очистки сточных вод. В частности, исследовано влияние на качество очистки кратности начального заполнения циклотенка, которая представляет отношение минимального объема заполнения ванны циклотенка в начале фазы аэрации к расходу поступающих в циклотенк сточных вод, приводящих к увеличению объема обрабатываемой жидкости в ванне фазе заполнения. Также решения продолжены и в фазе постоянного объема. Исследовано влияние структурного коэффициента, представляющего собой отношение длительности фазы постоянного объема к продолжительности фазы заполнения, на качество очистки в двух последовательно протекающих процессах: фазе заполнения и фазе постоянного объема. Исследовано влияние на показатели очистки в циклотенке начальной дозы активного ила и концентрации органических загрязнений в сточных водах. Также исследованы решения для установившегося периодического процесса в циклотенке в зависимости от перечисленных факторов.

Ключевые слова: аэробная биологическая очистка; коммунальное хозяйство; модель процесса; самоочищение; сточные воды; цикл фазы аэрации.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Лебедев В.В., Башкирцев В.И., Крымская Е.Я. Результаты теоретического исследования процесса аэробной очистки сточных вод в циклотенке // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/132TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/132TVN115

Введение

В структуре ЖКХ важное место занимают системы локальной биологической очистки сточных вод малых жилых комплексов, индивидуального жилья и объектов сервиса, которые работают в квазистационарных режимах, когда колебания имеют ограниченную амплитуду и не оказывают заметного влияния на рабочие параметры больших систем, применяемых на крупных станциях очистки сточных вод.

Опыт применения стационарных процессов биологической очистки в установках проточного типа перенесен и на малые установки, несмотря на то, что здесь сильнее сказывается влияние на снижение качества очистки различных флуктуаций, амплитуда которых на малых объектах водоотведения значительно выше. [1,2]

Теоретические предпосылки и результаты численного моделирования процессов очистки в циклотенках

Исследование влияния отдельных факторов на эффективность процесса очистки сточных вод в циклотенке и поиск оптимальных решений составляет основную задачу, решаемую с помощью разработанной авторами модели. Результаты численного анализа получены для системы аэробной биологической очистки в циклотенке сточных вод городского хозяйства. При этом выбраны начальные постоянные параметры модели:

1. Расход сточных вод $v=60 \text{ м}^3/\text{сут}=2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Концентрация обобщенного органического загрязнения в потоке сточных вод, выраженное в единицах БПК взболтанной пробы, $S_0=400 \text{ мг/л}$.
3. Доза активного ила в потоке сточных вод $X_0=0$.
4. Коэффициент рециркуляции $R=0$.
5. Концентрация растворенного кислорода в системе $C_L=2 \text{ мг/л}$. [3,4]

Переменный – вариантный параметр модели – установившаяся начальная доза активного ила в циклотенке и в качестве переменных факторов модели, влияние которых исследуется, можно считать следующие:

1. Время аэрации – t_{air} .
2. Структурный коэффициент – τ .
3. Кратность начального заполнения – k . [5]

Ниже представлены некоторые результаты численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений нестационарной модели аэробного процесса биологической очистки сточных вод активным илом в с переменной степенью разведения методом Рунге-Куты 4-го порядка. На графиках представлено решение в фазе заполнения при заданных начальных условиях и параметрах: начальное значение БПК – $L_0=150 \text{ мг/л}$; начальная доза активного ила $a_0=10 \text{ г/л}$; значение БПК в потоке сточных вод $L_0=400 \text{ мг/л}$; значение дозы активного ила в потоке сточных вод $X_0=0$. Продолжительность фазы заполнения – 6 ч; продолжительность фазы постоянного объема – 1,5ч; структурный коэффициент – 0,25.

На графике (рис. 1) представлено изменение БПК в фазе заполнения при разных значениях кратности начального заполнения системы: 0,5; 1,0; 1,5.

Рисунок 1. Зависимость БПК в фазе заполнения от времени.

БПК – ось ординат, мг/л; время – ось абсцисс, ч.

Начальное заполнение, кратность: верхний график– 0,5; средний -1,0; нижний –1,5.

Анализ этих графиков показывает, что кратность начального заполнения весьма значительна и существенно меняет результаты расчетов. Далее на графике (рис.2), представлено изменение дозы активного ила в фазе заполнения при тех же значениях кратности начального заполнения системы.

Рисунок 2. Зависимость ДАИ в фазе заполнения от времени

ДАИ – ось ординат, г/л; Время – ось абсцисс, ч.

Начальное заполнение, кратность: верхний график– 0,5; средний -1,0; нижний –1,5.

По результатам решений, представленных на рис.1 и 2, видно значительное снижение дозы активного ила в фазе заполнения, что объясняется значительным для системы активного ила разбавлением сточными водами при заполнении рабочего объема циклотенка (диапазон увеличения объема при заполнении по вариантам – в 4-12 раз). Системы с большей кратностью начального заполнения 1,5 обладают меньшей степенью разбавления – рабочий объем в фазе заполнения увеличивается всего в 4 раза. В этом варианте обеспечиваются более высокие дозы активного ила в системе в фазе заполнения, и следовательно большая глубина очистки по БПК. [6]

На рис.3 представлены графики решений по БПК в фазе постоянного объема как продолжение решений в фазе заполнения при разных кратностях начального заполнения.

Анализ решения в этой фазе показывает, что допустимо представление о постоянстве дозы активного ила – она меняется незначительно: изменения имеют порядок 10^{-2} , график не

представлен. Далее на графиках представлены объединенные решения в фазах заполнения и постоянного объема для одинаковых начальных условий при разных кратностях начального заполнения.

Рисунок 3. Изменение БПК в фазе постоянного объема от времени
БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч.

Начальное заполнение, кратность: верхний график – 0,5; средний – 1,0; нижний – 1,5.

Решения для БПК представлены на рис.4

Рисунок. 4. Зависимость БПК от времени в объединенной фазе аэрации

БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч. Продолжительность фазы заполнения – 6 ч; фазы постоянного объема – 1,5 ч; структурный коэффициент – 0,25.

Начальное заполнение, кратность: верхний график – 0,5; средний – 1,0; нижний – 1,5.

Решения для дозы активного ила (ДАИ) представлены на рис. 5. Очевидно, с увеличением времени аэрации глубина очистки сточных вод в циклотенке по БПК повышается. Темп снижения БПК выше в циклотенке с высокой кратностью начального заполнения. Наличие даже небольшой по продолжительности фазы постоянного объема способствует существенному повышению степени очистки по БПК.

Рисунок 5. Изменение ДАИ от времени в объединенной фазе аэрации.

ДАИ – ось ординат, г/л; Время – ось абсцисс, ч.

Продолжительность фазы заполнения – 6 ч; фазы постоянного объема – 1,5 ч; структурный коэффициент – 0,25. Начальное заполнение, кратность: верхний график– 0,5; средний -1,0; нижний –1,5.

Наличие на всех графиках начальных участков графика с повышением БПК, которое затем сменяется снижением, в системах с малым первоначальным объемом объясняется на начальном этапе фазы заполнения превышением нагрузки по БПК на систему активного ила по сравнению со скоростью поглощения органических загрязнений активным илом.

Исследование решений в фазе заполнения выполнены при разных начальных дозах активного ила - 6, 8 и 10 г/л. Кратность начального заполнения -1. Начальная концентрация БПК - 100 мг/л. БПК сточных вод - 400 мг/л. Решения для БПК представлены на рис. 6.

Рисунок 6. Изменение БПК от времени в фазе заполнения.

БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график - начальная доза – 6 г/л; нижний – 10 г/л.

Степень очистки возрастает при увеличении времени и начальной дозы активного ила: увеличение дозы 6 до 10 г/л привело к снижению конечного БПК в системе за 10 ч более чем в 2 раза.

Решения для дозы активного ила (ДАИ) представлены на рис.7.

На графике представлено изменение дозы активного ила в фазе заполнения при разных начальных значениях дозы активного ила – 6, 8, 10. Имеет место устойчивая тенденция к снижению дозы активного ила за счет эффекта разбавления, причем более эффективными остаются системы с более высокой начальной дозой активного ила.

Рисунок 7. Изменение ДАИ во времени в фазе заполнения.
ДАИ – ось ординат, г/л; Время – ось абсцисс, ч. Верхний график
- начальная доза активного ила – 10 г/л; нижний – 6 г/л.

Рисунок 8. Изменение БПК во времени в фазе заполнения.
БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч.
Верхний график соответствует начальному БПК – 350 мг/л; нижний – 50 мг/л.

На рис. 8. показано влияние начального значения БПК на характер получаемых решений. Рассмотрен вариант с кратностью начального заполнения – 0,5; начальной дозой активного ила – 10 г/л для трех вариантов начального значения БПК – 50, 150 и 350 мг/л.

Ход кривых зависит от соотношения скорости поступления БПК в систему – определяется превышением БПК в потоке сточных вод над БПК системы – и скорости утилизации органических загрязнений активным илом – растет с ростом БПК и дозы ила в системе. Если объявленная разность скоростей положительная – наблюдается повышение БПК в системе, в противоположном варианте – снижение.

Характер клеточного роста в системе может носить нерегулярный характер.

Например, на рис. 9 представлены графики приведенного к конечному рабочему объему прироста активного ила в фазе заполнения. Графики соответствуют разным кратностям начального заполнения системы $k=0,5$; 1,0 и 1,5. при начальном значении БПК=150 мг/л и начальном значении ДАИ=10г/л.

Рисунок 9. Изменение прироста активного ила от времени в фазе заполнения
Прирост АИ – ось ординат, г/л; Время – ось абсцисс, ч.
Верхний график кратность начального заполнения – 1,0; нижний – 1,5

Поведение нижнего графика не означает, что в данном варианте рост прекращается. Так как конечный объем приведения растет линейно во время заполнения, то горизонтальный участок будет соответствовать приросту с постоянной скоростью. Прирост дозы не превышает 0,1 г/л конечного объема фазы заполнения. В установившемся периодическом процессе в циклотенке установившееся значение БПК зависит от общего времени обработки и от отношения продолжительностей фазы постоянного объема и фазы заполнения. Начальное значение БПК в фазе постоянного объема равно конечному значению БПК в фазе заполнения. ДАИ в фазе постоянного объема остается постоянным и равно конечному значению ДАИ в предшествующей фазе заполнения. В установившемся процессе конечное значение БПК в фазе аэрации равно начальному значению. [2]

Для иллюстрации на рис. 10. представлены решения для установившегося периодического процесса аэробной биологической очистки сточной воды в циклотенке при начальной дозе активного ила – 10 г/л.

Рисунок 10. Изменение значений БПК от времени в установившемся периодическом процессе аэробной биологической очистки в циклотенке

БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график соответствует временной структуре фазы аэрации: продолжительность фазы заполнения – 3 ч.; продолжительность фазы постоянного объема – 0 ч.; структурный коэффициент – 0. Нижний - временной структуре фазы аэрации: продолжительность фазы заполнения – 2 ч.; продолжительность фазы постоянного объема – 1 ч.; структурный коэффициент – 0,5.

Введение фазы постоянного объема способствует значительному увеличению глубины биологической очистки. На приведенных ниже графиках представлены изменения БПК и ДАИ в циклотенке при установившемся периодическом режиме и продолжительности фазы аэрации – 3 ч, фазы заполнения – 2 ч, фазы постоянного объема – 1 ч, структурный коэффициент – 0,5. Кратность начального заполнения 0,5. Кратность начального заполнения 0,5.

На рис 11 представлен график изменения БПК в циклотенке в установившемся периодическом режиме при разных начальных ДАИ - 6, 8, 10.

Рисунок 11. Изменение БПК от времени в установившемся периодическом процессе очистки сточных вод в циклотенке

БПК – ось ординат, мг/л; Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график соответствует начальной ДАИ – 6 г/л.
Нижний график соответствует начальной ДАИ – 10 г/л.

На рис 12 представлен график изменения ДАИ в циклотенке в установившемся периодическом режиме при разных начальных ДАИ - 6, 8, 10. Эффективность очистки в установившемся режиме работы циклотенка при одинаковой продолжительности цикла аэрации и структурном коэффициенте прямо зависит от начальной дозы ила – с увеличением дозы ила глубина очистки растёт.

Рисунок 12. Изменение ДАИ от времени в установившемся периодическом процессе очистки сточных вод в циклотенке

ДАИ – ось ординат, г/л; Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график соответствует начальной ДАИ – 10 г/л., нижний – 6 г/л.

Очевидно, существует бесконечное множество решений, образующих область решений модели для установившихся периодических процессов аэробной биологической очистки сточных вод в циклотенках.

В общем случае эффективность очистки в установившемся периодическом процессе очистки зависит от начальной дозы активного ила, кратности начального заполнения, времени аэрации и структурного коэффициента. Также этот показатель будет зависеть от параметров системы рециркуляции активного ила, если она включена в составе системы. Рециркуляция однозначно будет способствовать повышению степени очистки, но в настоящем отчете этот вопрос не исследовался. Рассматривались только системы без рециркуляции.

Далее исследованы технологические параметры установившихся режимов работы циклотенков. Одной из основных задач при разработке систем биологической очистки является определение общей продолжительности фазы аэрации, поскольку ее величина определяет необходимые объемы, а следовательно и капитальные затраты на сооружение. Для циклотенков такой определяющей величиной является время заполнения, которое зависит от продолжительности фазы аэрации и структурного коэффициента, то необходимо определять взаимосвязанные оптимальные значения этих величин.

Рисунок 13. Изменение БПК очищенной сточной воды в установившихся режимах циклотенки от продолжительности фазы аэрации
БПК – ось ординат, мг/л. Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график соответствует структурному коэффициенту – 0; нижний – 0,5.

На рис. 13 представлены графики функции БПК очищенной сточной воды от продолжительности фазы аэрации при разном отношении продолжительностей фазы постоянного объема и фазы заполнения (структурный коэффициент – 0; 0,25 и 0,5). Кратность начального заполнения 0,5. Начальное ДАИ – 10 г/л.

На рис. 14 представлены графики функции БПК обработанной сточной воды от продолжительности фазы аэрации при разной кратности начального заполнения – 0,5; 1,0 и 1,5. Структурный коэффициент – 0,25.

Рисунок 14. Изменение БПК очищенной сточной воды в установившихся режимах циклотенки от продолжительности фазы аэрации.
БПК – ось ординат, мг/л. Время – ось абсцисс, ч.

Верхний график соответствует кратности начального заполнения – 0,5; нижний – 1,5.

На рис. 15 представлены графики функции БПК обработанной сточной воды от продолжительности цикла аэрации при разной начальной ДАИ – 6, 8 и 10. Кратность начального заполнения – 1,0. Структурный коэффициент – 0,25. Анализ графиков 13-15 показывает, что увеличение структурного коэффициента, кратности начального заполнения и начальной дозы активного ила приводит к росту эффекта очистки. Однако влияние этих факторов неравномерно. Прослеживается более регулярная зависимость эффекта очистки от

структурного коэффициента и начальной дозы активного ила. Влияние же кратности начального заполнения на эффект очистки менее равномерно – в области малых значений кратности начального заполнения $0 < k < 1,0$ наблюдаются более резкие изменения функции.

Рисунок 15. Изменение БПК очищенной сточной воды в установившихся режимах циклотенка от продолжительности фазы аэрации
БПК – ось ординат, мг/л. Время – ось абсцисс, ч.
Верхний график соответствует начальной ДАИ – 6 г/л.; нижний – 10 г/л.

На рис. 16 представлены графики функции снятой БПК от продолжительности фазы аэрации при разном отношении продолжительностей фазы постоянного объема и фазы заполнения (структурный коэффициент – 0; 0,25; 0,5). Кратность начального заполнения – 1.

Рисунок 16. Изменение снятой БПК очищенной сточной воды в установившихся режимах циклотенка от продолжительности фазы аэрации
БПК – ось ординат, мг/л. Время – ось абсцисс, ч.
Верхний график соответствует структурному коэффициенту – 0,5; нижний – 0.

На рис 17 представлены графики функции снятой БПК от продолжительности фазы аэрации при разной кратности начального заполнения – 0,5; 1,0; 1,5. Структурный коэффициент – 0,25.

Рисунок 17. Изменение снятой БПК очищенной сточной воды в установившихся режимах циклотенки от продолжительности фазы аэрации
БПК – ось ординат, мг/л. Время – ось абсцисс, ч.
Верхний график соответствует кратности начального заполнения – 0,5; нижний – 1,5.

Заключение

Представленные решения показывают, что увеличение продолжительности фазы аэрации, безусловно, приводит к увеличению глубины очистки. Для определения обоснованных значений времени аэрации, структурного коэффициента и кратности начального заполнения на первом этапе исследований необходимо определить критерии эффективности, по которым можно отбирать оптимальные параметры. Их реализация позволяет более обоснованно подойти к процессу проектирования очистных сооружений и обеспечивать повышение эффективности работы таких систем в структуре ЖКХ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Николаев, Н. Ю. Большаков. “Модель биологической очистки городских сточных вод в системе азротенк-вторичный отстойник”. – “Вода и экология” 4, 2001 г.
2. Бейли Дж., Оллис Д. “Основы биохимической инженерии”. Пер. с англ. В 2-х частях. Ч.2. – М.: Мир, 1989 г.
3. Вавилин В. А., Васильев В. Б. “Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом”. – М.: Наука, 1979 г.
4. Губанов, Н. Н., Иванов, В. А. Методика пластики рельефа в территориальном планировании подземных коммуникаций // Сервис в России и за рубежом. – 2011. – № 8(27). (дата обращения: 07.03.2014).
5. Губанов Н. Н., Иванов В. А., Крымская Е. Я., Есипов В. Е. Влияние внешних факторов на долговечность инженерных подземных коммуникаций//Сервис в России и за рубежом. №1(39) 2013. С.59-69 (дата обращения: 07.03.2014).
6. Иванов, В.А., Комаров, Н.М., Крымская, Е.Я., Панова, М.В. Водные ресурсы России, модели метода их сохранения и вызовы проекта. [Электронный ресурс]: <http://publ.naukovedenie.ru> Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №6 (19). Выпуск 6, ноябрь – декабрь 2013(дата обращения: 05.03.2014).
7. Комиссаров Ю. А., Гордеев Л. С., Нгуен Суан Нгуен. “Анализ и синтез систем водообеспечения химических производств”. Учебн. пособие для вузов. – М.: Химия, 2002 г.
8. СНиП 2.04.03-85. “Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения”. – М.: ЦИТП, 1986 г.
9. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. “Очистка сточных вод. / Биологические и биохимические процессы“. – М.: Мир, 2006 г.

Рецензент: Комаров Николай Михайлович, доктор экономических наук, профессор, член редколлегии журнала.

Lebedev Vladimir Vladimirovich

Russian State University of Tourism and Service
Russia, Moscow
voval_matr@mail.ru

Bashkircev Vladimir Ivanovich

Russian State University of Tourism and Service
Russia, Moscow
vbashkirtsev@yandex.ru

Krimskay Elena Yakovlevna

Russian State University of Tourism and Service
Russia, Moscow
yakovkrymsky@yandex.ru

Results of theoretical research of aerobic wastewater treatment in the cyclotank

Abstract. The article identifies parameters of technological cycle, on the base of which the design parameters of cyclotank and the technical-and-economic indexes of the projectable machine based on the non-steady periodic processes of the wastewater treatment system in the housing and public utilities services are determined. We developed and numerically researched a simulation model of the wastewater treatment process in the cyclotanks, as well as analyzed the influence of various operation factors on the wastewater treatment indices. In particular, the influence of the multiplicity of cyclotank initial fill on the quality of cleaning was studied. Multiplicity of the initial fill is the ratio between the minimum amount of the cyclotank bath fill at the start of aeration phase and delivery of wastewater entering the cyclotank, which increases volume of liquid to be treated in the bath at the filling phase. There are also adduced solutions for the phase of constant volume. We investigated the influence of a structural coefficient (the ratio between duration of the constant volume phase and that of the filling phase) on the quality of treatment for two successive phases: filling and constant volume. The influence of the initial dose of activated sludge and concentration of organic contaminants in the wastewater on the parameters of cleaning in the cyclotank was studied too. Solutions for the stationary periodic process in the cyclotank were investigated with due regard to factors as listed.

Keywords: aerobic biological treatment; public utilities; model of process; self-purification; waste water; cycle of aeration phase.

REFERENCES

1. A. N. Nikolaev, N. Yu. Bol'shakov. "Model' biologicheskoy ochistki gorodskikh stochnykh vod v sisteme aerotenk-vtorichnyy otstoynik". – "Voda i ekologiya" 4, 2001 g.
2. Beyli Dzh., Ollis D. "Osnovy biokhimicheskoy inzhenerii". Per. s angl. V 2-kh chastyakh. Ch.2. – M.: Mir, 1989 g.
3. Vavilin V. A., Vasil'ev V. B. "Matematicheskoe modelirovanie protsessov biologicheskoy ochistki stochnykh vod aktivnym ilom". – M.: Nauka, 1979 g.
4. Gubanov, N. N., Ivanov, V. A. Metodika plastiki rel'efa v territorial'nom planirovani podzemnykh kommunikatsiy // Servis v Rossii i za rubezhom. – 2011. – № 8(27). (data obrashcheniya: 07.03.2014).
5. Gubanov N. N., Ivanov V. A., Krymskaya E. Ya., Esipov V. E. Vliyanie vneshnikh faktorov na dolgovechnost' inzhenernykh podzemnykh kommunikatsiy//Servis v Rossii i za rubezhom. №1(39) 2013. S.59-69 (data obrashcheniya: 07.03.2014).
6. Ivanov, V.A., Komarov, N.M., Krymskaya, E.Ya., Panova, M.V. Vodnye resursy Rossii, mo-del' metoda ikh sokhraneniya i vyzovy proekta. [Elektronnyy resurs]: <http://publ.naukovedenie.ru> Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» №6 (19). Vypusk 6, no-yabr' – dekabr' 2013(data obrashcheniya: 05.03.2014).
7. Komissarov Yu. A., Gordeev L. S., Nguen Suan Nguen. "Analiz i sintez sistem vodoobespecheniya khimicheskikh proizvodstv". Uchebn. posobie dlya vuzov. – M.: Khimiya, 2002 g.
8. SNiP 2.04.03-85. "Stroitel'nye normy i pravila. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya". – M.: TsITP, 1986 g.
9. Khentse M., Armoes P., Lya-Kur-Yansen Y., Arvan E. "Ochistka stochnykh vod. / Biologicheskie i biokhimicheskie protsessy". – M.: Mir, 2006 g.