

УДК 628.334.5:519.6

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ

НАГОРНАЯ Е. К. \*, к. т. н.

\*Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek\_n@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

**Аннотация. Постановка проблемы.** Рациональное водопользование и повышение эффективности очистки сточных вод – одна из важнейших задач в области водоснабжения и водоотведения. Важную роль в обеспечении эффективной работы комплекса очистных сооружений играют отстойники различных типов, которые используются как на стадии механической очистки, так и для отделения очищенной воды от иловой смеси после биологической очистки. На сегодняшний день наблюдается тенденция эксплуатации отстойников, форма которых существенно отличается от классических. Такие отстойники имеют ряд внутренних конструктивных особенностей, позволяющих улучшить процесс очистки воды. В Украине для расчета отстойников систем водоотведения традиционно используют эмпирические [2; 3], балансовые [9; 13] или одномерные кинематические модели [8; 10; 12; 14; 18]. Эти модели просты и экономичны в практическом отношении, но не позволяют проектировщику учитывать гидродинамический режим работы отстойника, рассматривать широкий диапазон размеров и, что особенно важно, не учитывают в полной мере конструктивные особенности отстойников очистных сооружений. Альтернативным решением является применение CFD (Computational fluid dynamics) моделей. В Украине многомерные CFD модели, которые позволяют рассчитать поле концентрации примеси внутри отстойника с учетом формирования зоны осадка, не разрабатываются. **Цель статьи.** Представить данные о разработанной 2-D численной модели массопереноса в вертикальном отстойнике. Такая модель позволяет учесть при моделировании геометрическую форму отстойника, его конструктивные особенности, зону формирования осадка. Форму и размер возможной зоны формирования осадка можно предварительно оценить на основе экспериментальных данных или наблюдений на объектах и, задавая ее в разработанной математической модели, “проигрывать” различные сценарии для каждого конкретного случая. **Вывод.** Разработана новая численная модель расчета процесса массопереноса в канализационных вертикальных отстойниках. Применение математического моделирования на основе CFD моделей позволяет учитывать геометрические размеры отстойников, конструктивные особенности, а также кинетику отстаивания сточных вод. На основе построенной численной модели разработан специализированный код “Settler- 2”, который может быть использован как инструмент решения комплекса задач, возникающих при проектировании и реконструкции вертикальных отстойников. Данный подход позволит проектировщикам быстро оценивать эффективность очистки воды на этапе обоснования проектных параметров очистного сооружения.

**Ключевые слова:** вертикальный отстойник, численное моделирование, CFD - модель, массоперенос.

## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВІДСТІЙНИКІВ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ ЧИСЛОВОЇ МОДЕЛІ

НАГОРНА О. К. \*, к. т. н.,

\*Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek\_n@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

**Анотація. Постановка проблеми.** Рациональне водокористування та підвищення ефективності очищення стічних вод – одне з найважливіших завдань водопостачання та водовідведення. Важливу роль у забезпеченні ефективної роботи комплексу очисних споруд відіграють відстійники різних типів, які використовуються як на стадії механічного очищення, так і для відокремлення очищеної води від мулової суміші після біологічного очищення. Наразі спостерігається тенденція експлуатації відстійників, форма яких суттєво відрізняється від класичних. Такі відстійники мають ряд внутрішніх конструктивних особливостей, що дозволяють поліпшити процес очищення води. В Україні для розрахунку відстійників систем водовідведення традиційно застосовують емпіричні [2; 3], балансові [9; 13] або одномірні кінематичні моделі [8; 10; 12; 14; 18]. Ці моделі прості й економічні у практичному відношенні, але не дозволяють проектувальнику враховувати гідродинамічний ре-

жим роботи відстійника, варіювати в широкому діапазоні розмірів і, що особливо важливо, конструктивних особливостей відстійників очисних споруд. В Україні багатовимірні CFD (Computational fluid dynamics) моделі, які дозволяють розрахувати поле концентрації домішки всередині відстійника з урахуванням формування зони осаду, не розробляються. **Мета статті.** Навести 2-D числову модель масопереносу у вертикальному відстійнику, що дозволяє врахувати геометричну форму відстійника, його конструктивні особливості, зону формування осаду. Форму і розмір можливої зони формування осаду можна попередньо оцінити, виходячи з експериментальних даних або спостережень на об'єктах і, задаючи її в розробленій математичній моделі, "програвати" різні сценарії, характерні для кожного конкретного випадку. **Висновок.** Розроблено нову числову модель для розрахунку процесу масопереносу в каналізаційних вертикальних відстійниках. Застосування математичного моделювання на основі CFD моделей дозволяє враховувати геометричні розміри відстійників, конструктивні особливості, а також кінетику відстоювання стічних вод. На основі побудованої числової моделі розроблено спеціалізований код «Settler-2», який може бути використаний як інструмент вирішення комплексу питань, що виникають під час проектування та реконструкції вертикальних відстійників. Такий підхід дозволить проектувальникам швидко оцінювати ефективність очищення води на етапі обґрунтування проектних параметрів очисної споруди.

**Ключові слова:** вертикальний відстійник, числове моделювання, CFD - масоперенос.

## PERFORMANCE EVALUATION VERTICAL SETTLERS SEWAGE SYSTEMS BY NUMERICAL MODEL

NAGORNAYA H.K. \*, *Cand., Sc. (Tech.)*

\* Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. , +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek\_n@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

**Summary. Problem statement.** Rational use and increase of efficiency of sewage treatment one of the major tasks in the field of water supply and the sewerage. Not the last part in ensuring operability of a complex of treatment facilities is played by settlers of various types which are used both at a stage of mechanical cleaning, and for division of the cleared water from silt mix after biological cleaning. Today the introduction tendency in practice of operation of settlers which form significantly differs from the classical is observed. Such settlers have a number of the internal design features allowing to improve water purification process. In Ukraine for calculation of settlers of systems of water disposal traditionally use empirical [2; 3], balance [9; 13] or one-dimensional kinematic models [8; 10; 12; 14; 18]. These models are simple and economic in practical application, but don't allow the designer to consider a hydrodynamic operating mode of a settler, to vary in the wide range of the sizes and that is especially important, design features of settlers of treatment facilities. In Ukraine multidimensional CFD (Computational fluid dynamics) models which would allow to calculate a field of concentration of impurity in a settler taking into account formation of a zone of a deposit, aren't developed. **Purpose.** The paper presents a 2-D numerical model of heat transfer in a vertical settler, allowing to take into account when modeling the geometric shape of the settler, its design features, a zone of formation of sediment. Shape and size of the possible formation zone of sediment can be pre-estimated from experimental data or observations on objects, and setting it in the developed mathematical model of "play" different scenarios specific to each case. **Conclusion.** In work the new numerical model for calculation of process of a mass transfer in sewer vertical settlers is presented. Application of mathematical modeling allows to consider the geometrical sizes of settlers, design features, and also kinetics of upholding of sewage. On the basis of the constructed numerical model the specialized code is developed which can be used as the tool of the solution of a complex of the tasks arising at design and reconstruction of vertical settlers which will allow designers to estimate quickly efficiency of water purification at a stage of justification of design parameters of a clearing construction is developed.

**Key words:** vertical settler, numerical simulation, CFD model, mass transfer.

**Постановка проблеми.** Рациональное водопользование и повышение эффективности очистки сточных вод – одна из важнейших задач в области водоснабжения и канализации. Значимым фактором в обеспечении эффективности комплекса очистных являются играют отстойники различных типов,

которые используются как на стадии механической очистки, так и для разделения очищенной воды от иловой смеси после биологической очистки. Для небольших расчетных расходов сточных вод – частных хозяйств, коммунальных, оздоровительных комплексов, на промышленных предприятиях

ях применяют вертикальные отстойники. Типовые вертикальные отстойники с центральной трубой имеют существенные преимущества – простое удаление осадка, отсутствие механических скребков, небольшую площадь. Однако при этом они характеризуются невысоким коэффициентом использования объема и низкой эффективностью удаления взвешенных веществ.

На сегодняшний день наблюдается тенденция эксплуатации отстойников, форма которых существенно отличается от классической. Такие отстойники имеют ряд внутренних конструктивных особенностей, позволяющих улучшить процесс очистки воды. Другими словами, осуществляется переход от классических отстойников к модифицированным или с принципиально новым режимом работы внутри сооружения. Такой подход требует изменения метода расчета этих отстойников, так как существующие методики ориентированы на вертикальные отстойники (отстойники с центральной трубой, имеющие определенный размер).

В Украине для расчета отстойников систем водоотведения традиционно используют эмпирические [2; 3], балансовые [9; 13] или одномерные кинематические модели [8; 10; 12; 14; 18]. Эти модели просты и экономичны в практическом отношении, но не позволяют проектировщику учитывать гидродинамический режим работы отстойника, варьировать в широком диапазоне размеров и, что особенно важно, конструктивные особенности отстойников очистных сооружений. Указанные недостатки моделей расчета отстойников могут быть учтены только при использовании моделей, требующих обязательного решения гидродинамической задачи по определению поля скорости потока внутри отстойника. Гидродинамическая задача может быть решена двумя способами – с использованием модели вязкой жидкости (уравнения Навье–Стокса) или модели потенциального течения. Использование модели вязкой жидкости требует применения очень мелкой сетки для проведения расчета, что приводит к большим временным затратам на получение результата.

В Украине многомерные CFD-модели, которые позволяют рассчитать поле концентрации примеси внутри отстойника с учетом формирования зоны осадка, не разрабатываются. Это связано с тем, что область отстойника, занятая осадком, приобретает очень сложную геометрическую форму, что значительно затрудняет расчет. Поэтому создание математических моделей работы вертикальных отстойников, которые позволяли бы проектировщику оперативно получать необходимую информацию с учетом формы очистных сооружений, режима их работы, зоны накопления осадка, особенностей массопереноса – важная научная задача, решение которой позволит на новом уровне осуществлять моделирование процесса осаждения в отстойниках [14; 16; 17].

**Цель статьи.** В научной статье приведена информация о разработанной 2-D численной модели массопереноса в вертикальном отстойнике. Данная модель позволяет учесть при моделировании геометрическую форму отстойника, его конструктивные особенности, зону формирования осадка.

Форму и размер возможной зоны формирования осадка можно предварительно оценить исходя из экспериментальных данных или наблюдений на объектах. Задав зону формирования осадка в разработанной математической модели, можно “проигрывать” различные сценарии для каждого конкретного случая.

**Изложение основного материала.** Разработана CFD-модель массопереноса в вертикальном отстойнике, позволяющая учитывать при моделировании геометрическую форму отстойника, его конструктивные особенности, зону накопления осадка.

**Математическая модель массопереноса.** Процесс распределения загрязняющего вещества в вертикальном отстойнике рассчитывается на базе усредненного по ширине сооружения уравнения переноса примеси [1; 5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация загрязнителя в сточной воде внутри отстойника;  $u, v$  – компо-

ненты вектора скорости течения;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты диффузии;  $t$  – время;  $w$  – скорость оседания загрязнителя;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий дополнительные процессы, происходящие в отстойнике и влияющие на баланс концентрации (биореакции, флокуляция и агломерация частиц и хлопьев за счет турбулентности и др.) [10].

Отметим, что при использовании модели (1) компоненты вектора скорости течения сточных вод в отстойнике должны удовлетворять уравнению неразрывности.

Стенки отстойника и различные непроницаемые объекты внутри него (труба, перегородки и т. п.) являются граничными линиями тока. В построенной численной модели на этих границах реализуется граничное условие вида

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0,$$

где  $n$  – единичный вектор внешней нормали к твердой поверхности.

На твердых поверхностях отстойника в численной модели реализуется граничное условие “поглощения” загрязнителя. На входной границе (граница входа потока сточных вод в отстойник) задается условие

$$C|_{\text{граница}} = C_E,$$

где:  $C_E$  – известное значение концентрации загрязнителя.

На выходной границе расчетной области в численной модели ставится “циклическое” (мягкое) граничное условие вида (для правой границы):

$$C(i+1, j) = C(i, j),$$

где  $i+1, j$  – номер разностной ячейки.

В начальный момент времени полагается  $C=0$  в расчетной области. Задача распределения загрязняющего вещества в отстойнике решается до установления равновесия.

Гидродинамическая модель. Решение уравнения переноса загрязнителя внутри отстойника (1) возможно, если известно поле скорости потока в вертикальном отстой-

нике. Поэтому для расчета переноса загрязнителя в отстойнике необходимо предварительно рассчитать это поле скорости. Для решения данной гидродинамической задачи используется модель потенциального течения. В этом случае моделирующее уравнение имеет вид [1; 4]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия [1; 4]:

- на твердых стенках отстойника, перегородках внутри него:  $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ , где

$n$  – единичный вектор внешней нормали к твердой границе;

- на входной границе (область втекания сточных вод в отстойник):  $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ , где

$V_n$  – известное значение скорости втекания;

- на выходной границе расчетной области (область выхода осветленных вод из отстойника)

$P = P * (x = const, y) + const$  (условие Дирихле).

После расчета поля потенциала скорости осуществляется расчет компонент вектора скорости потока сточных вод на базе зависимостей [1; 4]

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}.$$

Для численного интегрирования уравнения переноса загрязнителя в отстойнике применяется попеременно – треугольная разностная схема [1; 11]. Численный расчет реализуется на прямоугольной разностной сетке. Для численного интегрирования уравнения (2) используется метод Либмана [1; 7].

Расчет поля скорости и процесса переноса загрязнителя в вертикальных отстойниках проводится в области сложной геометрической формы. Формирование геометрической формы отстойника на прямоугольной разностной сетке осуществляется с помощью метода маркирования [1; 11].

Практическая реализация модели. На основе построенной численной модели создан код “Settler-2”, реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN. Основу данного кода составляют подпрограммы типа SUBROUTINE, координацию работы подпрограмм осуществляет основная программа MAINPRG. Ввод исходных данных осуществляется с помощью файла исходных данных типа DATA.

Получение результатов расчета по разработанному коду возможно в двух вариантах: первый – представление концентрации загрязняющих веществ в отстойнике в безразмерном виде, в процентах от величины входной концентрации в каждой расчетной ячейке [1; 6]; второй вариант – в виде изолиний концентраций, показывающих неравномерность распределения загрязнений в расчетной области.

Построенная математическая модель была использована для моделирования процесса массопереноса в вертикальном отстойнике с центральной трубой и присоединенными к ней двумя пластинами. Цель моделирования – оценка эффективности очистки воды в отстойнике рассматриваемого типа без учета зоны накопления осадка и с учетом зоны накопления осадка.

Схема рассматриваемого вертикального отстойника показана на рисунке 1.

Параметры расчета распределения загрязняющих веществ в вертикальном отстойнике приведены в таблице.

Таблица

**Параметры расчета распределения загрязняющих веществ в вертикальном отстойнике**

Расчетный параметр	Значение
Скорость потока на входе в трубу	0,1 м/с
Коэффициент диффузии	0,7 м <sup>2</sup> /ч
Скорость оседания загрязнителя	0,002 м/с
Коэффициент $\sigma$	0
Длина отстойника	5 м
Глубина	4,2 м
Концентрация загрязнителя во входящем в отстойник потоке	100 ед. (в безразмерном виде)

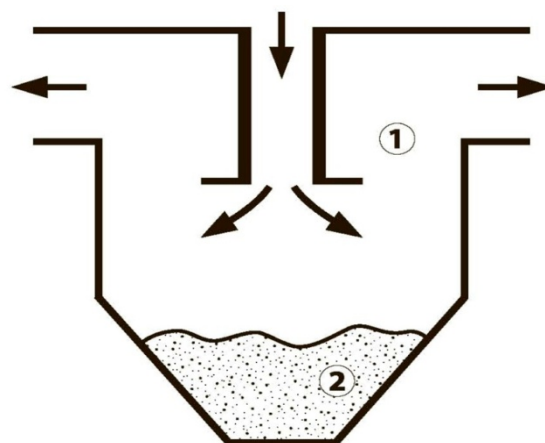


Рис. 1. Схема вертикального отстойника с центральной трубой. 1 – зона осветления; 2 – зона накопления осадка

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рисунках 2, 3.

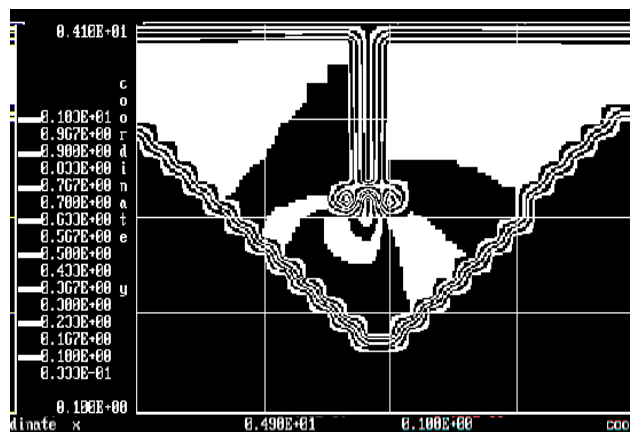


Рис. 2. Распределение концентрации загрязнений в вертикальном отстойнике без учета зоны накопления осадка в виде изолиний

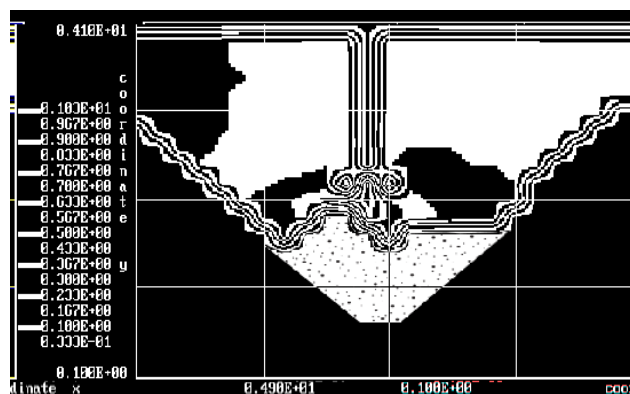


Рис. 3. Распределение концентрации загрязнений в вертикальном отстойнике с учетом зоны накопления осадка в виде изолиний

Полученные результаты свидетельствуют, что существенно неравномерное распределение загрязняющих веществ наблюдается вдоль твердых стенок – центральной

трубы, пластин, стенок и днища отстойника, а также зоны выхода сточных вод из центральной трубы в отстойник. При проведении расчета с учетом зоны накопления осадка (рис. 3) также наблюдается неравномерное распределение концентрации загрязнений вдоль всей зоны осадка. Зона осветления характеризуется равномерным распределением концентрации загрязнений по объему сооружения.

Следует отметить, что для расчета одного варианта задачи потребовалось 5 с работы в программе “Settler-2”. Такие минимальные затраты времени на проведение вычислительного эксперимента являются важным обстоятельством при проведении серийных расчетов на практике.

**Вывод.** В статье приведены данные о разработанной новой численной модели

расчета процесса массопереноса в канализационных вертикальных отстойниках. Применение математического моделирования с использованием CFD-моделей позволяет учитывать геометрические размеры отстойников, конструктивные особенности, а также кинетику отстаивания сточных вод. На основе построенной численной модели разработан специализированный код “Settler-2”, который может быть использован как инструмент решения комплекса задач при проектировании и реконструкции вертикальных отстойников. Данное решение позволит проектировщикам быстро оценивать эффективность очистки воды на этапе обоснования проектных параметров очистного сооружения.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Н. Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н. Н. Беляев, Е. К. Нагорная. – Днепропетровск : Нова Ідеологія, 2012. – 112 с.
2. Горносталь С. А. Описание процессов, происходящих в системе “аэротенк-вторичный отстойник” и их физическое моделирование / С. А. Горносталь, А. П. Созник // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. / Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Харьков, 2008. – Вып. 81. – С. 133 – 139.
3. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – [На заміну СніП 2.04.03-85 ; чинні від 2014-01-01]. – Вид. офіц. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 210 с.
4. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – Москва : Наука, 1978. – 735 с.
5. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
6. Нагорная Е. К. CFD-модель процесса массопереноса в вертикальном отстойнике / Е. К. Нагорная // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 1. – С. 39–50.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
8. Степова Н. Г. До розрахунку вертикального відстійника з врахуванням форми його нижньої частини / Н. Г. Степова, Ю. І. Калугін, О. Я. Олійник // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки : наук.-техн. зб. / Київський нац. ун-т буд-ва та архіт. – Київ, 2010. – № 14. – С. 145 – 151.
9. Таварткиладзе И. М. Математическая модель расчета вертикальных отстойников с перегородкой / И. М. Таварткиладзе, А. М. Кравчук, О. М. Нечипор // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 1, ч. 2. – С. 39 – 42.
10. Теоретический анализ процессов осаждения в системах биологической очистки сточных вод / Я. А. Олейник, Ю. И. Калугин, Н. Г. Степовая, С. М. Зябликов // Прикладна гідромеханіка. – 2004. – Т. 6(78), № 4. – С. 62-67.
11. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Киев : Наук. думка, 1997. – 368 с.
12. A critical review of clarifier modelling: State-of-the-art and engineering practices / B. G. Plosz, I. Nopens, L. Rieger, A. Griborio, J. De Clercq, P. A. Vanrolleghem, G. T. Daigger, I. Takacs, J. Wicks, G. A. Ekama // Proceedings 3rd IWA/WEF Wastewater Treatment Modelling Seminar, Mont-Sainte-Anne, Quebec, Canada, February 26–28, 2012. – Mont-Sainte-Anne, 2012. – P. 27–30.

13. Bürger R. A. Consistent modelling methodology for secondary settling tanks in wastewater treatment /R. Bürger, S. Diehl, I. Nopens // *Water Research*. – 2011. – Vol. 45, № 6. – P. 2247-2260.
14. Griborio A. Secondary Clarifier Modeling: A Multi-Process Approach : A Dissertation of Doctor of Philosophy in The Engineering and Applied Sciences Program / Alonso G. Griborio ; University of New Orleans, USA. – New Orleans, 2004. – 440 p.
15. Holenda B. Development of modelling, control and optimization tools for the activated sludge process / Balazs Holenda Ph.D. Thesis // Doctorate School of Chemical Engineering University of Pannonia. – Budapest, 2007. – 155 p.
16. Schamber D. R. Numerical analysis of flow in sedimentation basins / D. R. Schamber, B. E. Larock // *Journal of Hydraulic Division*. – 1981. – Vol. 107. – P. 595-591.
17. Shahrokhi M. The Computational Modeling of Baffle Configuration in the Primary Sedimentation Tanks / M. Shahrokhi, F. Rostami, Md Azlin Md Said, Syafalni // *Environmental Science and Technology : proceedings of the 2nd International Conference, 26th to 28th February 2011, Singapore*. – Singapore, 2011. – Vol. 6. – P. V2–392 – V2–396.
18. Shall we upgrade one-dimensional secondary settler models used in WWTP simulators? – An assessment of model structure uncertainty and its propagation / B. Gy. Plosz, J. De Clercq, I. Nopens, L. Benedetti, P. A. Vanrolleghem // *Water Science and Technology*. – 2011. – Vol. 63. – P. 1726-1738.

### REFERENCES

1. Belyaev N. N. Nagornaya H. K. *Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v otstoynikah sistem vodootvedeniya* [Mathematical modeling of mass transfer in the settlers systems of water removal]. Dnepropetrovsk, Nova Ideologiya, 2012. 112 p. (in Russian).
2. Gornostal S. A. Soznik A.P. Opisanie protsessov, proishodyaschih v sisteme “aerotenk-vtorichny otstoynik” i ih fizicheskoe modelirovanie [The description of the processes happening in system “aerotenk-secondary settler” and their physical modeling]. *Kommunalnoe hozyaystvo gorodov: nauch.-tehn. sbornik, KhNUGH. im. A. N. Beketova* – Utilities of cities : scientific-technical collection , O. M. Beketov Kharkov National University of Urban. Kharkov, 2008, no. 81, pp. 133 – 139. (in Russian).
3. Sewerage. *Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia : DBN V.2.5-75:2013* [External networks and facilities. The main provisions of the design : DBN B.2.5-75:2013 ]. Ministerstvo regionalnogo rozvytku, budivnytstva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrainy. Na zminu SnIP 2.04.03-85; chynnyi vid 2014-01-01. – Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Utilities of Ukraine. Kyiv, Minregion Ukrainy, 2013. 210 p. (in Ukrainian ).
4. Loytsyansky L. H. *Mehanika zhidkosti i gaza* [Fluid and Gas Mechanics]. Moscow, Nauka., 1978. 735 p. (in Russian).
5. Marchuk H. Y. *Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayuschey sredy* [Mathematical modeling in the environmental problem]. Moscow, Nauka, 1982. 320 p. (in Russian).
6. Nagornaya H. K. *CFD-model protsessa massoperenosa v vertikalnom otstoynike* [CFD-model of the process of mass transfer in a vertical settler]. Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana - Science and Progress of vehicles. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Dnepropetrovsk, 2012, no. 1(43), pp. 39 – 50. (in Russian ).
7. Samarsky A. A *Teoriia raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. Moscow, Nauka, 1983. 616 p. (in Russian).
8. Stepova N. H., Kaluhin Yu. I., Oliynyk O.Ya. Do rozrahunku vertikalnogo vidstiinika z vrahuvanniam formy yiogo nizhnoi chastyny [Calculation of vertical settler with the shape of its bottom]. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta gidravliki: nauk.-tehn. zb., KNUBA*–Problems of water supply, sewerage and hydraulic : scientific-technical collection , KNUCA. Kyiv, 2010, no. 14, pp. 145 –151. (in Ukrainian).
9. Tavartkyldze Y. M., Kravchuk A. M., Nechypor O. M. *Matematicheskaya model rascheta vertikalnyh otstoynikov s peregorodkoy* [Mathematical model for calculating vertical tanks with divider]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tehnika - Water supply and sanitary engineering*. 2006, no. 1, pp. 39 – 42. ( in Russian ).
10. Oleynyk, Ya. A. Kaluhyn Yu. I., Stepovaya, N. H *Teoreticheskyy analiz protsessov osazhdeniya v sistemah biologicheskoy ochistki stochnyh vod* [Theoretical analysis of deposition processes in biological wastewater treatment]. *Prykladna gidromehanika - Applied Hydromechanics*. 2004, v. 6 (78), no. 4, pp. 62 – 67. (in Russian ).
11. Zhurovsky M. Z., Skopetsky V. V., Khrushch V. K. *Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution in the environment]. Kiev, Naukova dumka, 1997. 368 p. (in Russian).

12. Plosz B. G., Nopens I., Rieger L., Griborio A., Clercq J.De., Vanrolleghem P. A., Daigger G. T., Takacs I., Wicks J., Ekama G. A. A critical review of clarifier modelling: State-of-the-art and engineering practices. Proceedings 3rd IWA/WEF Wastewater Treatment Modelling Seminar, Mont-Sainte-Anne, Quebec, Canada, February 26 – 28, 2012, Mont-Sainte-Anne, 2012. pp. 27 – 30.
13. Bürger R. A. Consistent modelling methodology for secondary settling tanks in wastewater treatment Water Research. 2011, v. 45, no. 6, pp. 2247 – 2260.
14. Griborio A. Secondary Clarifier Modeling: A Multi-Process Approach: A Dissertation of Doctor of Philosophy in The Engineering and Applied Sciences Program .University of New Orleans, USA. New Orleans, 2004. 440 p.
15. Holenda B. Development of modeling, control and optimization tools for the activated sludge process. Doctorate School of Chemical Engineering University of Pannonia. Budapest, 2007. – 155 p.
16. Schamber D. R. Numerical analysis of flow in sedimentation basins. Journal of Hydraulic Division. 1981. v.107, pp. 595 – 591.
17. Shahrokhi M. The Computational Modeling of Baffle Configuration in the Primary Sedimentation Tanks. Environmental Science and Technology: proceedings of the 2nd International Conference, 26th to 28th February 2011, Singapore, 2011. v. 6, pp. 392 –396.
18. Plosz B. Gy, Clercq J. De, Nopens I, Benedetti L., Vanrolleghem P. A. Shall we upgrade one-dimensional secondary settler models used in WWTP simulators? – An assessment of model structure uncertainty and its propagation // Water Science and Technology. 2011. v. 63. pp. 1726 – 1738.

*Статья рекомендована к публикации 05.03.2015 г. Рецензент: д. т. н., проф. Деревянко В. Н.*

*Поступила в редколлегию 12.03.2015 г. Принята к печати 16.03.2015 г.*