

УДК 504.75

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ГОРОДСКИЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Анна Андреевна Баламутова

аспирант

Юрий Владимирович Задорожный

магистрант

Николай Сергеевич Попов

доктор технических наук, профессор

eco@mail.tstu.ru

Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

Аннотация. В статье содержится описание алгоритма расчета пропускной способности городских очистных сооружений. Проведение такого расчета на этапе проектирования или модернизации связано с необходимостью выявления диапазона устойчивой работы сооружений в условиях неопределенности амплитуды входного потока воды и состава содержащихся в ней примесей.

Ключевые слова: устойчивое развитие, пропускная способность, очистные сооружения.

Оценка предельных состояний работоспособности технических устройств и оборудования является ключевым фактором в разработке технологических регламентов. В случаях невыполнения предписаний по допустимым нагрузкам оборудование оказывается не способным выполнять заданные функции, а для некоторых его видов возможно даже разрушение. В строительной механике предельные состояния рассматриваются применительно к зданиям и сооружениям. В физико-химических и биологических процессах, относящихся к очистке сточных вод, понятие пропускной способности двойственно: оно связано и со входным потоком сточной воды и с концентрациями примесей, в числе которых могут быть взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, общий азот, общий фосфор, аммонийный азот, фосфор фосфатов. [1]

При расчетах очистного оборудования на основе СП 32.13330.2018 используют ретроспективные данные гидравлической нагрузки 85 %-го и выше перцентилей со среднемаксимальными часовыми и суточными значениями, а также оценочную информацию о водоотведении в предполагаемом периоде времени и сведения о возможных изменениях инфильтрации воды. В задачах устойчивого регионального развития таких расчетов может быть недостаточно, поскольку реальная пропускная способность зависит не только от расхода но и концентраций примесей и может заметно отличаться от проектной.

Базовой частью городских очистных сооружений является подсистема аэротенк-отстойник (А-О), наиболее чувствительная ко входной нагрузке. Если обозначить символами X и Y соответственно множества входных и выходных переменных состояния водных потоков в подсистеме А-О, а f -оператор отображения X в Y , тогда допустимую область значений вектора $\mathbf{x} \in X$ выразим в форме

$$X' = \{\mathbf{x}\} = \bigcup_{\mathbf{x} \in X} f^{-1}(\mathbf{y}(\mathbf{x}) \in Y), \quad (1)$$

где \mathbf{x} – вектор упорядоченных конечных последовательностей расходов и концентраций примесей, X' – подмножество множества X ; f^{-1} – обратное

отображение $Y \rightarrow X$; Y – область существования $f(x)$; $y(x)$ – вектор выходных значений, получаемых при реализации x .

При этом в задаче о нахождении предельной нагрузки требуется определить верхнюю границу множества X' . Данную задачу формализуем следующим образом. Пусть множество X характеризуется изменяемыми значениями расхода сточной воды и концентрациями примесей, соответствующими координатам точки M_i в n -мерном пространстве состояний входного потока. И пусть заданы параметрические

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i = \overline{1, l} \quad (2)$$

и функциональные

$$C_j \leq f_j(M_i) \leq d_j, \quad j = \overline{1, r} \quad (3)$$

ограничения, граничные пары которых первоначально выбираются согласно рекомендаций [1], но в процессе решения задачи они могут меняться исследователем. Соотношения (1) ограничивают в l -мерном пространстве параллелепипед Π , объем которого $V_{\Pi} = \prod_{i=1}^l (b_i - a_i)$. Ограничения (3) выделяют в Π подмножество X' . Предполагается, что отношение $V_{X'}/V_{\Pi}$ не слишком мало, а $f_j(M)$ непрерывно в Π .

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо найти такую точку M^* , для которой

$$\varepsilon^2(M^*) = \min_{M \in X'} \varepsilon^2(M), \quad (4)$$

где ε^2 – квадрат отклонений выходных показателей качества очистки стоков от допустимых значений, определяемых органами Росприроднадзора. Для решения задачи (4) с ограничениями (2) и (3) необходима математическая модель процесса очистки в подсистеме А-О. В качестве такой модели была использована имитационная модель ASM1 [2].

Процесс имитации сводится к следующему (см. рисунок 1.). С помощью генератора квазислучайных чисел [3] находим декартовы координаты точки M_i , принадлежащей П: $x_i = a_i + (b_i - a_i) \cdot q_i, i = \overline{1, l}$.

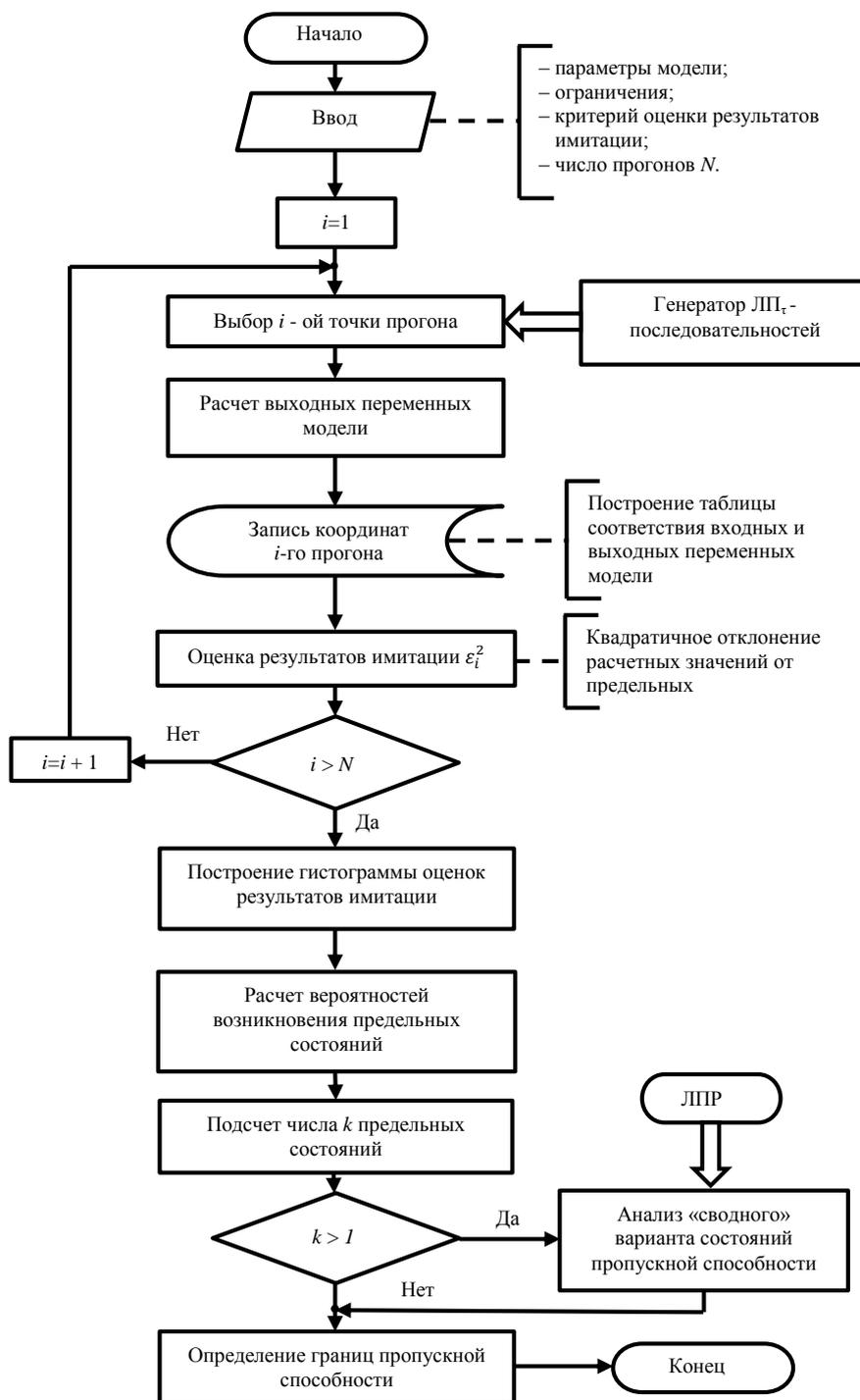


Рисунок 1 – Алгоритм расчета предельных состояний подсистемы аэропорт-отстойник

Найденные значения x_i подставляются в модель, выходом которой являются компоненты вектора $y(x)$. Если число прогонов i оказывается больше N , тогда на основе ε_i^2 строится гистограмма, а затем для минимальных значений q_i^2 оценивается вероятность возникновения предельных состояний. В ситуации, когда таких состояний с минимальными значениями ε_i^2 оказывается несколько, строится «сводная» диаграмма состояний пропускной способности, подобная рисунку 2.

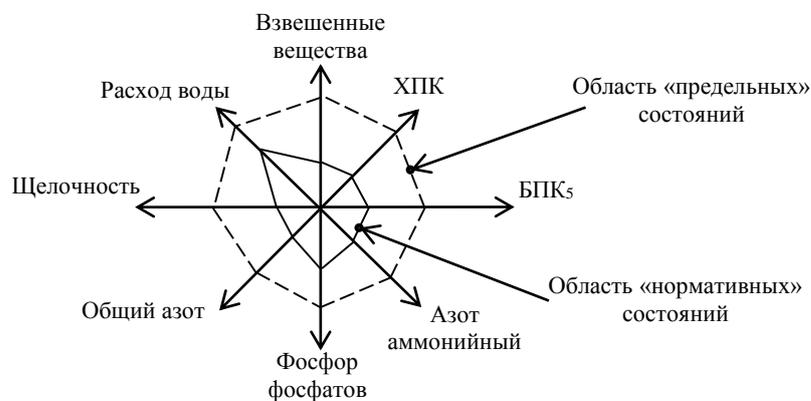


Рисунок 2 – Диаграмма нормативных и предельных состояний работоспособности подсистемы аэротенк-отстойник

Заключение

В статье дано описание постановки задачи расчета предельной нагрузки на подсистему очистки сточных вод и предложен алгоритм, на основе которого могут быть получены оценки пропускной способности по расходу воды и концентрациям примесей.

Список литературы:

1. Biological Wastewater Treatment/ С.Р. G. Leslie, Т. D. Glen, G. L. Nancy, D. M. F. Carlos. Third edition. IWA Publ. CRC Press, 2011. 991 p.
2. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван; пер. с англ. Т. П. Мосолова; ред. С. В. Калюжный. М.: Мир, 2004. 480 с.

3. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / М.: Наука, 1981. 110 с.

UDC 504.75

ALGORITHM FOR CALCULATING THE MAXIMUM LOAD FOR CITY TREATMENT FACILITIES

Anna An. Balamutova

graduate student

Yuri V. Zadorozhny

master student

Nikolai S. Popov

doctor of technical sciences, professor

eco@mail.tstu.ru

Tambov State Technical University

Tambov, Russia

Abstract. The article contains a description of the algorithm for calculating the throughput of urban wastewater treatment plants. Carrying out such a calculation at the design or modernization stage is associated with the need to identify the range of sustainable operation of structures under conditions of uncertainty in the amplitude of the input water flow and the composition of the impurities contained in it.

Key words: sustainable development, throughput, treatment facilities.

Статья поступила в редакцию 03.05.2024; одобрена после рецензирования 13.06.2024; принята к публикации 27.06.2024.

The article was submitted 03.05.2024; approved after reviewing 13.06.2024; accepted for publication 27.06.2024.