

*А. А. Баламутова, С. В. Клишин, Ю. В. Задорожный\**

## **АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Концепция пропускной способности природо-промышленных систем (ППС) способствует пониманию реальных причин неустойчивого поведения объектов региональной экономики. Понятие пропускной способности (ПС) ассоциируется с наличием внешних или внутренних воздействий такого типа, при которых системы перестают удовлетворять заданным требованиям, теряют свою устойчивость и живучесть (для экосистем – упругую устойчивость) и не пригодны к дальнейшей нормальной эксплуатации. В информационных системах понятие ПС связано с установлением предела их пропускной способности, поскольку наличие помех в каналах связи приводит к ограничению и потере информации в сообщении [1].

В практике применения методов теории надежности для широкого класса производственных систем понятие «предельное состояние» характеризует такие условия, при которых дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Для экосистем понятие пропускной способности отождествляется с емкостью среды обитания биологических видов и трактуется как максимальный размер популяции, который среда может стабильно поддерживать, обеспечивать пищей, укрытием, водой и другими необходимыми благами.

ПС очистных сооружений является сложной функцией конструктивных параметров аппаратов, состояния входного потока и режима эксплуатации. Поэтому реальная ПС может заметно отличаться от проектной, что указывает на необходимость оценки предельных возможностей подсистемы А–О. При этом надо различать два вида пропускных способностей: 1 – гидравлическую, определяемую потерей напора сточной воды на разных стадиях ее последовательного движения и обработки; 2 – процессную, связанную с реализацией био-физико-химических процессов очистки воды от примесей.

В отличие от типового варианта очистки стоков, в проекте модернизации подсистемы А–О рассматривается прогрессивная технология

---

\* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «ГГТУ» Н. С. Попова.

MBRAS, содержащая вместо отстойника мембранный фильтр с насосом для возврата порций ила в аэротенк. Технология MBRAS позволяет обеспечить высокое качество очистки стоков и защиту водоема-приемника от процессов эвтрофикации.

Алгоритм расчета ПС с использованием модели представленной в работе [2] показан на рис. 1. Его работа предполагает многократное сканирование пространства входных нагрузок  $V$ , образуемого переменными множества  $X$  изменяемыми в заданных диапазонах значений и нахождении среди них сочетаний, при которых достигается минимум функции (1).

$$Q(\mathbf{v}_{\text{вх}}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \left( \frac{y_i^j_{\text{норм}} - y_i^j_{\text{вых}}(\mathbf{v}_{\text{вх}})}{y_i^j_{\text{норм}}} \right)^2, \quad (1)$$

где под знаком сумм находится квадрат относительных отклонений расчетных значений выходных переменных от максимально допустимых,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, M}$ . Смысл использования функции (1) состоит в необходимости приближения ПС подсистемы А–О к верхней нормативной границе множества  $Y$  при соответствующем выборе значений нагрузки  $\mathbf{v}_{\text{вх}}$ . Индекс  $j = \overline{1, M}$  обозначает номера вариантов  $\mathbf{v}_{\text{вх}}$ ,  $M$  – достаточно большое число, уточняемое в процессе решения задачи.

Сканирование 9-мерного ограниченного пространства  $V$  производилось с помощью генератора ЛПт-последовательностей Соболя [3], наилучших в настоящее время равномерно распределенных последовательностей точек в многомерном пространстве.

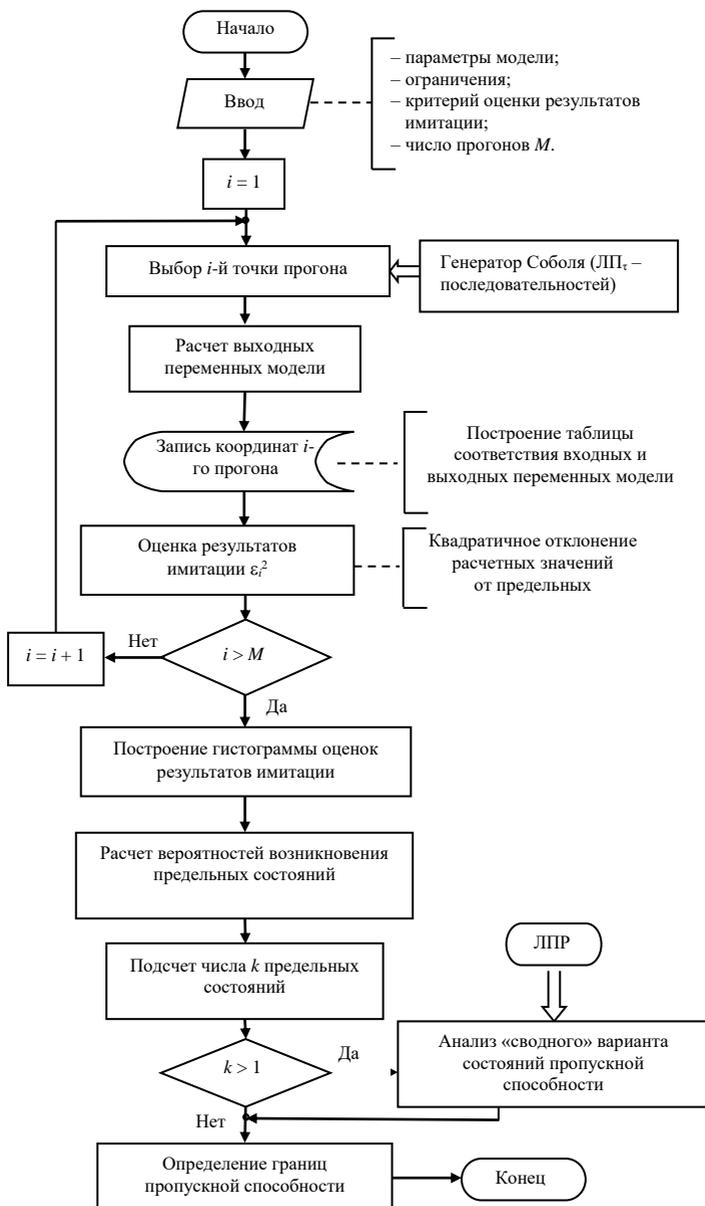
Необходимость в когнитивном интерфейсе объясняется тем обстоятельством, что калькулятор является многопользовательским инструментом расчетов для биологов, технологов и проектантов, вследствие чего, требующим учета их ментальности. Ниже приведены фрагменты расчетов ПС для одной из 3-х модернизируемых очередей городской станции очистки стоков г. Тамбова. Расчеты производились при изменениях входных переменных в диапазонах значений:

$$S_{Si} = 325...800 \text{ мг/л}; S_{NH_i} = 25...70 \text{ мг/л}; S_{ND_i} = 3...10 \text{ мг/л};$$

$$X_{ND_i} = 3...15 \text{ мг/л}; S_{CO_i} = 150...350 \text{ мг/л}; X_{Si} = 20...50 \text{ мг/л};$$

$$X_I = 35...50 \text{ мг/л};$$

а режимные переменные изменялись в диапазонах значений  $HRT = 0,04...0,8$  сут. и  $SRT = 2...40$  сут. При этом изменение расхода сточной воды  $G$  контролировалось значениями  $HRT = V/G$ , где  $V = 3168 \text{ м}^3$  соответствует проекту модернизации подсистемы А–О.



**Рис. 1. Алгоритм расчета предельных состояний подсистемы аэротенк-отстойник**

В результате сканирования 9-мерного пространства входных переменных необходимо найти координаты точек, для которых функция (1) принимает наименьшие значения отклонений расчетных величин от нормативных:  $S_S = 3$  мг/л;  $X_S = 70$  мг/л;  $S_{NH} = 3$  мг/л;  $S_{NO} = 21$  мг/л.

В таблице 1 представлен пример первых десяти значений ЛПт-последовательностей входных переменных, а в табл. 2 – соответствующие им значения выходных переменных. Перевод квазислучайных чисел  $q_i \in [0, 1]$  в нужный формат значений входных переменных производился по формуле

$$x_i^j = x_{i_{\min}}^j + (x_{i_{\max}}^j - x_{i_{\min}}^j)q_i, \quad (2)$$

где  $q_i$  –  $i$ -я квазислучайная точка, а  $x_{i_{\min}}^j$ ,  $x_{i_{\max}}^j$  – соответственно минимальное и максимальное значения  $j$ -й входной переменной в  $i$ -м прогоне.

В таблице 3 приведены значения функции (1) для каждой выходной переменной, а в правой колонке содержатся значения суммы квадратов отклонений для всех четырех переменных. На рисунке 2 изображена гистограмма результатов расчета функции (1) при числе прогонов  $M = 200$ . Из нее следует, что 14 различных сочетаний входных переменных образуют искомое подмножество  $X'$  (3), характеризующее пропускную способность подсистемы А–О. Выбор «критических» значений входных переменных из  $X'$  осуществляет лицо, принимающее решение.

**Таблица 1**

$SRT$	$HRT$	$S_S$	$S_{NH}$	$S_{ND}$	$X_{ND}$	$S_{CO}$	$X_{Sj}$	$X_j$
2,00	0,14	325,00	25,00	3,00	2,00	150,00	20,00	35,00
21,00	0,42	562,50	47,50	6,50	8,50	250,00	35,00	42,50
30,50	0,23	443,75	36,25	8,25	11,75	200,00	42,50	46,25
11,50	0,61	681,25	58,57	4,75	5,25	300,00	27,50	38,75
16,25	0,33	621,88	64,38	5,63	3,63	225,00	46,25	48,13
32,25	0,71	384,38	41,88	9,13	10,13	325,00	31,25	40,63
25,75	0,14	740,63	53,13	7,38	13,38	175,00	23,75	36,88
6,75	0,52	503,13	30,63	3,88	6,88	275,00	38,75	44,38
9,13	0,28	770,31	44,69	6,94	6,06	237,50	48,13	49,06
28,1	0,66	532,81	67,19	3,44	12,56	337,50	33,13	41,56

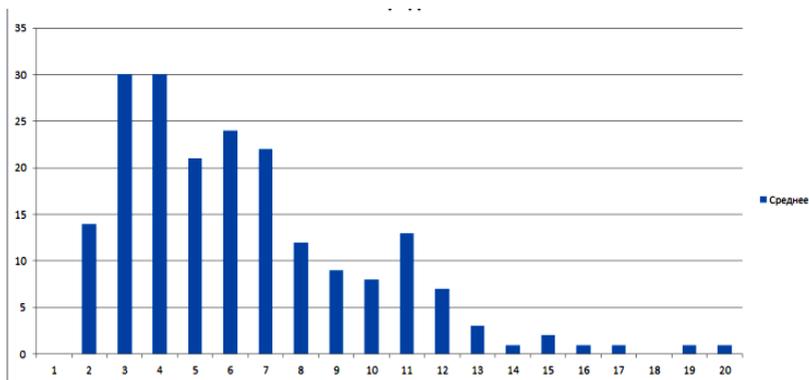
Таблица 2

$S_S$	$X_S$	$S_{NH}$	$S_{NO}$
4,59	55,16	5,67	15,36
2,50	23,52	0,40	52,31
2,44	36,87	0,36	49,07
2,67	16,88	0,50	53,07
2,56	32,40	0,43	60,89
2,42	10,45	0,35	55,25
2,47	96,57	0,38	61,90
2,94	12,86	0,70	26,33
2,77	40,06	0,57	37,79
2,45	14,86	0,37	74,49

Таблица 3

$S_S$	$X_S$	$S_{NH}$	$S_{NO}$	$\sum \varepsilon_i^2$
0,2809	0,0449	0,7921	0,0721	0,30
0,0277	0,4408	0,7511	2,2229	0,86
0,0348	0,2239	0,7744	1,7866	0,70
0,0121	0,5758	0,6944	2,3321	0,90
0,0215	0,2885	0,7338	3,6081	1,16
0,0373	0,7237	0,7802	2,6600	1,05
0,0312	0,1440	0,7627	3,7932	1,18
0,0004	0,6663	0,5877	0,0644	0,33
0,0058	0,1829	0,6561	0,6392	0,37
0,0336	0,6204	0,7685	6,4879	1,98

Полезь калькулятора при проектировании очистных сооружений очевидна: 1 – гибкость системы расчетов; 2 – быстродействие; 3 – углубленный анализ механизмов биологической очистки сточных вод.



**Рис. 2. Гистограмма результатов расчета функции (5)**

**Заключение.** Определение пропускной способности ППС необходимо проводить на этапах проектирования и модернизации их промышленных и экологических подсистем в целях обеспечения эффективного контроля за устойчивостью социально-экономических процессов в регионах России.

Концепция пропускной способности в проблеме устойчивого развития является многомерной. На примере ОСК показано, что такая концепция является двойственной – гидравлической и процессной (био-физико-химической).

Классы задач о пропускной способности относятся к категории обратных, решение которых возможно прямыми методами, основанными на оптимизации некоторого целевого функционала.

### Список литературы

1. Шеннон, К. Э. Работы по теории информации и кибернетике / К. Э. Шеннон, М. ИЛ., 1963. – 830 с.
2. О некоторых особенностях в постановке и решении региональных задач устойчивого развития / Н. С. Попов, О. В. Милованова, А. А. Баламутова, Л. Н. Чукина // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2022. – № 2(84), Ч. V . – С. 41 – 55. DOI: 10.17277/voprosy.2022.02.pp.041-055
3. Соболь, И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – М. : Наука, 1981. – 110 с.

*Кафедра «Природопользование и защита окружающей среды»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*