

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.Н. Яромский

Отдел проблем Полесья НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Охрана водных ресурсов на уникальных территориях, и в частности на Белорусском Полесье, является одной из актуальных задач данного региона. Здесь природой созданы наилучшие условия для развития молочного скотоводства. На территориях Брестской и Гомельской областей функционирует более 30 молокоперерабатывающих предприятий, на которых в результате технологических процессов образуются высококонцентрированные сточные воды, представляющие опасность для функционирования водоемов. Исходя из этого, одной из важнейших задач является разработка и внедрение сооружений по очистке сточных вод на этих предприятиях, которые стали бы надежным щитом по предотвращению загрязнения водоемов.

На строительство очистных сооружений требуются большие материальные затраты. В связи с этим актуальным является поиск путей снижения этих затрат. При этом уровень решения данного вопроса непрерывно связан со степенью загрязнения водоемов. Ущерб, наносимый водоемам, следует принимать дифференцированным, не превышающим максимально допустимого. Традиционно необходимая степень очистки рассчитывается именно на этот случай, хотя сам ущерб не определяется. В целом эта задача должна решаться на основе системного анализа, при котором варьируются структурные схемы очистки сточных вод, технологические и конструктивные параметры отдельных сооружений и их взаимосвязи для выбора лучшего варианта при обеспечении требуемой степени очистки. Дифференцированный учет ущерба, наносимого при разной степени очистки сточных вод, делает эту задачу, кроме того, иерархической.

На верхнем уровне выявляется максимальная экономическая эффективность по предотвращению ущерба от загрязнений, на нижнем – находится оптимальный вариант достижения необходимой степени очистки, соответствующий максимуму экономической эффективности по предотвращению ущерба.

Системный подход к решению задачи поиска лучших вариантов проектирования очистных сооружений является обобщающим и не зависит от их структуры, конкретных функционально-математических связей и моделей, но способы ее реализации могут быть разными: т.е., если имеется ряд уравнений $y_j = f_j(\bar{x}_i)$,

где \bar{x}_i - вектор параметров при $i=1, \dots, n$, $j=1, \dots, m$, являющихся расчетными для мощностей сооружений, причем между ними имеются общие параметры, хотя бы в единичной связке каждого из них с любым другим y_j , то поиск лучшего варианта может и должен проводиться на основе системного анализа технологически связанных комплексов сооружений. Сам же поиск лучшего решения есть задача оптимизации, а методы реализации не зависят от вида уравнения y_j и цели поиска, определяемой соответствующими критериями.

Критерием может быть время пребывания сточных вод в сооружении, при котором достигается максимальный эффект очистки, коэффициент использования объема сооружения, энергетические затраты по очистке, КПД оборудования и др.

При проектировании СНиП [1] рекомендует применять в качестве обобщающего критерия приведенные затраты, так как ими учитываются и сметная стоимость, и эксплуатационные расходы.

В обоих случаях математическая формулировка задачи не претерпевает изменений и с учетом [2,3] может быть записана в следующем виде.

В области R , определяемой ограничениями

$$r(\bar{x}) = \beta_i, i = 1, \dots, m; \bar{x} \geq 0,$$

задана целевая функция (приведенные затраты, коэффициент использования объема сооружения и т.д.), в общем случае нелинейная – $C(\bar{x})$. Требуется найти такой оптимальный вектор x_0 , принадлежащий области R , для которого справедливо условие $C(\bar{x}_0) = \min C(\bar{x})$ при $\bar{x} \in R$. Здесь \bar{x} – вектор с j -компонентами ($j = 1, \dots, n$); $R_i(x)$ при $i = 1, \dots, m$ – функции от \bar{x} , в общем случае нелинейные.

Рассмотрим на основе системного анализа принципы построения математических моделей и выбор методов расчета оптимальных вариантов для определенной структуры очистных сооружений. Необходимо запроектировать комплекс сооружений для биохимической очистки сточных вод молокоперерабатывающего завода в оптимальном варианте для заданных исходных условий. Выделим основной блок этих сооружений, технологически зависящих друг от друга, когда изменение режима работы одного из них влияет на работу других и в целом на степень очистки сточных вод: погружной дисковый биофильтр, вторичный отстойник, резервуар-усреднитель.

Процесс биохимической очистки сточных вод на погружных дисковых биофильтрах описывается уравнением:

$$L_1 = f_1\left(\sum_{k=1}^K \beta_k, L_a, B, T, t^\circ\right), \quad (1)$$

где $\sum_{k=1}^K \beta_k$ – исходные условия, характеризующие качество сточных вод, тип реактора и другие факторы; L_a – входящая концентрация загрязнителя; L_1 – конечная концентрация загрязнителя; B – концентрация микроорганизмов; T – время пребывания сточных вод в реакторе; t° – температура сточной воды.

Зная расход сточных вод и другие параметры, можно определить площадь дисков и необходимый объем погружного дискового биофильтра для обеспечения заданной степени очистки.

Требуемый объем вторичных отстойников назначается по величине гидравлической нагрузки, определяемой по зависимости:

$$q_{ssb} = f_2\left(\sum_{m=1}^M \beta_m, U_o, K_{set}\right), \quad (2)$$

где $\sum_{m=1}^M \beta_m$ – исходные условия для вторичных отстойников, включая глубину проточной части и продолжительность пребывания;

U_o – гидравлическая крупность биопленки;

K_{set} – коэффициент использования объема.

Зная расход сточных вод и q_{ssb} , можно определить объем вторичных отстойников.

Из сравнения зависимостей (1) и (2) следует, что оба эти сооружения технологически связаны временем пребывания. Изменение времени пребывания в каждом из них приводит к изменению объемов этих сооружений, а при постоянстве

объемов и конструктивно-технологических параметров – к изменению степеней очистки по БПК и взвешенным веществам.

Резервуары-усреднители предназначены для усреднения сточных вод по расходам и концентрациям загрязнений. Расчет усреднителя заключается в определении объема W_{av} в зависимости от характера притока сточных вод. Для усреднения сточных вод предприятий молочной промышленности рекомендуются многоканальные или дифференциальные усреднители [4].

$$W_{av} = f_3\left(\sum_{l=1}^L \beta_l, T, K_{av}\right), \quad (3)$$

где $\sum_{l=1}^L \beta_l$ – исходные условия, характеризующие качество сточных вод, тип усреднителя; T – длительность залпового сброса; K_{av} – коэффициент усреднения.

Сравнение уравнений (1) – (3) показывает, что рассмотренный комплекс сооружений взаимозависим в том смысле, что изменение любого из параметров работы каждого из сооружений ведет к изменению условий работы не только его самого, но и всей технологической цепочки. При этом на стадии проектирования и строительства исходные условия, определяемые характеристики $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и т.д., являются постоянными для расчетного режима, а конструктивно-технологические параметры $B, H_{set}, K_{av}, K_{set}$ могут варьироваться в допустимых пределах, т.е. ограничениях. При эксплуатации сооружений могут меняться некоторые начальные условия: расход сточных вод, БПК на входе, степень очистки, температурный режим сточных вод и т.д., но при заданных объемах сооружений. Из предложенного следует, что при проектировании возможен достаточно произвольный набор параметров (переменных), обеспечивающих заданные условия работы сооружения, а при эксплуатации еще и циклические варианты работы их в зависимости от меняющихся во времени расходов, температур, концентраций. При этом интенсификация работы сооружений или, напротив, переход к менее интенсивным режимам должен проводиться варьированием конструктивно-технологических параметров без нарушения условий сброса сточных вод в водоем или коммунальную сеть и при наилучших технико-экономических показателях.

Однако оптимизация комплекса очистных сооружений молокоперерабатывающего предприятия является сложной задачей, которая должна решаться с учетом множества факторов. Обобщающим критерием оптимальности указанного комплекса является функция приведенных затрат, которая складывается из приведенных затрат по отдельным сооружениям:

$$\Pi = \sum \Pi_i, \quad (4)$$

где: Π – приведенные затраты комплекса, тыс. руб/год;

Π_i – приведенные затраты по отдельным сооружениям:

$$\Pi_i = \left(\frac{1}{\tau_i} + q_i + h_i \right) \cdot K_i + \mathcal{E}_i, \quad (5)$$

где: τ_i – срок, окупаемости капитальных вложений, год;

q_i – норма амортизационных отложений;

h_i – норма отложений на текущий ремонт;

K_i – капитальные затраты на строительство и монтаж, тыс. руб.;

\mathcal{E}_i – эксплуатационные затраты на энергию оплату обслуживающего персонала, тыс. руб/год.

Таким образом, разработанные подходы к математическому моделированию отдельных сооружений и их взаимосвязанных комплексов позволяют выполнить оптимизацию технологических систем очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий и получить значительный экологический и экономический эффекты.

Литература

1. СНиП 2.04.03 – 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстрой, 1986. – 73 с.
2. Яковлев С.В., Кривошеев Г.Г. Оптимизация очистных сооружений городских канализаций. МВССО ТССР. – Ашхабад. – 1982. – 120 с.
3. Алексеев М.И., Кривошеев Г.Г. Принципы математического моделирования и оптимизация сооружений по очистке стоков. Известия вузов, Строительство. 1996. №3 с. 86–92.
4. Яромский В.Н. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности.– Брест: «Издательство Академия», 2004. – 112 с.

Optimization of Technological Systems of Sewage Treatment of the Dairy Industry

V.N. Jaromsky

Department for problems of Polesie of National Academy of Science of Belarus,
Brest, Belarus

The questions about optimization of technological systems of sewage treatment of the dairy industry are considered. On the basis of the system analysis principles of construction of mathematical models and the choice of methods of calculation of optimum variants for definition of clearing constructions structure are developed. On the example interdependence of a clearing constructions complex it is shown, that change of any of parameters of work of each construction conducts to change of operating conditions not only it, but also all technological chain. The developed basic approaches to mathematical modeling separate constructions and their interconnected complexes allows to execute optimization of sewage treatment systems in dairy industry and to receive significant economic and ecological effect.