

О СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Н. С. Попов, О. В. Пещерова, Чан Минь Тьинь

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. Н. Шамкин

Ключевые слова: «быстрые» и «медленные» процессы в объекте; «диффузный» регулятор биосистемы; координатор «активных точек»; объект управления «аэротенк – отстойник»; структура системы управления процессом биологической очистки.

Аннотация: Проанализированы городские очистные сооружения с позиции открытой термодинамической системы, подверженной влиянию многочисленных случайных факторов. Процесс биологической очистки предложено трактовать как результат работы «диффузного» регулятора (ДР). Дано формальное описание ДР и поставлена задача координации действий его «активных точек». Показана значимость отношения θ/τ как «правила координации» работы «диффузного» регулятора. Сформулирована постановка задачи централизованного управления биологической очисткой и предложена двухконтурная адаптивная система управления с моделью и предиктором.

В Основах государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г. отмечено, что экологическая ситуация в РФ характеризуется высоким уровнем антропогенных воздействий на природную среду и значительными экологическими последствиями прошлой экономической деятельности. Это касается загрязнения воздушного и водного бассейнов, сокращения биоразнообразия, ухудшения состояния почв и земель.

Попов Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: esco@nnn.tstu.ru; Пещерова Ольга Викторовна – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; Чан Минь Тьинь – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Решение проблемы рационального использования водных ресурсов неразрывно связано с проведением комплекса мероприятий по предотвращению загрязнения водных сред в результате постоянно нарастающего сброса в них бытовых и производственных сточных вод. Особое значение в этом комплексе мероприятий отводится модернизации канализационных систем, в составе которых важнейшую природозащитную функцию выполняют сооружения биологической очистки. Сокращение капитальных и эксплуатационных расходов при проектировании или модернизации данных сооружений может дать ощутимый экономический эффект лишь при условии удовлетворения нормативов качества очищаемых стоков по углерод-, азот- и фосфорсодержащим веществам. Иначе ожидаемый экономический эффект может оказаться ниже эколого-экономических потерь.

В настоящее время технология обработки городских сточных вод включает мощные системы биологической очистки в комбинации с системами физико-химической обработки воды. При этом биологическая очистка осуществляется при минимальных энергетических затратах на массовую долю удаляемых веществ и, вследствие этого, является чрезвычайно распространенным в мире способом обезвреживания больших объемов сточных вод [1 – 4]. Проектирование очистных сооружений регламентируется СНиП 2.04.03–85 «Канализация», в которых приведены методики расчета основных элементов технологии и даны рекомендации по использованию оборудования в составе проектируемого комплекса.

В отличие от химических и биохимических производств городские очистные сооружения являются открытыми инженерными системами [5], подверженными постоянному материально-энергетическому обмену с внешней средой, вследствие чего внутрь аппаратов могут поступать не только контролируемые сточные воды и дождевые потоки известного состава, но и случайные канализационные сбросы токсичных веществ, разнообразная микрофлора. При этом велико влияние климатических факторов на процессы биоокисления.

Невозможность в принципе организации мониторинга за всеми входными воздействиями, с одной стороны, и детерминировано-стохастическая природа процессов в системе «аэротенк – отстойник» (А – О) – с другой, позволяют отнести очистные сооружения к классу природо-промышленных систем (ППС), отличающихся неполнотой информации о составе внешних и внутренних возмущений, непредсказуемым поведением ряда биохимических процессов, наличием больших запаздываний в информационных каналах, инерционностью объектов, неопределенностью отклика на входные воздействия и т.п. [6]. По сути ППС являются вероятностными системами, проектирование и управление которыми предполагает использование адекватного им математического аппарата.

На рисунке 1 показана схема природо-промышленной системы $S_{ППС}$, где $S_{п}$ – промышленная часть очистного комплекса с насосными станциями, воздуходувками, аэротенками, отстойниками и другим оборудованием; $S_{э}$ – экологическая подсистема с приземным слоем воздуха, водоемом-приемником очищенных стоков и почвами под илонакопителями. В фор-

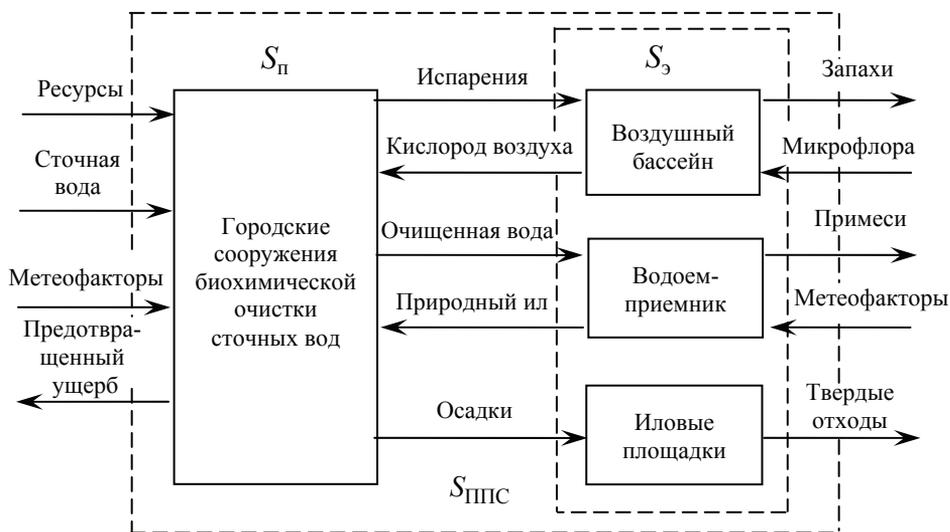


Рис. 1. Городские сооружения биохимической очистки как открытая ППС

мализованном виде $S_{ППС}$ показана на рис. 2, где символами $X_п$, $X_з$ и $Y_п$, $Y_з$ обозначены соответственно множества всех входных и выходных переменных в $S_п$ и $S_з$, а символами $Z_{Y_п} \equiv Z_{X_з}$ и $Z_{Y_з} \equiv Z_{X_п}$ – множества внутренних связей $S_п$ с $S_з$. Тогда всю систему в целом – $S_{ППС}$, представим как отношение на декартовом произведении

$$S_{ППС} \subset (X_п \times X_з) \times (Y_п \times Y_з),$$

определяемое по формуле $S_{ППС} = \Omega(S_п \circ S_з)$, где \times – знак декартова произведения; \circ – знак последовательного соединения подсистем; Ω – знак замыкания обратной связи между ними.

Заметим, что в составе $X_п$ и $X_з$ содержатся управляемые $U_п$, $U_з$, наблюдаемые $R_п$, $R_з$ и возмущаемые $\Xi_п$, $\Xi_з$ переменные:

$$X_п = U_п \times R_п \times \Xi_п, \quad X_з = U_з \times R_з \times \Xi_з,$$

знание характеристик которых необходимо как на этапе проектирования, так и на этапе создания системы управления $S_{ППС}$.

Центральной частью очистных сооружений является относительно самостоятельная система А – О, одна из конфигураций которой изображена на рис. 3. Сущностью биологической очистки сточных вод является

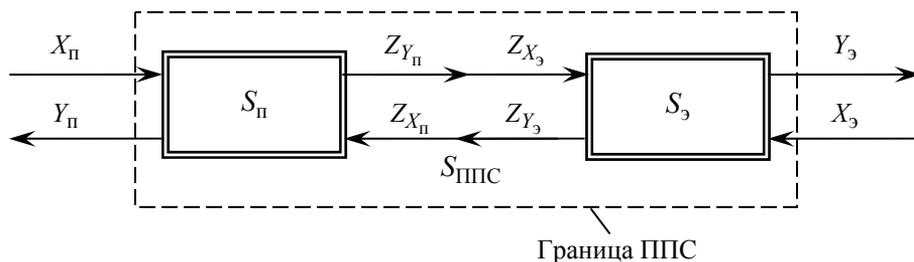


Рис. 2. Формализация ППС

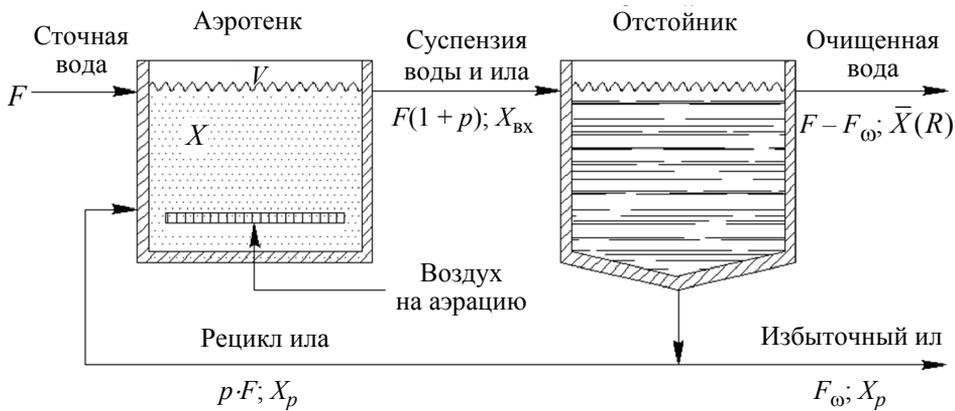


Рис. 3. Система «аэротенк – отстойник»

биоокисление загрязняющих органических веществ в процессе метаболизма микроорганизмов, с частичной трансформацией органики в прирощенную биомассу. При математическом описании процесса биоокисления в качестве идейной основы используют кинетику ферментативных реакций Михаэлиса – Ментен [1], а гипотетическую формулу бытовой сточной воды выражают в виде $C_{12}H_{26}O_6N$ [5]. Наличие фосфора, серы и металлов не принимают во внимание по причине относительно малого их содержания.

В аэротенке, представляющем собой проточный биоинженерный реактор значительных размеров, проходят процессы биоокисления органических веществ и рост колоний микроорганизмов в форме частиц активного ила. Для поддержания их во взвешенном состоянии и насыщения воды кислородом воздуха используют пневмоаэрацию. В отстойнике биомасса ила осаждается, уплотняется в придонной области и частично возвращается в аэротенк, а избыточное количество ила удаляется из системы. Осветленная вода, образуемая в верхней части отстойника, отводится в водоем-приемник. К наблюдаемым входным переменным системы А – О относятся: расход F и температура воды t , оперативно контролируемые концентрации органических веществ, мутность, рН среды; к управляемым – расход воздуха на аэрацию, расход ила в рецикле $p \cdot F$, отвод избыточного ила из системы F_{ω} .

При заданной эффективности очистки стабильность работы системы А – О регламентируется соответствием технологических, гидравлических и аналитических показателей проектным значениям, а кроме того, зависит от квалификации обслуживающего персонала, выполнения графика планово-предупредительных работ и качества систем управления.

В реальных ситуациях условия регламента не всегда выполняются. Так расход сточных вод и концентрации содержащихся в них веществ на входе в аэротенк могут меняться в несколько раз в течение суток, месяцев или сезонов [2]. При этом возможны спонтанные появления ливневых вод, непредсказуемые аварийные сбросы высококонцентрированных веществ с предприятий, случайные проскоки токсичных примесей, вызывающие шоковое состояние микрофлоры. Колебания расхода и состава стоков сопровождаются сезонными колебаниями температуры воды, что также приводит к нестабильности процессов биоокисления и стратифика-

ции водных потоков по плотности [7]. Особая ситуация возникает в случаях необходимости расширения очистных сооружений и их технологической модернизации.

На рисунке 4 показан график суточного изменения расхода сточной воды F , характерное для городских очистных сооружений, на рис. 5 – типичные изменения температуры воды в аэротенке и концентрации органических веществ по БПК в поступающих сточных водах в течение года.

Между тем в практике проектирования очистных сооружений распространён подход, ориентированный на средние значения расхода и загрязнённости воды, климатических условий и т.п., что не обеспечивает заданного качества очистки. Например, по СНиП 2.04.03–85 вместимость аэротенков определяется по среднечасовому поступлению воды за период аэрации в часы максимального притока воды. Альтернативный подход в проектировании сфокусирован на максимально сложные условия функционирования: залповые сбросы вод, наиболее низкие для процесса биологического окисления зимние температуры и самые высокие летние ее значения для процесса аэрации. В результате создается неэкономичный комплекс, подавляющую часть времени функционирующий с избыточным запасом надежности [7].

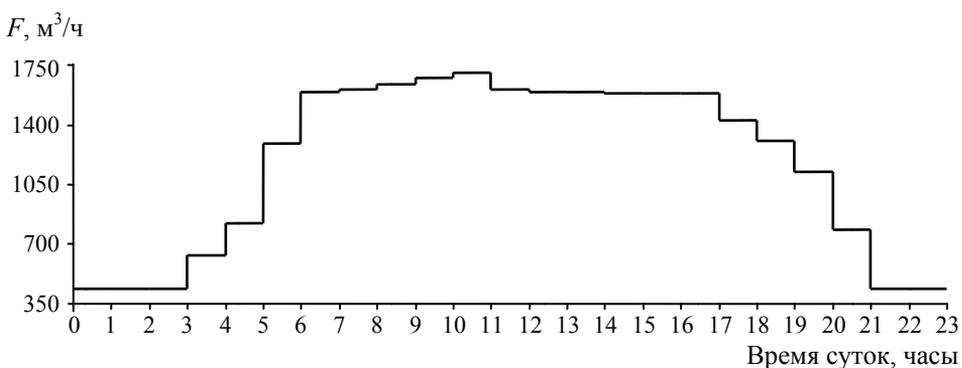


Рис. 4. Изменение суточного расхода сточных вод F , поступающих на городские очистные сооружения

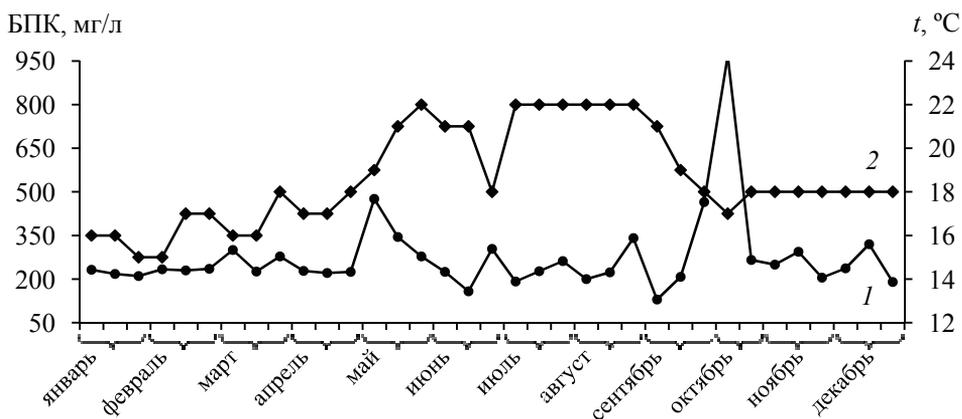


Рис. 5. Изменение концентрации органических веществ по БПК в сточных водах (1) и температуры воды в аэротенках (2) в течение года

В ситуациях со случайными нагрузками рекомендуют устанавливать усреднители на входе системы А – О, выбирать подходящие гидродинамические режимы работы аэротенков, распределять ввод воды по секциям и другие технологические мероприятия. Однако радикальным способом решения обсуждаемой проблемы нестационарности является совмещенное проектирование оборудования очистных сооружений с системами управления, способными компенсировать действие случайных факторов на биоокисление. Цель данной работы – обоснование структуры системы управления процессом биологической очистки.

Важнейшую функцию по стабилизации работы системы А – О выполняет самоорганизующаяся и саморегулируемая биосистема активного ила, представляющая собой сложное сообщество микроорганизмов разных систематических групп: бактерий, актиномицетов, простейших, грибов, водорослей, вирусов, членистоногих и некоторых других. Динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды ила, его устойчивость к изменению внешних условий (концентраций, рН среды, температуры и др.), достигается за счет механизма гомеостаза, в котором решающее значение имеет конкуренция различных форм микроорганизмов за пищевые ресурсы.

В сообществе микроорганизмов в первую очередь выживают те, которые способны усваивать доступные питательные вещества с большей, чем у других, скоростью и при значительно низких концентрациях [8]. Бóльшей устойчивости активного ила внешним изменениям способствует и симбиоз отдельных групп микроорганизмов в некое единое целое – «микрокосм», с общей оболочкой. Такой более сложный вариант существования популяций благоприятен для роста всех участников микрокосма и в нем сильнее проявляется тенденция к устойчивости как независимости от внешних воздействий [9].

На рисунке 6 показана концептуальная схема саморегуляции активного ила, основанная на механизме гомеостаза. В ней различимы два контура обратных связей: 1 – положительной (ПОС) и 2 – отрицательной (ООС). Контур 1 действует при увеличении концентрации питательных веществ в системе, что приводит к активному росту популяций. Контур 2 включается при появлении отклонений условий внешней среды от оптимальных для любого вида микроорганизмов в сообществе и запускает механизм «конкурентного исключения видов», снижающий скорость роста популяций.

Из анализа данной структуры следует вывод о том, что в системе А – О функционирует адаптивный экстремальный биорегулятор, «разнообразии поведения которого, вызванное процессом непрерывной конкуренции видов за пищевой ресурс, подавляет разнообразие условий внешней среды» [10]. Данный биорегулятор рассредоточен по всему объему воды в аэротенке частицами активного ила (активными точками (АТ)), в связи с чем может быть назван «диффузным» регулятором (ДР) биосистемы. Его действия направлены на поддержание максимально возможной для сложившихся условий внешней среды скорости роста микроорганизмов. Однако достичь нужной степени очистки воды в аэротенке при самостоятельной работе ДР проблематично, поскольку действия его АТ всегда индивидуальны, спонтанны, рассогласованы и зависимы от состава органических веществ в локальной для них зоне.

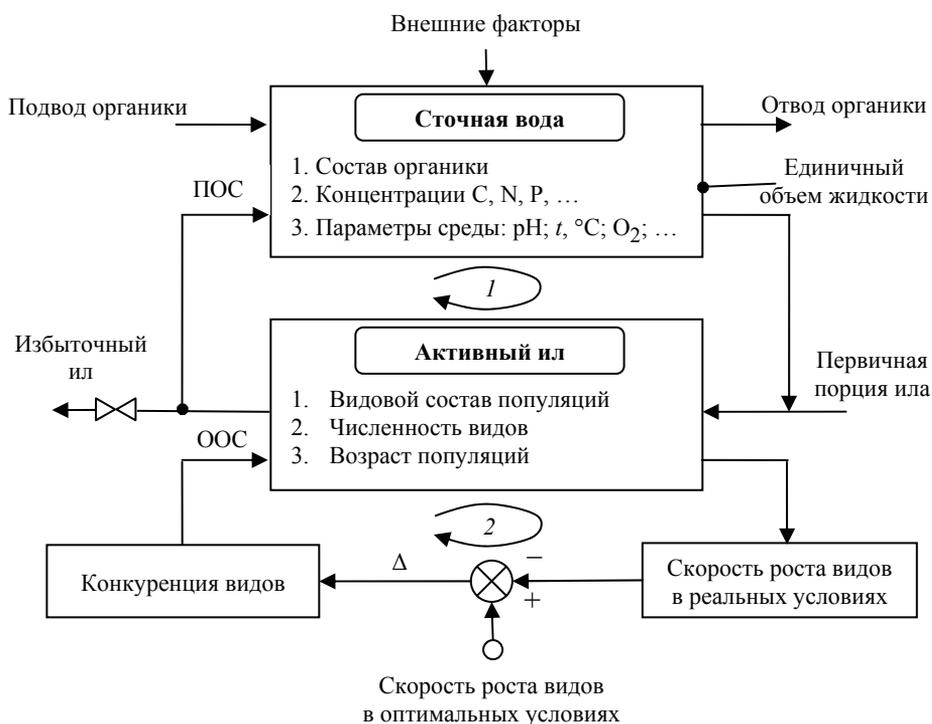


Рис. 6. Гомеостатический механизм двухфазной системы:
 активный ил – сточная вода; Δ – разница скоростей роста

Пусть взаимодействия популяций в биосообществе ила носят симбиозный характер. Символом $M = \bigcup_{i=1}^n \mu_i$ обозначим множество состояний популяций, характеризуемых удельными скоростями роста μ_i , $i = \overline{1, n}$. Символом $R = C \times \Phi \times \Xi$ – множество состояний внешней среды, оказывающих влияние на M , где C , Φ и Ξ – соответственно множества значений концентраций органических веществ, параметров среды (рН, температура и др.) и случайных факторов. Символом $U = U(R, M)$ обозначим множество значений управляемых воздействий, зависящих по закону прямой и обратной связи соответственно от R и M , а $[0, T]$ – интервал времени существования АТ. Тогда с учетом принятых обозначений функцию диффузного регулятора выразим в следующей операторной форме:

$$\text{ДР: } R \times U \times [0, T] \rightarrow M_0, \quad (1)$$

где \times – знак декартова произведения; M_0 – множество оптимальных состояний популяций, таких что

$$M_0 = \{\bar{\mu}_0\} = \max_{u \in U} \left[\bigcup_{i=1}^n \mu_i(u) \right], \quad (2)$$

здесь u – управления на микрошкале АТ; $\bar{\mu}_0$ – оптимальные варианты скоростей роста микроорганизмов в сообществе.

Воспринимая (1) в качестве отображения объективной реальности, можно признать, что стабильность работы системы А – О при случайных изменениях внешней среды повышается за счет увеличения биоразнообразия организмов в сообществе и максимизации скорости их роста. Такой вывод вполне согласуется с результатами натуральных исследований в экологии [8, 11]. Однако, эффективно управлять очисткой стоков в системе А – О можно лишь при условии включения в систему управления процессом внешнего координатора АТ (рис. 7). Его устройство рассмотрим более подробно. Диффузный регулятор работает одновременно в двух фазах: жидкой (с растворенными органическими веществами) и твердой (с частицами активного ила), а значит, данное обстоятельство должно найти свое отражение в конструкции координатора.

Бесконечное множество АТ, содержащихся в потоке аэрируемой воды, предполагает вероятностный механизм их поведения в ансамбле движений. При этом появляется возможность описания их состояний законами распределения случайных переменных. В данной работе воспользуемся средними значениями выборочных распределений вероятностей, а именно – средним временем гидравлического контакта частиц воды и ила в аэротенке τ , и средним временем пребывания частиц ила в системе θ (возрастом ила). Растворенные органические вещества ассоциируются с жидкостью, поэтому для аэротенка полного перемешивания с объемом V и расходом сточной воды F величина τ определяется по известной формуле $\tau = V/F$ и может составлять 10 – 12 часов. Значения θ находятся из выражения $\theta = VX/F_{\omega}X_p$, где VX – масса частиц ила в аэротенке, а $F_{\omega}X_p$ – масса частиц ила, удаляемая из системы в единицу времени. Реально возраст ила не должен выходить за диапазон в 4 – 10 суток [3].

Параметры τ и θ оказываются ключевыми в обеспечении стабильности процессов биоокисления и осаждения. В частности, величина $1/\tau$, именуемая скоростью разбавления, влияет на скорость прироста ила, а θ определяет его биологическую активность и способность к отстаива-

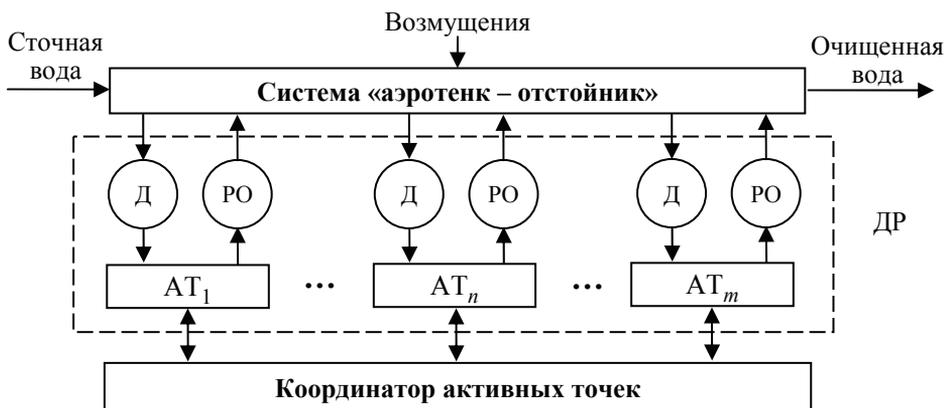


Рис. 7. Система децентрализованного управления с координатором активных точек диффузного регулятора:
Д – датчик, РО – регулирующий орган

нию [2]. В работе [4] θ отнесен к наиболее важному параметру в проектировании и управлении системой А – О, объясняя это тем, что питательная среда обеспечивает потенциал для роста микроорганизмов, а θ определяет возможность его реализации.

От постоянства возраста ила зависит качество очищенной воды и в случае изменений концентраций загрязняющих веществ на входе в аэротенк их необходимо скомпенсировать приростом ила, то есть повышением его концентрации при сохранении постоянной нагрузки на ил [5]. При этом нужный возраст ила обеспечивается гидравлическим способом – удалением из системы определенной массы избыточного ила.

На примере одного из вариантов организации системы А – О в работе [4] показано, что концентрация* активного ила $X_{В.Н.Т.}$ в аэротенке прямо связана с соотношением θ/τ :

$$X_{В.Н.Т.} = (\theta/\tau) \{ [Y(S_0 - S)] / (1 + b_H\theta) \}, \quad (3)$$

где S_0 , S – соответственно концентрации биоразлагаемых веществ во входном и выходном потоках воды; Y – прирост биомассы ила; b_H – коэффициент отмирания микроорганизмов.

С учетом (3) «правило координации» АТ в ДР выразим отношением

$$\theta/\tau = \text{const}, \quad (4)$$

при выполнении которого в условиях действия случайных возмущений обеспечивается эффективность работы ДР «в среднем» выбором надлежащих значений θ и τ . Возможность их коррекции и делает конструкцию координатора АТ практически реализуемой в системе управления А – О.

Условие (4) можно назвать «рабочей настройкой» или «заданием» проектируемого процесса биологической очистки в статике. Для системы А – О с рециклом $\theta/\tau \gg 1$, что свидетельствует о наличии в ней двух типов процессов – «быстрых», связанных с распространением внешних возмущений по каналу сточной воды, и «медленных», перенастраивающих биологическую компоненту системы согласно удельным скоростям роста микроорганизмов. Такое обстоятельство указывает на необходимость разработки двухконтурной адаптивной системы управления процессом в А – О. В условиях постоянно действующих возмущений строгое выполнение (4) не реально, а имеет смысл условие

$$k_H \leq \theta/\tau \leq k_B, \quad (5)$$

где k_H и k_B – нижнее и верхнее значения отношения θ/τ .

Поскольку для расчета θ требуется математическая модель процесса, система управления А – О становится «двухконтурной адаптивной системой управления с моделью», а с учетом возможности удаленного (дистанционного) контроля за притоком сточной воды в аэротенк она является «двухконтурной адаптивной системой управления с моделью и предиктором» (ДАСУМП). Структура системы управления процессом биологической очистки представлена на рис. 8.

* От англ. *active heterotrophic biomass concentration in TSS units* [4] – концентрация активной гетеротрофной биомассы в единицах TSS (*Total Suspended Solids* – общее содержание взвешенных частиц).

Обозначим \hat{X}_n и \hat{X} – множества оценок начальных и текущих состояний системы $A - O$; \hat{R} и $\hat{\Xi}$ – множества оценок наблюдаемых и случайных переменных; $U = U(\hat{R}, \hat{X})$ – множества значений управляющих воздействий, зависящих по закону прямой и обратной связи от \hat{R} и \hat{X} . С учетом принятых обозначений функцию централизованной системы управления, обозначенную как CS, выразим в операторном виде

$$CS: \hat{X}_n \times \hat{R} \times \hat{\Xi} \times U \times [0, T] \rightarrow \hat{X}_0, \quad (6)$$

где

$$\hat{X}_0 = \{\hat{x}_{0i}\} = \max_{u \in U} P[(\hat{x}_{i3} - \hat{x}_i) > \Delta_i], \quad (7)$$

здесь \hat{x}_{i3} и \hat{x}_i – заданное и текущее значения концентраций примесей в очищенной воде соответственно, $i = \overline{1, n}$; Δ_i – «запас» надежности биологической очистки; P – символ вероятности; $u \in U(\hat{R}, \hat{X}) \subset \Psi$ – значения управлений из допустимого множества Ψ , согласованного с диапазоном (5).

Сопоставление операторов ДР и CS указывает на их очевидное сходство в плане максимизации показателей эффективности. Координация АТ «диффузного» регулятора объективно приводит к построению системы централизованного управления процессом биологической очистки сточных вод, возможности которой заложены в ее сложности, а поведение отдельных видов микроорганизмов в биоценозе ила, в таком случае, полностью определяются поведением системы.

Список литературы

1. Биологическая очистка производственных сточных вод: процессы, аппараты, сооружения / С. В. Яковлев [и др.]; под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
2. Очистка сточных вод / Хенце М. [и др.]; пер. с англ. Т. П. Мосолова; ред. С. В. Калужный. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
3. Вавилин, В. А. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом / В. А. Вавилин, В. Б. Васильев. – М.: Наука, 1979. – 119 с.
4. Biological Wastewater Treatment / C.P. Leslie Grady [et al.]. – IWA Publ. CRC Press, 2011. – XXIX, 991 p.
5. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980. – С. 164.
6. Попов, Н. С. Повышение энергоэффективности природо-промышленных систем / Н. С. Попов. – Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2014. – 146 с.
7. Гордин, И. В. Технологические системы водообработки: динамическая оптимизация / И. В. Гордин – Л.: Химия, 1987. – 264 с.
8. Одум, Ю. Экология: пер. с англ. В 2 т. Т. 2. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – 376 с.
9. Дажо, Р. Основы экологии: пер. с фр. / Р. Дажо. – М.: Прогресс, 1975. – 415 с.
10. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику: пер. с англ. / У. Р. Эшби – М.: Иностран. лит., 1959. – 432 с.
11. Брежнев, А. И. Математические модели биологических сообществ и задачи управления / А. И. Брежнев // Математическое моделирование в биологии / А. И. Брежнев [и др.]. – М.: Наука, 1975. – С. 92 – 112.

References

1. Yakovlev S.V., I. Skirdov V., Shvecov V.N., Bondarev A.A., Andrianov Yu.N. *Biologicheskaya ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod: processy, apparaty, sooruzheniya* (Biological treatment of industrial waste water: processes, devices, constructions), Moscow: Strojizdat, 1985, 208 p.
2. Henze M., Harremoës P., Cour Jansen, J. la, Arvin E. *Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002, X, 422 p.
3. Vavilin V.A., Vasil'ev V.B. *Matematicheskoe modelirovanie processov biologicheskoy ochistki stochnykh vod aktivnym ilom* (Mathematical modeling of biological wastewater treatment activated sludge), Moscow: Nauka, 1979, 119 p.
4. Grady C.P. Leslie, Daigger G.T. , Love N.G., Filipe C.D.M., *Biological Wastewater Treatment*, 3-d ed., IWA Publ. CRC Press, 2011, xxix, 991 p.
5. Yakovlev S.V., Karyuxina T.A. *Bioximicheskie processy v ochistke stochnykh vod* (Biochemical processes in sewage treatment), Moscow: Strojizdat, 1980, p. 164.
6. Popov N.S. *Povyshenie e'nergoeffektivnosti prirodno-promyshlennykh sistem* (Improving the energy efficiency of nature-industrial systems), Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2014, 146 p.
7. Gordin I.V. *Texnologicheskie sistemy vodoobrabotki: dinamicheskaya optimizatsiya* (Process water treatment system: Dynamic Optimization), Leningrad: Ximiya, 1987, 264 p.
8. Odum E.P. *Basic ecology*, Harcourt Brace College Publishers, 1983, 613 p.
9. Dajoz R. *Precis d'ecologie* (Fundamentals of Ecology), Paris, 1972.
10. Ashby W.R. *An introduction to cybernetics*, London: Chapman & Hall, 1957, 312 p.
11. Brezhnev A.I. *Matematicheskoe modelirovanie v biologii* (), Moscow: Nauka, 1975, pp. 92-112.

On the Structure of the Process Control System of Biological Wastewater Treatment

N. S. Popov, O. V. Peshcherova, Tran Minh Chinh

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: control object “aerotank – activated sludge clarifier”; diffuse regulator of biosystem; coordinator of active point; “high-speed” and “low-speed” processes of an object; structure of process control system of biological wastewater treatment.

Abstract: In this paper municipal wastewater treatment plant is analyzed from the perspective of an open thermodynamic system subject to the influence of various random factors. It is proposed to interpret the process of biological treatment as a result of diffuse regulator (DR) operation. Formal description of DR is given. The task of its active point coordination is formulated. In the paper, the importance of relation θ/τ as «coordination rule» of the diffuse regulator is described. The problem of centralized control of biological treatment is formulated. Dual-braking adaptive control system with model and predictor is offered.

© Н.С. Попов, О.В. Пещерова, Чан Минь Чинь, 2015