

## **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ В ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. ЧАСТЬ I**

**Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чуксин**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет»;*

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
университет имени Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия*

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

**Ключевые слова:** большие системы; природо-промышленные системы; прогнозирование; структурные и функциональные изменения; управление; устойчивое развитие; целеустремленные состояния; эволюционные действия; эволюция.

**Аннотация:** Проблемы управления устойчивым развитием инфраструктурных объектов региональной экономики рассматриваются с учетом характерных особенностей их жизненного цикла. Объекты отнесены к категории целеустремленных и самоорганизующихся предприятий. Выход из проблемных (тупиковых) ситуаций решается на основе построения множества целеустремленных состояний промышленной подсистемы (ПП). Принятие решений по долгосрочным структурным изменениям в ПП предложено проводить по результатам прогнозирования последствий в экологической подсистеме.

Чтобы управлять ходом развития,  
необходимо уметь прогнозировать  
его возможные будущие тенденции.

*Д. М. Гвишиани*

### **Введение**

Логика научного вывода академика В. И. Вернадского о грядущем наступлении «ноосферного» этапа в эволюции земной цивилизации сегодня становится все более понятной в связи с попытками мирового сообщества взять под общественный контроль все процессы, порождаемые разруши-

---

Попов Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: eco@nnn.tstu.ru; Пещерова Ольга Викторовна – старший преподаватель кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия; Чуксин Антон Андреевич – врач-ординатор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия.

тельной силой человека в биосфере: глобальные климатические изменения, войны за энергоресурсы и территории, загрязнение морей и океанов, сокращение биоразнообразия, истощение невозобновляемых природных ресурсов, распространение заболеваний, ухудшение среды обитания и многое другое. Ради дальнейшего существования цивилизации создаются системы космического мониторинга за состоянием биосферы, проводится зондирование объектов ближнего и дальнего космоса, реализуются международные проекты по пребыванию человека в критических условиях, разрабатываются уникальные технологии лечения опасных вирусных заболеваний, используются цифровые средства управления экономикой и обществом, внедряются роботизированные комплексы для работы на вредных и тяжелых производствах, в безвоздушном пространстве, во льдах и под водой. Во всех сферах интеллектуальной и хозяйственной деятельности общества наблюдается явный прогресс, вызванный стремительным ростом научных знаний в области математики, физики, химии, инженерии, медицины, биологии, генетики, наук о Земле, экологии, информатики и других дисциплин, без которых эволюция общества сегодня совершенно немыслима.

Весомую роль в вопросах обеспечения мира и стабильности на планете исполняет Организация Объединенных Наций (**ООН**), осуществляющая комплексный анализ и координацию усилий по их разрешению. Под эгидой ООН регулярно проходят эпохальные международные конференции по проблемам экономического развития и охраны окружающей среды. Важнейшим результатом работы ООН стала «Повестка дня на XXI век» – программный план действий по устойчивому развитию экономики, природы и общества, одобренный на Саммите Земли в Рио-де-Жанейро в 1992 г. А в 2015 г. в Нью-Йорке на Саммите ООН по устойчивому развитию главы 193 государств приняли к исполнению 17 глобальных целей устойчивого развития (**ЦУР**) на период до 2030 года, достижение которых требует изменения отношения общества к потреблению природных богатств, трансформации линейной модели экономики в циркуляционную, организации бережливых производств, создания малоотходных технологий, использования альтернативных источников энергии и т.п.

В начале XXI века весь мир осознал водный кризис, качественный и количественный, вызванный ростом народонаселения, индустриализацией, улучшением стандартов жизни, практикой приготовления пищи и плохими стратегиями водопользования. Вода стала дефицитным ресурсом во всех аспектах жизни человека, определяющим его судьбу в будущем. Только 1 % всей воды на планете доступен сегодня для прямого питьевого использования. И вследствие этого в состав ЦУР была включена цель № 6 – «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». Для ее осуществления предстоит решить ряд следующих сложных научных задач водного менеджмента.

1. Комплексное управление водными ресурсами на всех уровнях их детализации.

2. Повышение качества воды за счет снижения примесей.

3. Ликвидация сброса неочищенных жидких отходов.

4. Обеспечение энергоэффективной очистки сточных вод и повторного использования содержащихся в ней питательных веществ.

Менеджмент очистки воды оказывает прямое влияние на биоразнообразие аквасистем, являющихся фундаментальной основой нашей жизни. Успешное и устойчивое управление очисткой предполагает использование комбинации различных инновационных подходов, способных охватить все стадии ее жизненного цикла.

В работе [1] справедливо отмечено, что в условиях глобальных и быстрых перемен сообщества обязаны планировать менеджмент очистки по сценариям будущих, а не только текущих событий. Решения «умного» менеджмента, ориентированные на перспективу, должны быть экономически и экологически выгодны, а также социально и культурно значимы. При этом наука и образование играют ключевую роль в снижении объемов и загрязнений стоков, что способствует устойчивости принимаемых решений.

### Региональные объекты водного менеджмента

Типовыми объектами менеджмента очистки являются системы водоподготовки и водоотведения, оказывающие существенное влияние на социально-экономическое развитие городов. Первые служат для централизованного питьевого водоснабжения населения с нормативными показателями качества воды по СанПиН 2.1.4.1074-01 [2], а вторые – для водоотведения и защиты населения и аквасистем от опасных и патогенных примесей, содержащихся в коммунальных и производственных стоках.

Указанные объекты относятся к категории инфраструктурных, состоящих из кластера взаимосвязанных обслуживающих технологий, создающих и/или обеспечивающих основу для решения проблемы очистки воды. Подобного типа объекты (банковские, медицинские, транспортные, энергетические и др.) являются особого рода «кровеносными артериями» региональной социо-экономической среды, по которым циркулируют материально-энергетические, финансовые, людские и информационные потоки, объединяющие социальные, экологические и экономические сферы общественно-хозяйственной деятельности человека. Общая особенность инфраструктурных объектов заключается в том, что они проектируются на срок эксплуатации свыше 20 лет, что обязывает административные органы рассматривать планы их создания в фокусе проблем управления устойчивым развитием, а принимаемые по ним в данный момент времени решения должны обязательно учитывать ресурсные интересы новых, еще не рожденных поколений граждан. При этом возникает вопрос о том, как это сделать. Попытки найти на него хотя бы частичный ответ содержатся в настоящей работе.

Рассмотрим конкретный пример. Очистные сооружения канализации г. Тамбова вводились в эксплуатацию поочередно, начиная с 1962 г. Производительность, м<sup>3</sup>/сут, первой очереди составляла 17 тыс., второй (1976 г.) – 33 тыс. и третьей (1984 г.) – 80 тыс. Суммарная проектная производительность равна 130 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а фактическая меняется от 85 тыс. до 125 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Структура системы сбора, очистки и отведения сточных вод состоит из набора самотечных и напорных канализационных трубопроводов с размещенными на них канализационными насосными станциями и очистных систем канализации (**ОСК**).

Необходимость в наращивании мощностей сооружений продиктована сложностями экологических ситуаций того времени: ростом расхода сточной воды в связи с подъемом промышленного и демографического потенциалов города, а также необходимостью выполнения обновляемых в стране санитарно-гигиенических нормативов, предъявляемых к очищенной воде [3].

За 58 лет функционирования ОСК они из «загородных» сооружений стали инфраструктурой городского округа с жестко ограниченной площадью центральной станции в 308 тыс. м<sup>2</sup>, на которой расположены производственные здания, лаборатории, электроподстанции, технологические аппараты и т.п. Так что любые пространственные расширения станции уже невозможны без конфликтов интересов не только будущего поколения горожан, но и нынешнего, как в социально-экологическом, так и хозяйственно-экономическом отношениях. И, тем не менее, в настоящем времени вновь возникла необходимость в усовершенствовании структуры ОСК из-за превышения в очищенной воде нормативных значений ХПК, БПК<sub>5</sub>, фосфатов, нитратов, взвешенных веществ и появления в сточной воде новых видов примесей. Причем все технологические изменения в ОСК должны быть реализованы на площади устаревших и неэффективных конструкций.

Вследствие этого администрацией г. Тамбова в 2017 г. принято Постановление «Об утверждении схемы водоотведения г. Тамбова на период 2018 – 2030 годов» [4], к основным задачам которого отнесены:

- переход на более эффективные и технически совершенные технологии очистки стоков и утилизации осадка в целях снижения негативного воздействия на окружающую среду;

- реконструкция и строительство канализационных сетей в целях повышения надежности и снижения аварийности;

- внедрение системы автоматизированного управления и системы измерений в целях повышения качества предоставления услуги водоотведения за счет оперативного выявления и устранения технологических нарушений в работе системы водоотведения, а также обеспечения энергоэффективности функционирования системы;

- строительство сетей и сооружений для водоотведения осваиваемых и преобразуемых территорий, а также в целях обеспечения доступности услуг водоотведения.

Целевыми показателями развития централизованной системы водоотведения на среднесрочный период выбраны:

- показатели надежности и бесперебойности водоотведения;
- качества очистки сточных вод;
- эффективности использования ресурсов при транспортировке сточных вод.

В первом приближении принятые показатели соответствуют целям социально-экономического и экологического развития г. Тамбова и Тамбовской области [5].

Пример с ОСК позволяет констатировать следующее:

1. На длительном интервале времени функционирования объектов региональной экономики вероятны появления качественно новых вызовов

(возмущений) в системе менеджмента, ответная реакция на которые закономерно приводит к структурным изменениям в объекте и системах управления.

2. Усложнение структуры объекта в целях «поглощения» или «компенсации» возмущений и изменение его поведения для достижения целевых показателей является эволюционным процессом, реализуемым на объекте при непосредственном участии менеджмента.

Рисунок 1 иллюстрирует исторический процесс в развитии технологий очистки сточных вод, инициированный запросами общества на безопасную окружающую среду [6].

В числе оригинальных технологических решений последнего времени назовем следующие:

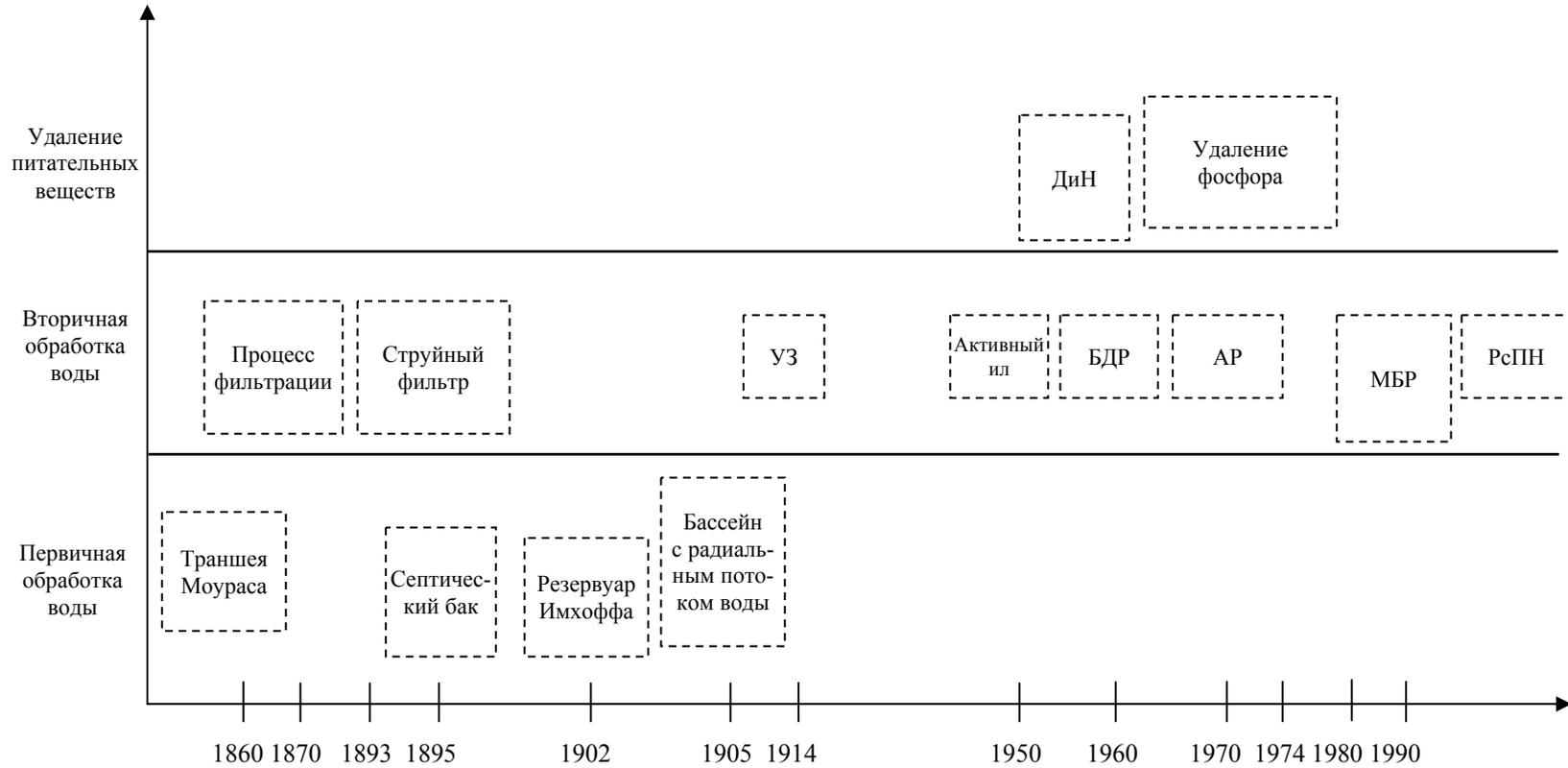
- конструкции биореакторов с анаэробной, аноксической и аэробной зонами очистки, а также с зонами попеременной смены аноксического и аэробного режимов работы;
- раздельную подачу воздуха по зонам аэрации с компенсацией потерь давления с помощью системы управления компрессором;
- биореакторы с периодическим режимом работы и гибкой системой управления;
- увеличение числа рециклов в схеме очистки;
- использование в технологии очистки реагентов для лучшего первичного осветления воды и удаления фосфора;
- использование внешних источников углерода для управления процессом денитрификации.

Эти и другие новшества аппаратурно-технологического характера не только значительно усложняют, но и расширяют возможности менеджмента очистки, позволяя проектировать ОСК с целевыми технико-экономическими и экологическими показателями.

Современные ОСК представляют собой территориально-распределенные многоуровневые биоинженерные сооружения с большим числом элементов и связей между ними, оснащенные эффективными системами автоматизированного контроля и управления [7], способные не только потреблять, но и генерировать энергию [8], а также очищать загрязненные воды практически до питьевого качества. Очистные системы канализации относятся к категории средозащитных систем, поэтому вопрос о гибкости и эффективности их работы в условиях неполной информации о поступающем расходе воды и составе примесей является одним из ключевых. В этой связи следует подчеркнуть, что только система в целом, а не отдельные ее технологии, способна обеспечить целевые показатели развития. И наряду с анализом возможностей новых технологий, оценками их эффективности и стоимости важнейшим этапом создания системы является этап ее синтеза – интеграции отдельных технологий в единое целое.

### **ОСК в аспекте проблем управления большими системами**

На этапе нормального функционирования оптимизация режимов работы ОСК проводится известными методами теории управления в реальном времени с использованием подходящих моделей [7, 9]. Иное дело управлять системами, «встроенными» в проблему устойчивого развития

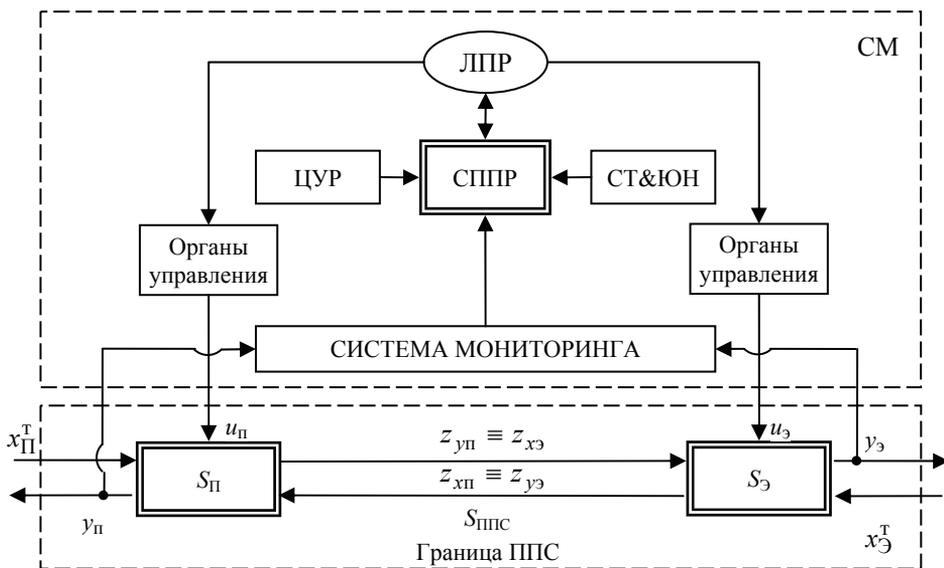


**Рис. 1. Эволюция систем очистки сточной воды [6]:**

УЗ – увлажненные земли; БДР, АР, РСПН – соответственно реакторы биодисковый, анаэробный и с плавающей насадкой; МБР – мембранный биореактор; ДиН – денитрификация и нитрификация

с известными ЦУР. В этом случае законы управления формируются на отрезке времени в несколько десятилетий, охватывающем все этапы жизненного цикла (ЖЦ) ОСК, включая и ее структурные (эволюционные) преобразования<sup>1</sup>. Очевидно, что на каждом очередном этапе ЖЦ системы стратегия менеджмента будет меняться, но всегда должна «ориентироваться и направляться» на ЦУР, даже на этапе ее утилизации. Системы, способные преследовать одну и ту же цель, изменяя свое поведение при изменении внешних обстоятельств, известны как целеустремленные [10], а системы, в которых с течением времени структура и функции претерпевают существенные изменения, называются развивающимися [11]. Из этих определений следует, что в проблеме устойчивого развития объекты региональной экономики должны рассматриваться как целеустремленные и развивающиеся под управлением естественного или искусственного интеллекта.

В данной работе ограничимся рассмотрением наиболее ответственного этапа ЖЦ, на котором происходят структурные изменения в объекте исследования. Для этого абстрагируемся от конкретики примера с ОСК и рассмотрим объекты региональной экономики на платформе природо-промышленных систем (ППС) [12], находящихся под административным управлением (рис. 2).



**Рис. 2. Схема централизованного управления территориально-распределенной ППС:** СМ – система менеджмента; ЛПР – лицо, принимающее решение; СППР – система поддержки принятия решений; СТ&ЮН – социальные требования и юридические нормы;  $S_{ППС}$  – природо-промышленная система;  $S_{П}$  – промышленная подсистема;  $S_{Э}$  – экологическая подсистема

Примечание:  $x_{П}^T = (r_{П}, \xi_{П})$ ;  $x_{Э}^T = (r_{Э}, \xi_{Э})$

<sup>1</sup> Авторы сознательно не используют термины «модернизация» и «реконструкция», относя их смысл к реструктуризации объекта, вызванной текущими обстоятельствами, а не задачами управления по достижению ЦУР на длительном отрезке времени.

Задача системы менеджмента (СМ) ППС состоит в определении такой траектории движения  $S_{ППС}$  в пространстве структур и состояний, реализация которой гарантирует достижение целевых показателей подсистем  $S_{П}$  и  $S_{Э}$  на заданном интервале времени в условиях действия возмущающих факторов. Тогда устойчивое развитие подразумевает исключение системой менеджмента недопустимых отклонений в траектории движения  $S_{ППС}$  к ЦУР. И в этом процессе экономические и экологические показатели СМ устойчивого развития оказываются следствием «социального заказа» по повышению общественного благосостояния, под которым понимается обеспеченность людей жизненными благами или средствами существования, наличие у них прав и свобод, условий безопасного труда, высоких стандартов жизни, доступность санитарии, медицинских услуг и т.п. Реквизиты социального заказа учитываются в постановке задачи управления – при выборе модели, целевой функции, условий и ограничений на переменные состояния ППС.

Вместе с тем переход ППС с неустойчивого режима функционирования на траекторию устойчивого роста имеет ряд проблемных особенностей.

1. Природо-промышленные системы представляют собой большие плохо определенные многоуровневые системы, математическое описание которых либо отсутствует, либо требует значительных затрат труда, времени и средств, в связи с чем аналитическое определение закона управления на основе модели весьма проблематично.

2. Структура процесса развития является многомерной, состоящей из трех групп показателей: экономических, экологических и социальных, противоречащих друг другу, а значит поиск оптимальной траектории развития возможен только в области компромиссов.

3. На длительном интервале времени управления ППС высока вероятность возникновения качественно новых возмущений. В результате чего потребуются не только корректировка схемы управления, но и изменение внутренней структуры ППС.

4. Неопределенность состояния региональной экономики через 20 и более лет (проводя отсчет от момента принятия решений по проектам долгосрочного развития) затрудняет понимание запросов будущих поколений граждан и их учет в реализуемых проектах.

Данные обстоятельства указывают на то, что традиционные методы теории управления не всегда могут обеспечить требуемую результативность управления. Для больших и сложных систем, подобных ОСК, приходится использовать комбинации научных подходов: системного анализа [13], физической теории управления [14], идеи самоорганизации [15], средства искусственного интеллекта (ИИ) и ряд других, расширяющих потенциал проектирования и управления динамическими системами «путем охвата задач с неизвестными или уже с несправедливыми с некоторого момента эксплуатации уравнениями динамики (как в задачах выбора эффективных каналов управления в объектах с реконфигурацией<sup>2</sup>) либо задач, в которых модели в форме уравнений динамики могут уступать

---

<sup>2</sup>Речь идет о восстанавливающем или развивающем управлении.

по эффективности использования моделям ИИ (как в задачах планирования действий в среде<sup>3</sup>) или могут использоваться совместно с моделями ИИ» [16]. В данном случае следует упомянуть о современной тенденции использования различных моделей поведения организмов в живой природе для решения нестандартных задач управления в технических и социальных системах, признавая тот факт, что антропогенный мир строится по тем же «лекалам», что и биологический – на законах сохранения вещества и энергии; законах экологии; экстремальных принципах поведения живого вещества в биосфере; законах кинетического взаимодействия биологических видов и химических веществ, фрактальности и самоподобия, хаосе и самоорганизации.

### **Эволюционные изменения в природо-промышленных системах**

В соответствии с законом баланса консервативности и изменчивости структура ППС строится из двух типов подсистем (см. рис. 2): природных (консервативных), сохраняющих и закрепляющих строение и функциональные особенности системы в целом, и промышленных (эволюционных), способных к видоизменению и даже к саморазрушению ППС с образованием новой функционально-морфологической реальности, соответствующей обновляющейся среде существования системы. И хотя природные подсистемы не являются в полной мере консервативными (из-за участия в сукцессионных процессах), однако, по сравнению с динамикой процессов в промышленных подсистемах, их по праву относят к структурно устойчивым, мало чувствительным в своей основе к внешним воздействиям естественного характера. И если для промышленных подсистем развитие означает улучшение социально-экономических показателей, таких как благосостояние, доход или производительность, то для природных оно ассоциируется с сохранностью и ростом их базовых сущностей – биоразнообразия, качества среды обитания живых организмов, ресурсов и т.д.

За долгую историю борьбы организмов за существование в экосистемах сформировались механизмы приспособления к меняющимся условиям окружающей среды. В их числе такие как адаптация и эволюция, нашедшие применение и в современной теории управления [17]. Адаптация рассматривается как процесс накопления и использования информации в системе, направленный на достижение оптимального, в некотором смысле, состояния или поведения системы при начальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях [18]. Она связана с восстановлением утраченной по каким-либо причинам эффективности работы системы на коротком отрезке времени. Тогда как эволюция в экосистеме предполагает долгосрочные структурно-функциональные изменения, формируемые под действием внешних сил (климатических, геофизических) и внутренних процессов, обусловленных активностью живых организмов. При этом производимые изменения направлены на достижение имманентной цели системы посредством увеличения ее контактов с окружающей средой (то есть роста сложности взаимодействий), улучшения понимания воздействий окружения и управляемости. Такая точка зрения высказана в работе [19]:

---

<sup>3</sup>Когда план – суть композиции действий, «перестраивающих мир».

«...если организм может увеличить одновременно контакт, управляемость, понимание и сложность, то это следует рассматривать как прогресс в эволюции». Можно сказать, что эволюция является внутренним свойством системы, а ее адаптируемость определяется классом допустимых внешних воздействий. И в этом смысле адаптация – приспособление системы к внешним условиям в процессе эволюции.

Известны два основных класса механизмов эволюции экосистем [20]. Первый из них относится к варианту адаптивного развития, характеризующегося дарвиновской триадой: изменчивостью, наследственностью и отбором. Его действие направлено на поэтапное и отчасти предсказуемое изменение предыстории поведения системы, что делает возможным управление процессом эволюции. Второй класс механизмов – бифуркационный, определяемый той же триадой, но он приводит к непредсказуемым заранее качественным (скачкообразным) изменениям состояния системы в результате действия внешних факторов.

В промышленных системах скачок в развитии техники обычно связан с преодолением некоего «барьера», препятствующего использованию новых физических явлений, материалов, технологий и конструкций. Он сопровождается резкими изменениями в производственном процессе и отражается на стоимости продукции, надежности, удобстве обслуживания и других показателях эффективности. В теории управления системы, свойства которых изменяются скачкообразно в случайные моменты времени, рассматриваются как системы со случайными изменениями структуры, имеющей конечное число состояний [21].

В целеустремленных ППС эволюция осуществляется в результате выбора ЛПР таких действий из ряда альтернативных, которые в сложившихся условиях окружения позволяют системе с наибольшей эффективностью достигать намеченных целей. В этой связи дадим следующее *определение*: эволюционным действием (ЭД) назовем любое структурно-функциональное изменение в системе, направленное на снижение ее энтропии и обеспечение стабильности процесса развития в условиях активной внешней среды, при котором сохраняется целевое назначение системы.

В качестве примера на рис. 3 отображен «бифуркационный» тип эволюции ОСК. Мерой сложности каждой ее очереди служит мощность установленного электрооборудования, поскольку электроэнергия является основной двигательной силой насосных станций, воздуходувок, илососов,



Рис. 3. Рост эволюционной сложности ОСК

скребков и т.д. Такой выбор оправдан в свете гипотезы А. Лотки о том, что эволюция экосистем следует в направлении увеличения суммарного потока энергий через систему [22]. Увеличение мощности ОСК в данном случае является результатом внедрения проектных решений по достижению целевых показателей.

Для анализа механизма эволюции ППС воспользуемся формальными приемами системотехники и запишем модель ППС в следующем каноническом виде:

$$\begin{aligned} y_{\Pi} &= F_1(r_{\Pi}, u_{\Pi}, \xi_{\Pi}, z_{y_3}^A, z_{y_3}^B); & z_{y_{\Pi}} &= F_2(r_{\Pi}, u_{\Pi}, \xi_{\Pi}, z_{y_3}^A, z_{y_3}^B); \\ y_3^A &= \Phi_1(r_3, u_3, \xi_3, z_{y_{\Pi}}, y_3^B); & y_3^B &= \Phi_2(r_3, u_3, \xi_3, z_{y_{\Pi}}, y_3^A); \\ z_{y_3}^A &= \Phi_3(r_3, u_3, \xi_3, z_{y_{\Pi}}, z_{y_3}^B); & z_{y_3}^B &= \Phi_4(r_3, u_3, \xi_3, z_{y_{\Pi}}, z_{y_3}^A), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $r_{\Pi}, u_{\Pi}, \xi_{\Pi}$  и  $r_3, u_3, \xi_3$  – соответственно векторы наблюдаемых, управляемых и возмущаемых переменных;  $z_{y_{\Pi}} \equiv z_{x_3}$  и  $z_{x_{\Pi}} \equiv z_{y_3}$  – векторы переменных, связывающих прямой и обратной связью подсистемы  $S_{\Pi}$  и  $S_3$ ;  $A$  и  $B$  – индексы, обозначающие абиотические и биотические компоненты соответственно;  $y_{\Pi}, y_3$  – векторы выходных переменных  $S_{\Pi}$ ;  $F_1, F_2$  – функциональные операторы модели для подсистемы  $S_{\Pi}$ , а  $\Phi_1 \dots \Phi_4$  – операторы модели для подсистемы  $S_3$ .

Если под структурой системы понимать «устойчивую упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей» [11], тогда структурные свойства ППС в модели выражаются операторами  $F_1, F_2$  и  $\Phi_1 \dots \Phi_4$ , а функциональные свойства – многообразием реакций системы с заданной структурой на изменения входных сигналов, начальных и граничных условий, а также перенастраиваемых внутренних параметров. При этом структурные изменения ППС происходят в пространстве состояний ее структур, а функциональные – в обычном пространстве состояний динамической системы с неизменной структурой.

В работе [23] дано описание алгоритма решения региональных задач устойчивого развития на платформе ППС, основу которого составляют методы системного подхода. Один из его информационных блоков содержит краткую характеристику задач управления, предназначенных для типовых объектов с конкретными особенностями. При этом постановки задач с возможными структурными изменениями в ППС выделены в особый класс, названный классом задач на множестве возможных состояний функционирования, таких как динамическое равновесие, переходный процесс, адаптация к изменениям внешнего окружения, опасные ситуации и др. Для целеустремленных систем подобные состояния могут стать результатом свободного выбора менеджером задач и средств их выполнения.

Принятие решений о необходимости внесения структурных изменений в состав ППС базируется на анализе накопленной в СМ информации о прошлых и текущих состояниях объекта управления. На рисунке 4 приведена примерная логическая схема принятия решений, в которую помимо оперативных задач диспетчерского управления, характерных для большой энергосистемы [24], включены и задачи управления развитием на средне-

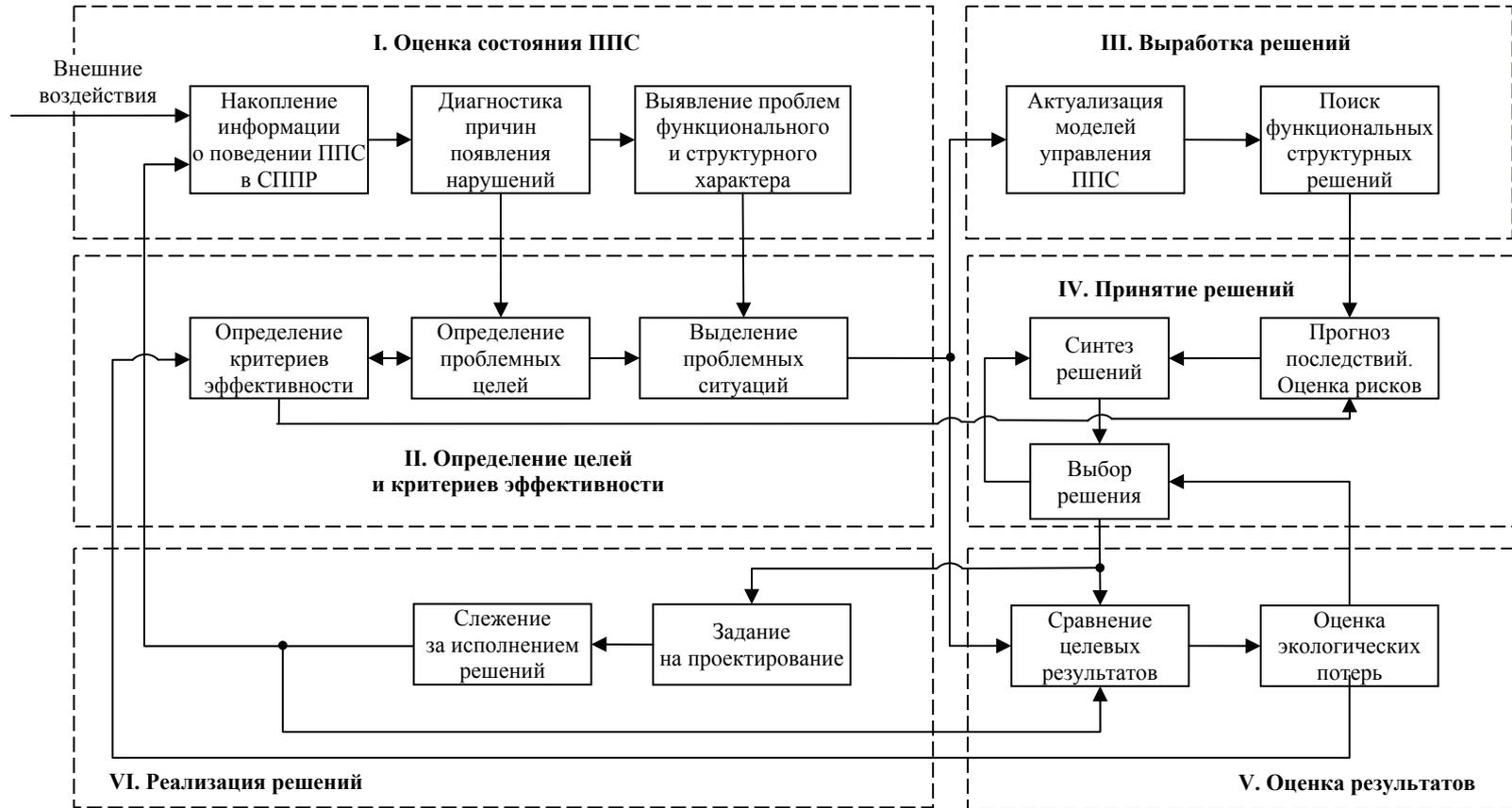


Рис. 4. Схема принятия управляющих решений в ППС

и долгосрочных отрезках времени. В этой схеме на основании диагностики причин рассогласования текущих показателей работы ППС и их программно-целевых значений (блок I), СППР идентифицирует классы проблемных ситуаций (блок II), актуализирует модели управления ППС для поиска на их основе «функциональных» или «структурных» решений (блок III), а ЛППР выбирает из множества доступных решений наилучшее, в смысле достижения оперативных, среднесрочных или долгосрочных целей управления (блок IV), после чего проводит оценку экологических последствий выбранного решения (блок V) и в случае допустимости потерь реализует его в ППС (блок VI).

Схема на рис. 4 во многом идеализирована. В конкретной ситуации процесс принятия решений может оказаться развернутым во времени, итерационным, использующим результаты имитационного моделирования ППС, а в некоторых случаях требующим дополнительной информации, получаемой в лабораторных и/или полевых условиях. Тем не менее, вследствие действия в схеме отрицательных обратных связей, существует принципиальная возможность компенсации отклонений реальных показателей развития ППС от целевых.

#### *Список литературы*

1. Sick water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. – Текст : электронный // GRID-Arendal. – URL : <https://www.grida.no/publications/218> (дата обращения: 20.04.2020).
2. О введении в действие санитарных правил : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26 сентября 2001 г. № 24 (с изменениями и дополнениями). – Текст : электронный // Гарант : офиц. сайт. – URL : <http://base.garant.ru/4177988/> (дата обращения: 20.04.2020).
3. Требования экологического и водного законодательства в деятельности предприятий ВКХ в современных условиях. Мифы и реальность. – Текст : электронный. – URL : <https://forum.integral.ru/download/file.php?id=5585> (дата обращения: 20.04.2020).
4. Об утверждении схемы водоотведения города Тамбова на период 2018 – 2030 гг. : постановление администрации города Тамбова от 01.12.2017 г. № 7445. – Текст : электронный // Администрация города Тамбова. – URL : [https://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user\\_upload/org/kg/7445\\_-\\_17.pdf](https://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user_upload/org/kg/7445_-_17.pdf) (дата обращения: 20.04.2020).
5. О Стратегии социально-экономического развития Тамбовской области до 2035 года : Закон Тамбовской области от 30 мая 2018 года. – Текст : электронный // Администрация Тамбовской области. – URL : <https://www.tambov.gov.ru/assets/files/strategy/bc9bb531-f06a-4e4e-92ac-f39f924f8bfb.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
6. Lofrano, G. Wastewater Management through the Ages: A History of Mankind / G. Lofrano, J. Brown // Science of the Total Environment. – 2010. – Vol. 408 (22). – P. 5254 – 5264.
7. Instrumentation, Control and Automation in Wastewater – From London 1973 to Narbonne 2013 / G. Olsson, B. Carlsson, J. Comas [et al.] // Proceedings of the 11th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA2013), 18 – 20 September, 2013, Narbonne, France. – Narbonne, France, 2014. – P. 1373 – 1385.
8. Nowak, O. Examples of Energy Self-Sufficient Municipal Nutrient Removal Plants / O. Nowak, S. Keil, C. Fimml // Water Science & Technology. – 2011. – Vol. 64 (1). – P. 1 – 6.

9. Габасов, Р. Современное состояние теории оптимальных процессов / Р. Габасов, Ф. М. Кириллова // Автоматика и телемеханика. – 1972. – № 9. – С. 31 – 62.
10. Акофф, Р. О целеустремленных системах / Р. Акофф, Ф. Эмери ; пер. с англ. ; под ред. И. А. Ушакова. – М. : Сов. Радио, 1974. – 272 с.
11. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – Л. : Машиностроение : Ленинградское отделение, 1985. – 199 с.
12. Повышение энергоэффективности природно-промышленных систем : учеб. пособие / Н. С. Попов, В. Бьянко, И. О. Лысенко [и др.] ; под общ. ред. Н. С. Попова. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2014. – 146 с.
13. Летов, А. М. Состояние и перспективы развития теории управления / А. М. Летов // Автоматика и телемеханика. – 1972. – № 9. – С. 12 – 23.
14. Красовский, А. А. Проблемы физической теории управления / А. А. Красовский // Автоматика и телемеханика. – 1990. – № 11. – С. 3 – 28.
15. Колесников, А. А. Синергетические методы управления сложными системами. Теория системного анализа / А. А. Колесников. – М. : Книжный дом «Либроком», 2019. – 240 с.
16. Васильев, С. Н. Теория и применение логико-управляемых систем / С. Н. Васильев // Тр. 2-ой Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'03), 2003 г., Москва. – М., 2003. – С. 23 – 52.
17. Чаки, Ф. Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Ф. Чаки ; пер. с англ. В. В. Капитоненко, С. А. Анисимова ; под ред. Н. С. Райбмана. – М. : Мир, 1975. – 422 с.
18. Энциклопедия кибернетики. Т. 1 : Абс – Мир / Под ред В. М. Глушкова. – Киев : Украинская Сов. энциклопедия, 1975. – 607 с.
19. Касти, Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти ; пер. с англ. ; под ред. Ю. П. Гупало, А. А. Пионтковского. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
20. Моисеев, Н. Н. Человек и биосфера: Опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н. Н. Моисеев, В. В. Александров, А. М. Тарко. – М. : Наука, 1985. – 271 с.
21. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
22. Lotka, A. J. Elements of Mathematical Biology / A. J. Lotka. – New York : Dover, 1956. – 465 p.
23. Попов, Н. С. Разработка системного подхода к решению региональных задач устойчивого развития / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, Л. Н. Чуксина // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 400 – 423. doi: 10.17277/vestnik.2018.03.pp.400-423
24. Башлыков, А. А. Проектирование систем принятия решений в энергетике / А. А. Башлыков. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.

### References

1. <https://www.grida.no/publications/218> (accessed 20 April 2020).
2. <http://base.garant.ru/4177988/> (accessed 20 April 2020).
3. <https://forum.integral.ru/download/file.php?id=5585> (accessed 20 April 2020).
4. [https://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user\\_upload/org/kg/7445\\_-17.pdf](https://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user_upload/org/kg/7445_-17.pdf) (accessed 20 April 2020).
5. <https://www.tambov.gov.ru/assets/files/strategy/bc9bb531-f06a-4e4e-92ac-f39f924f8bfb.pdf> (accessed 20 April 2020).
6. Lofrano G., Brown J. *Wastewater Management through the Ages: A History of Mankind*, Science of the Total Environment, 2010, vol. 408 (22), pp. 5254-5264.

7. Olsson G., Carlsson B., Comas J., Copp J., Gernaey K.V., Ingildsen P., Jeppsson U., Kim C., Rieger L., Rodríguez-Roda I. *Proceedings of the 11th IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation (ICA2013)*, 18 - 20 September, 2013, Narbonne, France, 2014, pp. 1373-1385.
8. Nowak O., Keil S., Fimml C. Examples of Energy Self-Sufficient Municipal Nutrient Removal Plants, *Water Science & Technology*, 2011, vol. 64 (1), pp. 1-6.
9. Gabasov R., Kirillova F.M. [The current state of the theory of optimal processes], *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 1972, no. 9, pp. 31-62. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Akoff R., Emeri F., Ushakov I.A. [Ed.] *O tselestremlynykh sistemakh* [About purposeful systems], Moscow: Sovetskoye Radio, 1974, 272 p. (In Russ.)
11. Nikolayev V.I., Bruk V.M. *Sistemotekhnika: metody i prilozheniya* [System engineering: methods and applications], Leningrad: Mashinostroyeniye: Leningradskoye otdeleniye, 1985, 199 p. (In Russ.)
12. Popov N.S. [Ed.], B'yanko V., Lysenko I.O., Novakovski P., T'in' Ch.M, Chuksina L.N., Yakunina I.V. *Povysheniye energoeffektivnosti prirodno-promyshlennykh sistem: uchebnoye posobiye* [Improving the energy efficiency of natural-industrial systems: a training manual], Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2014, 146 p. (In Russ.)
13. Letov A.M. [State and prospects of development of control theory], *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 1972, no. 9, pp. 12-23. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Krasovskiy A.A. [Problems of the physical theory of control], *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 1990, no. 11, pp. 3-28. (In Russ., abstract in Eng.)
15. Kolesnikov A.A. *Sinergeticheskiye metody upravleniya slozhnyimi sistemami. Teoriya sistemnogo analiza* [Synergetic management methods for complex systems. Theory of system analysis], Moscow: Knizhnyy dom «Librokom», 2019, 240 p. (In Russ.)
16. Vasil'yev S.N. *Trudy 2-oy Mezhdunarodnoy konferentsii «Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya» (SICPRO'03)* [Proceedings of the 2nd International Conference "System Identification and Control Problems" (SICPRO'03)], 2003, Moscow, 2003, pp. 23-52. (In Russ.)
17. Chaki F., Raybman N.S. [Ed.] *Sovremennaya teoriya upravleniya. Nelineynyye, optimal'nyye i adaptivnyye sistemy* [Modern Management Theory. Nonlinear, optimal and adaptive systems], Moscow: Mir, 1975, 422 p. (In Russ.)
18. Glushkova V.M. [Ed.] *Entsiklopediya kibernetiki. T. 1: Abs – Mir* [The Encyclopedia of Cybernetics. T. 1: Abs - World], Kiev: Ukrainskaya Sovetskaya entsiklopediya, 1975, 607 p. (In Russ.)
19. Kasti Dzh., Gupalo Yu.P., Piontkovskiy A.A. [Eds.] *Bol'shiye sistemy. Svyaznost', slozhnost' i katastrofy* [Large Systems. Connectivity, Complexity and Disasters], Moscow: Mir, 1982, 216 p. (In Russ.)
20. Moiseyev N.N., Aleksandrov V.V., Tarko A.M. *Chelovek i biosfera: Opyt sistemnogo analiza i eksperimenty s modelyami* [Man and the biosphere: Experience in system analysis and experiments with models], Moscow: Nauka, 1985, 271 p. (In Russ.)
21. Krasovskiy A.A. [Ed.] *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Reference on the theory of automatic control], Moscow: Nauka, 1987, 712 p. (In Russ.)
22. Lotka A.J. *Elements of Mathematical Biology*, New York: Dover, 1956, 465 p.
23. Popov N.S., Peshcherova O.V., Chuksina L.N. [Development of a systematic approach to solving regional tasks of sustainable development], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 3, pp. 400-423, doi: 10.17277/vestnik.2018.03.pp.400-423 (In Russ., abstract in Eng.)

24. Bashlykov A.A. *Proyektirovaniye sistem prinyatiya resheniy v energetike* [Design of decision-making systems in the energy sector], Moscow: Energoatomizdat, 1986, 120 p. (In Russ.)

---

**Some Features in the Formulation and Solution of the Regional Tasks of Sustainable Development. Part I**

**N. S. Popov, O. V. Peshcherova, A. A. Chuksin**

*Tambov State Technical University;*

*G. R. Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia*

**Keywords:** large systems; natural industrial systems; forecasting; structural and functional changes; control; sustainable development; purposeful states; evolutionary actions; evolution.

**Abstract:** Problems of managing the sustainable development of infrastructure facilities of the regional economy are considered taking into account the characteristic features of their life cycle. Objects are classified as motivated and self-organizing enterprises. The way out of problematic (deadlock) situations is solved on the basis of constructing a set of purposeful states of the industrial subsystem (IS). It is proposed to make decisions on long-term structural changes in the IS based on the results of forecasting the consequences in the environmental subsystem.

---

© Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чукин, 2020