

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

**Н. С. Попов, О. В. Милованова,  
А. А. Баламутова, Л. Н. Чуксина**

*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:** индикаторы состояния развития; принцип дальновидности; проблемная ситуация; стратегия; управление; устойчивое развитие; целеустремленные и развивающиеся системы; эволюционные действия.

**Аннотация:** На современном этапе развития общества управление крупными инфраструктурными объектами региональной экономики является важной народнохозяйственной задачей. Сложность ее решения в первую очередь связана с необходимостью учета в долгосрочной перспективе запросов еще не рожденных поколений людей и качественных изменений в объекте управления, возникающих в процессе его эксплуатации.

В работе объекты управления рассматриваются на универсальной научной платформе природо-промышленных систем, а сам процесс управления представлен как многошаговый. Введено и формализовано понятие «проблемная ситуация», препятствующая продвижению системы к целям устойчивого развития, предложен способ сокращения числа индикаторов оценки состояния системы. Стратегия управления использует «принцип дальновидности» и схему принятия компромиссных решений из-за наличия противоречий в индикаторах развития.

---

Попов Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; Милованова Ольга Викторовна – старший преподаватель кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: eso@mail.tstu.ru; Баламутова Анна Андреевна – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ; Чуксина Людмила Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры зарубежной филологии и прикладной лингвистики, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия.

## Введение

В июне 2022 г. исполнится 50 лет со времени открытия в Стокгольме первой Конференции ООН по проблеме окружающей человека природной среды, на которой было заявлено о необходимости включения в программу действий правительств государств системы мер для решения экологических проблем и охраны окружающей среды. Итоговым документом конференции стала Декларация об окружающей среде, в которой подчеркнуто, что улучшение ее состояния является необходимым условием для жизни человечества, ответственность за выполнение которого возлагается не только на правительственные и международные организации, но и на каждого человека в отдельности. Для осуществления решения Стокгольмской конференции в 1972 г. создана межправительственная организация системы ООН, а именно – Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), осуществляющая направляющую и координирующую функции в сфере охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Итоги форума в Стокгольме получили свое дальнейшее продолжение на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992 г.), Всемирной встрече на высшем уровне в Йоханнесбурге (2002 г.), Климатическом Саммите в Копенгагене (2009 г.), Конференции ООН «Рио +20» и Международной конференции «Стокгольм +40» (2012 г.). Очередная Конференция ООН по климату состоялась в Париже в 2015 г. и в том же году в Нью-Йорке на Саммите ООН по устойчивому развитию главами 193 государств были одобрены на период до 2030 г. 17 целей устойчивого развития (ЦУР).

За прошедшие столетия проблема устойчивого развития земной цивилизации стала знаменем времени планетарного масштаба. При этом обозначился постепенный переход с глобального политического уровня ее восприятия на прагматический, для которого катализатором движения экономических систем к ЦУР выступают междисциплинарные научные школы, использующие различные методы исследования данной проблемы в целях установления доказательств возможности ее решения и определения путей перевода существующей линейной экономической модели на циркуляционную, обладающую траекторией устойчивого развития, способной обеспечить рост общественного благосостояния и сохранность природной среды [1].

На региональном уровне объектами исследований в проблеме устойчивого развития являются инфраструктурные системы (ИС), образующие уникальное социокультурное и эколого-экономическое пространство жизнедеятельности людей. К ним, в частности, относятся транспортные, энергетические, информационные, жилищно-коммунальные, медицинские и рекреационные системы, от слаженной и эффективной работы которых зависит цивилизационный прогресс субъектов РФ.

В работе [2] отмечена крайне важная особенность проектирования ИС, связанная с планированием их работы на десятилетия и объективной необходимостью учета в проектах интересов будущих поколений людей. В силу этого ИС необходимо рассматривать в фокусе императива ЦУР. Между тем за период длительной эксплуатации любой ИС в ее окружении постоянно возникают качественно новые вызовы (возмущения) со сторо-

ны природы и общества, порождающие «проблемные ситуации», выход из которых возможен только в результате структурно-функциональных преобразований системы, осуществляемых по инициативе менеджмента [3]. Такие преобразования обычно рассматриваются как эволюционные, ориентированные на достижение ЦУР и позволяющие отнести ИС к категории целеустремленных и развивающихся систем.

Нормативно-правовой базой для разработки долгосрочных проектов служит ФЗ от 28 июня 2014 г. №172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», который определяет систему долгосрочных приоритетов, целей и задач государственного управления, направленных на обеспечение устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации.

Движение ИС к ЦУР представляет собой процесс поочередной смены состояний – из проблемной ситуации в целенаправленное состояние нормального функционирования, в котором ИС может находиться длительное время, вплоть до появления новой проблемной ситуации. В таком процессе принудительным образом формируется траектория эволюции системы. Основным вопросом управления данным процессом состоит в том, каким требованиям должна удовлетворять оптимальная стратегия движения системы к ЦУР. Попытка ответа на этот и другие вопросы содержится в настоящей работе.

### Формализованное описание проблемных ситуаций в инфраструктурных системах

Для большей общности выводов по обсуждаемому вопросу любую ИС целесообразно рассматривать на абстрактной научной платформе природо-промышленных систем (ППС)  $S_{ППС}$  (рис. 1), представленных в виде отношения на декартовом произведении [4]

$$S_{ППС} \subset (X_{П} \times X_{Э}) \times (Y_{П} \times Y_{Э}), \quad (1)$$

определяемого по формуле

$$S_{ППС} = \Omega(S_{П} \circ S_{Э}), \quad (2)$$

где  $X_{П}$ ,  $X_{Э}$  и  $Y_{П}$ ,  $Y_{Э}$  – соответственно множества всех входных и выходных переменных в промышленной  $S_{П}$  и экологической  $S_{Э}$  подсистемах;  $Z_{ПЭ} \equiv Z_{ХЭ}$  и  $Z_{ЭП} \equiv Z_{ХП}$  – связующие переменные;  $\circ$  – знак операции последовательного соединения подсистем;  $\Omega$  – знак операции замыкания обратной связи;  $\times$  – знак декартова произведения.

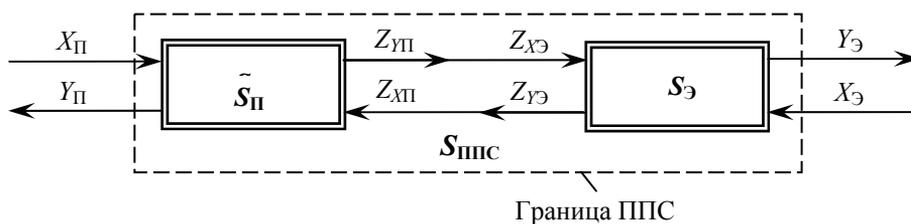


Рис. 1. Структурная схема системы

В процессе функционирования  $S_{\text{ППС}}$  может пребывать в одном из двух несовместных состояний: работоспособном (определяемом перечнем заданных параметров и допустимыми пределами их изменений) и неработоспособном, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и иной документации. Одно из возможных состояний работоспособности  $S_{\text{ППС}}$  именуется состоянием «нормального функционирования», в котором элементы, подсистемы и система в целом выполняют требуемую функцию.

Понятие пространства состояний является базовым в общей теории систем [5]. В теории управления под состоянием обычно понимают совокупность существенных внутренних свойств системы, знание которых в настоящий момент времени  $t_0$  позволяет определить ее поведение в будущем, то есть при  $t > t_0$ . Если  $T$  – интервал функционирования  $S_{\text{ППС}}$ , а  $x_{\text{П}}^T, x_{\text{Э}}^T, y_{\text{П}}^T$  и  $y_{\text{Э}}^T$  – соответственно значения входных и выходных переменных подсистем  $S_{\text{П}}$  и  $S_{\text{Э}}$ , реализуемых за рассматриваемый отрезок времени, тогда для известных в момент времени  $t_k \in T$  состояний  $h_{\text{П}}(t_k)$  подсистемы  $S_{\text{П}}$  и  $h_{\text{Э}}(t_k)$  подсистемы  $S_{\text{Э}}$  справедливо уравнение

$$A(T, h_{\text{П}}(t_k), h_{\text{Э}}(t_k), x_{\text{П}}^T, x_{\text{Э}}^T, y_{\text{П}}^T, y_{\text{Э}}^T) = 0, \quad (3)$$

где  $A$  – статическая модель  $S_{\text{ППС}}$  типа «вход-выход-состояние». А поскольку  $h_{\text{П}}$  и  $h_{\text{Э}}$  представляют собой наборы чисел, полное пространство состояний всей системы  $H_s$  представим в виде суммы субпространств состояний подсистем  $S_{\text{П}}$  и  $S_{\text{Э}}$ :  $H_s = H_{s\text{П}} \cup H_{s\text{Э}}$ . При этом важно отметить, что в  $H_s$  помимо состояния нормального функционирования существуют особые состояния, именуемые проблемными ситуациями [3].

*Определение.* Проблемной ситуацией назовем наличие такого предельного состояния системы, в котором она способна частично или полностью утратить свои *ресурсные* возможности в результате изменения внешнего окружения или внутренней деградации и перейти из работоспособного состояния в неработоспособное.

Примером проблемных ситуаций на городских очистных сооружениях являются ситуации со сверхнормативным притоком сточных вод, появлением в аэротенке токсичных веществ, износом сооружений, а в энергосистемах – с появлением пиковых нагрузок, износом оборудования, смелой тарифов на энергию и т.п.

Любое состояние системы  $h_s$  будем рассматривать как фиксированную точку в векторном пространстве  $H_s$ , в котором выделим некоторую замкнутую область  $H_{s0}$ , ограничивающую возможные изменения  $h_s$  в процессе функционирования  $S_{\text{ППС}}$ . В таком случае  $h_s$ , представляющее текущее состояние системы, оказывается внутри области  $H_{s0}$ , означающей область допустимых режимов функционирования  $S_{\text{ППС}}$ , граница которой описывается уравнением

$$F(H_{s0}) = 0. \quad (4)$$

Состояние системы в любой момент времени  $t \in T$  обозначим через  $h_s(t) \in H_s$ , а входные и выходные переменные подсистем  $S_{\Pi}$  и  $S_{\Xi}$  соответственно через  $x_{\Pi}(t) \in X_{\Pi}$ ,  $x_{\Xi}(t) \in X_{\Xi}$ ,  $y_{\Pi}(t) \in Y_{\Pi}$  и  $y_{\Xi}(t) \in Y_{\Xi}$ . Движение системы под действием внутренних и внешних возмущений есть ничто иное, как перемещение или переход ее из состояния  $h_s(t_i)$  в  $h_s(t_{i+1})$ ,  $i=1, 2, \dots$ . При этом возможны два типа движений: непрерывное (при плавной деградации системы) и скачкообразное (бифуркационное, так или иначе связанное с изменениями во внешнем окружении системы). При непрерывном движении изменение состояния системы обозначим оператором  $F_H$ , а при скачкообразном –  $F_C$ .

Если исходное состояние системы при  $t=t_0$  соответствовало  $h_s(t_0) \in H_{s0}$ , а входные воздействия постоянны, тогда изменение состояний  $S_{\Pi\text{ПС}}$  происходит только в результате внутренних воздействий в соответствии с уравнением

$$h_s(t) = F_H(t, t_0, h_s(t_0)), \quad t > t_0. \quad (5)$$

Будем считать, что причины, вызвавшие изменения состояния  $S_{\Pi\text{ПС}}$ , не меняются до  $t=t^*$  – момента выхода  $h_s \in H_s$  за границу области  $H_{s0}$ . Этот момент  $t^*$  можно определить из решения уравнений (4) и (5). Очевидно, что по мере приближения состояния системы  $h_s(t)$  к границе  $H_{s0}$  начинает развиваться проблемная ситуация  $h_s(t^*)$

$$\lim_{t \rightarrow t^*} h_s(t) = h_s(t^*). \quad (6)$$

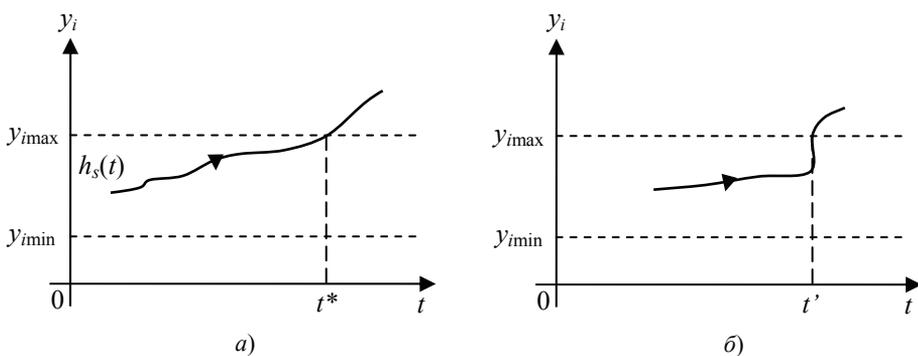
Если в момент  $t'$  система находилась в состоянии  $h_s(t')$ , а на ее входах возникли возмущения качественно нового вида, то есть  $x_{\Pi}(t') > x_{\Pi}^m \subset X_{\Pi}$  или  $x_{\Xi}(t') > x_{\Xi}^m \subset X_{\Xi}$ , тогда состояние системы в момент времени  $t'+0$  определяется выражением

$$h(t'+0) = F_C(t', h(t')), \quad (7)$$

где момент перехода системы в  $h(t'+0)$  определяется в результате совместного решения уравнений (4) и (7);  $x_{\Pi}^m$ ,  $x_{\Xi}^m$  – максимально допустимые значения входных нагрузок в  $S_{\Pi}$  и  $S_{\Xi}$  соответственно.

Переход из  $h_s(t^*)$  и  $h_s(t')$  в очередное состояние нормального функционирования, ориентированное на ЦУР, возможен только при использовании так называемых эволюционных действий (ЭД) функционального или структурного характера [3].

На рисунке 2 представлены диаграммы непрерывного и скачкообразного выхода системы на границу состояния системы  $H_{s0}$  в моменты времени  $t^*$  и  $t'$ . Здесь  $y_{i\text{min}}$ ,  $y_{i\text{max}}$  – условные границы  $H_{s0}$  по  $i$ -й переменной состояния системы  $h_s(t)$ .



**Рис. 2. Демонстрация проблемных ситуаций в  $S_{ППС}$ :**  
 а – при плавной деградации системы; б – в бифуркационном процессе

При пересечении границы области  $H_{s,0}$  в  $S_{ППС}$  формируются выходные сигналы  $y_{\Pi}(t^*)$ ,  $y_{\Pi}(t')$  в  $S_{\Pi}$  или  $y_{\Xi}(t^*)$ ,  $y_{\Xi}(t')$  в  $S_{\Xi}$ , фиксирующие данные события. Их определение возможно с помощью уравнений вида:

$$y_{\Pi}(t^*) = M(t^*, h_s(t^*)) \quad (8)$$

или

$$y_{\Xi}(t') = N(t', h_s(t'), x_{\Pi}(t'), x_{\Xi}(t')). \quad (9)$$

Подобные выражения справедливы для  $y_{\Xi}(t^*)$  и  $y_{\Pi}(t')$ .

Итак, возникновение проблемных ситуаций в процессах длительного функционирования  $S_{ППС}$  связано с ограниченной пропускной (несущей) способностью промышленной и/или экологической подсистем. Диагностика таких состояний проводится по результатам анализа неустранимых рассогласований между текущими значениями переменных состояний системы и допустимыми их значениями по регламенту. Выход из проблемных ситуаций возможен исключительно в результате эволюционного развития систем, а именно в процессе движения  $S_{ППС}$  к ЦУР.

### **Индексы и индикаторы состояния устойчивого развития региональных природо-промышленных систем**

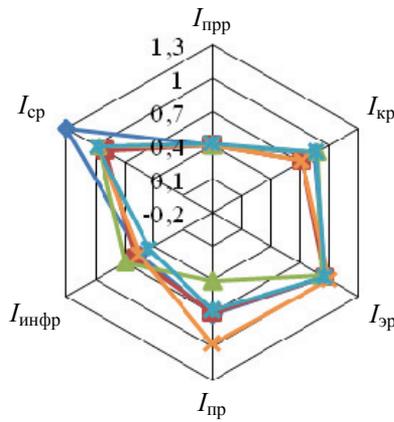
Директивы из 17 ЦУР и 169 задач для их достижения, утвержденные ООН на период до 2030 г., предназначены для комплексного анализа состояния региональных ППС и разработки стратегии перевода их на траекторию устойчивого развития. Согласно руководству по использованию ЦУР в бизнесе [6], компаниям необходимо действовать последовательно и методично, с глубоким пониманием грядущих преобразований, как в производственных сферах, так и в системах административного управления. При этом необходимо регулярно оценивать значимость выбранных целей (приоритетов) и анализировать текущие состояния систем с помощью числовых индексов и индикаторов [7].

Необходимо отметить, что формулировки всех 17 ЦУР носят достаточно размытый характер, поскольку предназначены для различных по свойствам и назначению систем. В конкретных случаях ЦУР необходимо адаптировать с учетом национальных, региональных и местных планов развития территорий, а также имеющихся бюджетных ограничений. Для управления процессом движения  $S_{ППС}$  к ЦУР в настоящее время рекомендовано использовать до 230 индикаторов, охватывающих три категории системных свойств: экономических, экологических и социальных [8]. Из этого следует, что вместо вербальных ЦУР на практике требуются их цифровые описания, представленные в виде набора целевых индикаторов (ЦИ), число и состав которых в конкретных ситуациях определяются региональными менеджерами по устойчивому развитию.

Будем исходить из того, что *цель развития* – это отдаленный желаемый результат, недостижимый за рассматриваемый промежуток времени  $T$ , но доступный в будущем. И если на данном временном интервале цель не изменится, то к ней можно приблизиться в результате эволюционных преобразований системы. В проблеме устойчивого развития интересующий интервал времени измеряется несколькими десятилетиями, в связи с чем ЦУР всегда носят прогнозный и вместе с тем случайный характер. При возникновении проблемных ситуаций требуется определить и реализовать такие структурно-функциональные преобразования в  $S_{ППС}$ , чтобы планируемые на среднесрочный период  $\tau = 10...15$  лет индикаторы состояния системы наилучшим образом соответствовали значениям ЦИ, спрогнозированным на долгосрочный отрезок времени  $T = 20$  и более лет. Отсюда любая последовательность эволюционных действий в  $S_{ППС}$  может рассматриваться как стратегия развития системы. При этом основной вопрос состоит в том, какая именно стратегия способна обеспечить устойчивое развитие экономических систем.

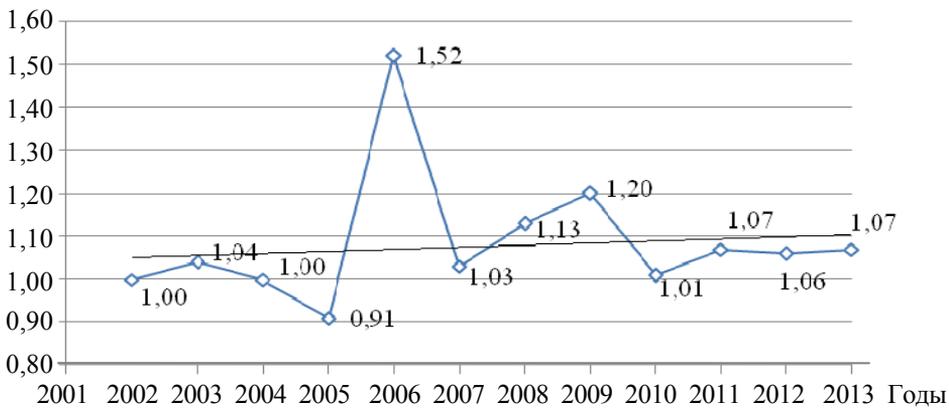
Сегодня практика показывает следующее: «...компании очень формально выбирают цели устойчивого развития, не связывают их с конкретными действиями и мерами, ни с показателями оценки результатов этих действий. Они увязывают с этими целями уже реализованные проекты – вместо того, чтобы составить план выполнения конкретных задач, необходимых для достижения целей устойчивого развития до 2030 г.» [9]. То есть отсутствие в компаниях понимания механизма перехода на траекторию устойчивого развития, как и отсутствие стратегии управления развитием в направлении ЦУР, существенно ограничивают решение важнейшей проблемы современности.

В последние годы опубликовано много методических работ по применению ЦИ для комплексной оценки состояний экономических систем. На рисунке 3 изображена гексограмма с индикаторами развития для Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей по состоянию на 2010 год [10], на которой символами  $I_{ппр}$ ,  $I_{кр}$ ,  $I_{эр}$ ,  $I_{пр}$ ,  $I_{инфр}$ ,  $I_{ср}$  обозначены соответственно индикаторы природно-ресурсного, кадрового, экономического, инновационного, инфраструктурного и социального развития, а на рис. 4 приведен пример поведения сводного индикатора состояния устойчивого развития экономики Челябинской области в 2002 – 2013 гг. [11].



**Рис. 3. Статическое отображение индикаторов социально-экономического развития субъектов в ЦЧЭР [10], область:**

- ◆ – Воронежская
- – Белгородская
- ▲ – Курская
- ✖ – Липецкая
- ✱ – Тамбовская



**Рис. 4. Приросты сводного индикатора устойчивого развития субъекта РФ в динамике [11]:**

- ◆ – прирост индикатора устойчивого развития региональной экономики

Эти и другие подобного рода примеры, опубликованные в научных изданиях, позволяют оценивать достигнутый прогресс в комплексном развитии экономических систем на количественной основе, однако они мало пригодны для разработки стратегии управления, основу которой составляет поиск и принятие решений по выходу системы из проблемных ситуаций, обсуждавшихся выше. Более того, из работ [10, 11] сложно определить, какого типа отношения существуют между индикаторами экономической, экологической и социальной групп и каким образом можно их сбалансировать.

Разработка стратегии управления процессом развития  $S_{ППС}$  должна базироваться на значении ее состояний в критические моменты времени  $t'$  или  $t^*$  (см. предыдущий раздел) и оценках перспектив (целесообразности)

перехода в состояния нормального функционирования, ориентированные на ЦУР. Для комплексного анализа состояний системы необходимо располагать значениями ЦИ трех профильных групп: экономической, экологической и социальной, внутренне однородных по показателям.

Управление  $S_{ППС}$  будем рассматривать на длительном интервале времени  $T$ , на котором в момент времени  $t'$  или  $t^*$  возникает проблемная ситуация, требующая перевода системы из состояния  $h_s(t')$  в  $h_s(t'+0)$ , за счет эволюционных способов действий (управлений)  $c_m \in C$ ,  $m = \overline{1, n}$ , где  $C$  – множество всех допустимых для  $h_s(t')$  способов управления. Значения ЦИ в каждой из названных групп индикаторов, спрогнозированных на период  $T$ , обозначим символами  $I_{i\text{экон}}^T, I_{j\text{экол}}^T, I_{k\text{соц}}^T$ ,  $i = \overline{1, p}, j = \overline{1, q}, k = \overline{1, l}$ . А для каждого  $h_s(t'+0)$  значения ЦИ, спрогнозированные на период времени  $\tau < T$ , обозначим соответственно символами  $I_{i\text{экон}}^\tau, I_{j\text{экол}}^\tau, I_{k\text{соц}}^\tau$ .

Относительную ошибку рассогласования результатов прогноза ЦИ на  $\tau$  для  $i$ -го условного индикатора любой из трех групп представим в виде

$$\Delta_i = (I_i^\tau - I_i^T) / I_i^T, \quad -\infty \leq \Delta_i \leq +\infty, \quad (10)$$

позволяющем перейти к безразмерному варианту ее анализа. Тогда для индикаторов каждой профильной группы по аналогии имеем:  $\Delta_{i\text{экон}}, \Delta_{j\text{экол}}, \Delta_{k\text{соц}}$ , а с учетом возможности выбора различных способов действий  $c_m \in C$  получаем двумерные массивы относительных ошибок прогноза:  $\Delta_{im\text{экон}}, \Delta_{jm\text{экол}}, \Delta_{km\text{соц}}$ ,  $i = \overline{1, p}, j = \overline{1, q}, k = \overline{1, l}, m = \overline{1, n}$ . Далее, без потери общности, рассмотрим данные ошибки в группах только при одном способе действий, а именно при  $m = 1$ .

Существуют различные критерии оценки качества прогноза, используемые в социально-экономических задачах [12]. Они делятся на три группы: абсолютные, сравнительные и качественные. К абсолютным относятся критерии, позволяющие определить ошибку прогноза в натуральном измерении или процентном. Сравнительные основаны на сопоставлении ошибок рассматриваемого прогноза с ошибками эталонного прогноза определенного типа. Качественные критерии позволяют провести анализ ошибок прогнозов и разложить их на те или иные существенные составляющие. Общий недостаток данных критериев состоит в том, что они предназначены для одномерных прогнозов, тогда как в проблеме устойчивого развития необходимо осуществлять многомерные прогнозы.

В этой связи будем рассматривать относительные ошибки прогнозов каждой профильной группы с позиции совместных выборочных распределений случайных величин, руководствуясь следующими соображениями.

1. Разделение ЦИ на три профильные группы оправдано, с одной стороны, «конфликтом интересов», возникающим в процессе управления развитием, а с другой – возможным различием числа индикаторов в группах.

2. Ошибки прогнозов в группах являются случайными величинами, принадлежащими выборочной функции распределения с известными средним значением и дисперсией.

3. Ошибки прогнозов в каждой группе будем считать однородными, поскольку их индикаторы объединены общим смыслом – экономическим, экологическим и социальным.

4. С увеличением числа индикаторов в группах выборочные функции распределения ошибок прогноза приближаются к теоретическому многомерному нормальному распределению.

5. Параметры выборочных функций распределения могут использоваться в качестве критериев контроля за движением системы к ЦУР.

В качестве критерия оценки качества прогнозов воспользуемся коэффициентом вариации

$$v = \sigma/\mu \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $\mu$  – выборочное среднее, найденное из выражения

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i, \quad -\infty \leq \mu \leq +\infty, \quad (12)$$

а  $\sigma$  – стандартное отклонение, вычисляемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta_i - \mu)^2}, \quad 0 \leq \sigma \leq +\infty. \quad (13)$$

При  $v = 0$  рассогласование между  $I_i^r$  и  $I_i^T$ ,  $i = \overline{1, N}$ , отсутствует, что в идеале означает достижение системой ЦУР. Чем больше  $v$ , тем менее однородна группа по составу ошибок прогноза и тем менее представительны значения  $\mu$ . Однако критерий (11) применим здесь вне зависимости от того, обладают ли ошибки прогноза в группах свойством гомоскедастичности или нет, поскольку цель выбора критерия (11) состоит в оценке близости состояния системы к ЦУР в результате перевода ее из проблемной ситуации в состояние нормального функционирования с помощью управлений  $c_m \in C$ . Каждая профильная группа индикаторов имеет свои коэффициенты вариации:  $v_{\text{экон}}$ ,  $v_{\text{экол}}$  и  $v_{\text{соц}}$ , которые для удобства записи переобозначим соответственно в  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$ . Исключительный вариант (хотя и недостижимый) – когда  $v_1 = v_2 = v_3 = 0$ . При этом выборочные функции совместного распределения ошибок прогноза в группах будут соответствовать теоретической функции распределения в виде  $\delta$ -функции.

Поскольку расчеты (11) базируются на выборочных (групповых) значениях ошибок прогноза, требуется определение доверительных интервалов для  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$ . В работе [13] рекомендованы формулы нахождения границ доверительного интервала для коэффициента вариации, при условии взятия выборки из нормального распределения:

$$\left[ \left\{ \chi_U^2 (1 + v^2) / nv^2 \right\}^{-0,5}, \left\{ \chi_L^2 (1 + v^2) / nv^2 \right\}^{-0,5} \right], \quad (14)$$

где  $\chi_U^2$  и  $\chi_L^2$  – нижний и верхний  $\alpha/2$ -процентили распределения хи-квадрат с  $(n - 1)$ -й степенью свободы.

Определяемые из (14) доверительные области значений коэффициентов вариации можно интерпретировать как область допустимых режимов функционирования системы  $S_{\text{ППС}}$ , входящую в уравнение (11).

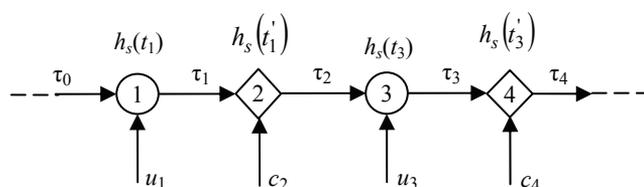
### Стратегия управления устойчивым развитием природо-промышленных систем

В работах [2, 3] эволюционное развитие  $S_{\text{ППС}}$  представлено в виде процесса последовательной смены трех основных состояний: 1 – исходного состояния нормального функционирования, в котором оптимизация режимов работы системы с использованием ЦУР осуществляется известными методами общей теории управления; 2 – проблемной ситуации, требующей реализации экстраординарных (эволюционных) решений и действий по восстановлению управляемости системы для обеспечения продвижения ее к ЦУР; 3 – целеустремленного состояния, адаптированного к новым вызовам (возмущениям), возникшим в проблемной ситуации п. 2.

Схематично процесс эволюционного развития  $S_{\text{ППС}}$  показан на рис. 5.

Из рисунка 5 следует, что эволюционный процесс является циклически обновляющимся. Управление данным процессом в  $h_s(t)$  осуществляется непрерывно, а в  $h_s(t')$  – дискретно. Переход из  $h_s(t')$  в  $h_s(t'+0)$  под действием  $c_m \in C$  означает реализацию структурно-функциональных преобразований системы.

Оптимальный вариант способов действий  $c^*$  определяется ЛПР по результатам решения задачи минимизации дисконтированных затрат на строительство, обслуживание и эксплуатацию подсистем  $S_{\text{П}}$  ( $S_{\text{Э}}$ ) или их трансформируемых внутренних компонент, при ограничениях на технико-экономические, экологические и иные показатели, актуальные на период формирования технического задания на проектирование. В данном процессе совместно с планируемыми изменениями в  $S_{\text{П}}$  или  $S_{\text{Э}}$  необходимо также решать задачу построения автоматизированной системы управления (системы менеджмента). Обсуждение вопросов интегрированного проектирования объектов и систем управления в проблеме устойчивого развития, применительно к очистным системам канализации г. Тамбова, содержится в работе [14].



**Рис. 5. Фрагмент движения системы к ЦУР:**

$h_s(t)$  – целеустремленные состояния;  $h_s(t')$  – проблемные ситуации;  
 $u$  – управляющие воздействия в  $h_s(t)$ ;  $c$  – эволюционные способы действий в  $h_s(t')$ ;  
 $\tau_i$  – время пребывания системы в состояниях  $i = 1, 2, \dots$

Сложность процесса проектирования новых и модернизации существующих  $S_{\text{ППС}}$  на период 10...15 лет чаще всего связана с отсутствием надежной и точной информации о ключевых параметрах технологических процессов, критических изменениях характеристик внешней среды, а также с возможностью появления в более поздние сроки (на этапе эксплуатации) новых жестких требований к работе системы. Эти разного рода неопределенности приходится преодолевать средствами имитационного моделирования, основанного на методе Монте-Карло [15]. Пример статистического анализа проектных решений для городской станции очистки жидких отходов в условиях неполной информации о внешних и внутренних факторах рассматривается в работе [16].

Базовым допущением, используемым в сложившейся практике проектирования инфраструктурных систем, является предположение о том, что ориентация на экономическую выгоду является главным критерием для принятия частных и государственных решений [17]. Однако комплексная оценка воздействий проекта на природу и общество в конкретной местности допускает существование и других, возможно более весомых, аргументов, расширяющих информационное поле для принятия оптимальных решений. По результатам аналитической оценки прогноза результатов проекта на природу и общество ЛПР способно выделить наиболее значимые социально-экономические и экологические ориентиры, необходимые для перевода эволюционируемых систем на траекторию устойчивого развития. Оценка перспективы использования для этих целей  $c_m \in C$ ,  $m = \overline{1, n}$ , должна рассматриваться не только по стоимости, но и по трем профильным группам индикаторов, обсуждавшимся в предыдущем разделе.

При таком варианте проектирования или реструктуризации систем нет жесткой фиксации ограничений на те или иные показатели, а предоставляется возможность ЛПР самостоятельно оценивать все компромиссные варианты решений как по затратам на реализацию  $c_m$ , так и на их социально-экономическую и экологическую значимость. Информацию для анализа ЛПР удобно представить в табличной форме.

В верхней строке табл. 1 содержатся значения стоимости эволюционных способов действий  $c_m$ ,  $m = \overline{1, n}$ , а в столбцах под ними – результативность каждого способа, оцениваемая тремя значениями коэффициентов вариации  $v_1, v_2$  и  $v_3$ .

Таблица 1

### Прогнозные значения

КВ	$c_1$ ЧПС <sub>1</sub>	$c_2$ ЧПС <sub>2</sub>	...	$c_n$ ЧПС <sub>n</sub>
$v_1$	$v_{11}$	$v_{12}$	...	$v_{1n}$
$v_2$	$v_{21}$	$v_{22}$	...	$v_{2n}$
$v_3$	$v_{31}$	$v_{32}$	...	$v_{3n}$

Примечание. ЧПС – чистая приведенная стоимость;  
КВ – коэффициент вариации.

В типовом процессе проектирования систем выбор оптимального  $c^*$  проводится, как было сказано ранее, на основе значений ЧПС проекта, тогда как в задачах «устойчивого развития» этот выбор делается на основе комплексной оценки «близости» целевых индикаторов к ЦУР, но с учетом выполнения бюджетных ограничений. В настоящей работе такая оценка определяется КВ  $v_1, v_2$  и  $v_3$ . А поскольку при очередном появлении проблемных ситуаций необходимо заново решать задачу выбора оптимального варианта  $c^*$ , процесс эволюционного развития  $S_{ППС}$  в принципе является многошаговым, требующим особого подхода к расчету оптимальной траектории движения системы к ЦУР. Эта особенность состоит в том, что на каждом шаге смены состояний  $h_s(t)$  решение относительно  $c^*$  должно выбираться с учетом возможных последствий в будущем, то есть управление развитием должно быть «дальновидным», рассчитанным на весь планируемый интервал времени  $T$ .

Данное обстоятельство приводит к необходимости использования понятия «стратегия». В теории игр оно означает «набор инструкций по проведению игры с первого до последнего хода» [18]. В настоящей работе под стратегией будем понимать однозначный образ действий, позволяющий ЛПР в каждый момент времени  $t'$  (или  $t^*$ ) делать соответствующий выбор  $c^*$  или  $u^*$  с учетом информации о предыстории процесса развития. Такая информация необходима ЛПР в качестве «отправной точки» при сопоставлении ожидаемых ценностей результатов функционирования системы в новом состоянии с результатами предыдущего состояния, существовавшего до появления проблемной ситуации.

Для многошаговых процессов принятия наилучших решений известен ряд математических методов исследования операций: динамического программирования, теории игр, марковских цепей и др. [19]. Однако жесткость требований, положенных в их основу, не позволяет использовать данные методы для решения рассматриваемой проблемы, в которой одношаговые решения не определяют стратегии управления. По мнению Д. А. Поспелова, в подобных случаях, в качестве общего решения, необходимо «формировать цепочки из одношаговых решений, склеенных специальной процедурой» (напоминающий метод припасовывания, известный в теории систем автоматического управления) [20].

Учитывая данное обстоятельство, стратегию управления многошаговым процессом развития будем выстраивать на основе «принципа дальновидности», смысл которого поясним в следующем *определении*: *какой бы результативностью не обладало состояние целеустремленной системы до появления проблемной ситуации, ожидаемая ценность ее последующих состояний со временем должна возрастать.*

Пусть состояния системы  $h_{1s}, h_{2s}, \dots, h_{ks}$  являются результатом последовательного принятия решений на замкнутом промежутке времени  $(t_1 - t_k)$ , принадлежащем  $T$ , а  $w_1, w_2, \dots, w_k$  – удельные ценности каждого из указанных состояний соответственно. Тогда, согласно определению, в процессе развития  $S_{ППС}$  должно выполняться условие повышения ценности состояний:  $w_1 < w_2 < \dots < w_k$ , где  $w_i = w_i(w_{i-1})$ ,  $i = \overline{2, k}$ .

Введение «принципа дальновидности» в схему принятия решений о переводе системы в новое состояние функционирования позволяет на «идейном уровне» склеивать одношаговые решения в стратегию разви-

тия  $S_{ППС}$ , дружественную природе и обществу, при условии использования мало- и безотходных технологий, наукоемких, энерго- и ресурсосберегающих бережливых способов производства, альтернативных источников энергии, рециклинга отходов, механизмов роста общественного благосостояния и т.п. На фоне существующих тенденций увеличения народонаселения, ускоренного потребления природных ресурсов и тотального разрушения экосистем перечисленные формы хозяйствования приобретают неоспоримую ценность для устойчивого развития региональной экономики.

В процессе продвижения  $S_{ППС}$  к ЦУР ожидаемая ценность ее новых состояний  $EW$  может определяться по формуле [3]

$$EW = \sum_i \sum_j p_i E_{ij} w_j, \quad (15)$$

где  $p_i$  – вероятность выбора конкретного способа эволюционных действий  $c_i$ ,  $i = \overline{1, k}$ , переводящего систему в состояние  $h_{si}$ , оцениваемое профильными индикаторами  $v_1, v_2$  и  $v_3$ ;  $E_{ij}$  – эффективность  $i$ -го способа действий по каждому  $v_j$ ,  $j = 1, 2, 3$ ;  $w_j$  – удельная ценность  $j$ -го индикатора, вычисляемая из выражения

$$w_j = v_j / \sum_{j=1}^3 v_j. \quad (16)$$

Значения  $p_i$  и  $E_{ij}$  определяются ЛПР на этапе анализа и отбора проектов с соблюдением условий нормировки:  $\sum_i p_i = 1$  и  $\sum_j E_{ij} = 1$ . При выборе конкретного  $l$ -го проекта  $p_l = 1$ , а значения  $E_{lj}$  задаются в форме весовых коэффициентов, определяющих приоритет одних индикаторов над другими. В результате такого подхода многокритериальная задача сводится к скалярной.

Используя данные табл. 1, вычисляются значения ожидаемой ценности для каждого способа действий  $E(c_i)$ , а из них определяется оптимальный способ  $c^*$ , при котором  $EW(c^*)$  принимает минимальные значения. После этого находится ЧПС проекта реструктуризации  $S_{ППС}$ , заданная в верхней строчке табл. 1.

### Выводы

В настоящей работе рассмотрен один из вариантов стратегии развития природо-промышленной системы, основанный на сокращении множества показателей ее состояния до трех профильных групп индикаторов: экономических, экологических и социальных. В основу стратегии положен «принцип дальновидности», смысл которого состоит в выборе таких технологических решений, ценность которых на длительном интервале времени будет возрастать. Противоречия между профильными группами индикаторов устраняются посредством введения весовых коэффициентов, определяющих «перспективность» каждой группы на очередном этапе функционирования системы.

### Список литературы

1. Попов, Н. С. Характеристики и параметры устойчивого развития экономики, природы и общества как сложной системы: социально-экологический взгляд на проблему / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. Э. Стрельникова // *Право: история и современность*. – 2018. – № 2. – С. 113 – 121. doi: 10.17277/pravo.2018.02.pp.113-121
2. Попов, Н. С. О некоторых особенностях в постановке и решении региональных задач устойчивого развития. Часть I / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чуксин // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2020. – № 2 (76). – С. 91 – 106. doi: 10.17277/voprosy.2020.02.pp.091-106
3. Попов, Н. С. О некоторых особенностях в постановке и решении региональных задач устойчивого развития. Часть II / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чуксин // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2020. – № 3 (77). – С. 40 – 55. doi: 10.17277/voprosy.2020.03.pp.040-055
4. 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
5. Лофт, А. Теория линейных систем. Метод пространства состояний / А. Лофт, Ч. А. Дезоер ; пер. с англ. В. Н. Варыгина ; под ред. Г. С. Поспелова. – М. : Наука, 1970. – 703 с.
6. *SDG Compass. The guide for business action on the SDGs*. – URL : [https://sdgcompass.org/wpcontent/uploads/2016/05/019104\\_SDG\\_Compass\\_Guide\\_2015\\_v29.pdf](https://sdgcompass.org/wpcontent/uploads/2016/05/019104_SDG_Compass_Guide_2015_v29.pdf) (дата обращения: 14.05.2021).
7. Тарасова, Н. П. Индексы и индикаторы устойчивого развития. – Текст : электронный / Н. П. Тарасова, Е. Б. Кручинина. – URL : [http://www.cawater-info.net/eoindicators/pdf/tarasova\\_kruchina.pdf](http://www.cawater-info.net/eoindicators/pdf/tarasova_kruchina.pdf) (дата обращения: 14.05.2021).
8. Цели устойчивого развития. ООН и Россия : доклад о человеческом развитии в Российской Федерации / Под ред. С. Н. Бобылева, Л. М. Григорьева. – М. : Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. – 298 с.
9. Дубовицкая, Е. А. Как выбрать цели устойчивого развития. – Текст : электронный / Е. А. Дубовицкая. – URL : <https://www.vedomosti.ru/management/blogs/2019/12/17/818629-kak-vibrat-tseli> (дата обращения: 14.05.2021).
10. Ферару, Г. С. Методика оценки уровня устойчивого социально-экономического развития регионов / Г. С. Ферару, А. В. Орлова // *Современные проблемы науки и образования* : электрон. науч. журн. – 2014. – № 1. – С. 1 – 7. – URL : <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/8911> (дата обращения: 14.05.2021).
11. Голованов, Е. Б. Методический подход в оценке устойчивого развития региональной экономики / Е. Б. Голованов // *Современные технологии управления*. – 2015. – № 3 (51). – URL : <https://sovman.ru/article/5104/?pfstyle=wp> (дата обращения: 14.05.2021).
12. Васильев, А. А. Критерии селекции моделей прогноза (обзор) / А. А. Васильев // *Вестн. Тверского гос. ун-та. Серия: Экономика и управление*. – 2012. – № 13. – С. 133 – 148.
13. Payton, M. E. Confidence Intervals for the Coefficient of Variation. – Текст : электронный / М. Е. Payton // *Proceedings of the Kansas State University Conference on Applied Statistics in Agriculture*. – 1996. – Vol. 8. – P. 82 – 87. – URL : <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1320> (дата обращения: 14.05.2021).
14. Милованова, О. В. Интегрированное проектирование объектов и систем управления в проблеме регионального устойчивого развития / О. В. Милованова, Н. С. Попов, А. А. Баламутова // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2021. – №1 (79). – С. 7 – 25. doi: 10.17277/voprosy.2021.01.pp.007-025
15. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор, Дж. Ботон, Д. Бердик [и др.] ; пер. с англ. В. Ю. Лебедева, А. В. Лотова ; под ред. А. А. Петрова. – М. : Мир, 1975. – 502 с.
16. Altimir i Puigdemont, J. A Tool for Optimum Design of WWTPs under Uncertainty. – Текст : электронный / J. Altimir i Puigdemont // *Projecte/Treball Fi*

de Carrera. – Girona : Escola Politechnico Superior, 2012. – 48 p. – URL : [https://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/Rapports/altimirjosep\\_gar.pdf](https://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/Rapports/altimirjosep_gar.pdf) (дата обращения: 14.05.2021).

17. Паавола, Й. Основы экономики окружающей среды : учеб. : пер. с фин. / Й. Паавола ; науч. ред. И. Г. Лукманова. – М. : [б. и.], 2009. – 296 с.

18. Дрешер, М. Стратегические игры: теория и приложения / М. Дрешер ; пер. с англ. И. В. Соловьева ; под ред. Ю. С. Голубева-Новожилова. – М. : Сов. радио, 1964. – 352 с.

19. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1972. – 552 с.

20. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 288 с.

### References

1. Popov N.S., Peshcherova O.V., Strel'nikova A.E. [Characteristics and parameters of sustainable development of the economy, nature and society as a complex system: a socio-ecological view of the problem], *Pravo: istoriya i sovremennost'* [Law: history and modernity], 2018, no. 2, pp. 113-121, doi: 10.17277/pravo.2018.02.pp.113-121 (In Russ., abstract in Eng.)

2. Popov N.S., Peshcherova O.V., Chuksin A.A. [On some features in the formulation and solution of regional problems of sustainable development. Part I], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2020, no. 2 (76), pp. 91-106, doi: 10.17277/voprosy.2020.02.pp.091-106 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Popov N.S., Peshcherova O.V., Chuksin A.A. [On some features in the formulation and solution of regional problems of sustainable development. Part II], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2020, no. 3 (77), pp. 40-55, doi: 10.17277/voprosy.2020.03.pp.040-055 (In Russ., abstract in Eng.)

4. Popov N.S., Peshcherova O.V., Chuksina L.N. [Development of a systematic approach to solving regional problems 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.)

5. Loft A., Dezoyer Ch.A., Pospelov G.S. [Ed.] *Teoriya lineynykh sistem. Metod prostranstva sostoyaniy* [Theory of linear systems. State space method], Moscow: Nauka, 1970, 703 p. (In Russ.)

6. [https://sdgcompass.org/wpcontent/uploads/2016/05/019104\\_SDG\\_Compass\\_Guide\\_2015\\_v29.pdf](https://sdgcompass.org/wpcontent/uploads/2016/05/019104_SDG_Compass_Guide_2015_v29.pdf) (accessed 14 May 2021).

7. [http://www.cawater-info.net/eoindicators/pdf/tarasova\\_kruchina.pdf](http://www.cawater-info.net/eoindicators/pdf/tarasova_kruchina.pdf) (accessed 14 May 2021).

8. Bobylev S.N., Grigor'yev L.M. [Eds.] *Tseli ustoychivogo razvitiya. OON i Rossiya: doklad o chelovecheskom razvitiy v Rossiyskoy Federatsii* [Sustainable Development Goals. UN and Russia: Report on Human Development in the Russian Federation], Moscow: Analiticheskiy tsentr pri Pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii, 2016, 298 p. (In Russ.)

9. <https://www.vedomosti.ru/management/blogs/2019/12/17/818629-kak-vibratseli> (accessed 14 May 2021).

10. <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/8911> (accessed 14 May 2021).

11. <https://sovman.ru/article/5104/?pfstyle=wp> (accessed 14 May 2021).

12. Vasil'yev A.A. [Selection criteria for forecast models (review)], *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravleniye* [Bulletin of Tver State University. Series: Economics and Management], 2012, no. 13, pp. 133-148. (In Russ., abstract in Eng.)

13. <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1320> (accessed 14 May 2021).
14. Milovanova O.V., Popov N.S., Balamutova A.A. [Integrated design of objects and control systems in the problem of regional sustainable development], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2021, no. 1 (79), pp. 7-25, doi: 10.17277/voprosy.2021.01.pp.007-025 (In Russ., abstract in Eng.)
15. Neylor T., Boton Dzh., Berdik D. [et al.], Petrov A.A. [Ed.] *Mashinnyye imitatsionnyye eksperimenty s modelyami ekonomicheskikh sistem* [Machine simulation experiments with models of economic systems], Moscow: Mir, 1975, 502 p. (In Russ.)
16. [https://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/Rapports/altimirjosep\\_rap.pdf](https://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/Rapports/altimirjosep_rap.pdf) (accessed 14 May 2021).
17. Paavola Y., Lukmanova I.G. [Ed.] *Osnovy ekonomiki okruzhayushchey sredy: uchebnyk* [Fundamentals of Environmental Economics: textbook], Moscow: [b. i.], 2009, 296 p. (In Russ.)
18. Dresher M., Golubev-Novozhilov Yu.S. [Ed.] *Strategicheskiye igry: teoriya i prilozheniya* [Strategic games: theory and applications], Moscow: Sovetskoye radio, 1964, 352 p. (In Russ.)
19. Venttsel' Ye.S. *Issledovaniye operatsiy* [Operations Research], Moscow: Sovetskoye radio, 1972, 552 p. (In Russ.)
20. Pospelov D.A. *Situatsionnoye upravleniye: Teoriya i praktika* [Situational management: Theory and practice], Moscow: Nauka, 1986, 288 p. (In Russ.)
- 

### **Some Features in the Formulation and Solution of Regional Problems of Sustainable Development. Part III**

**N. S. Popov, O. V. Milovanova, A. A. Balamutova, L. N. Chuksina**

*Tambov State Technical University;*

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

**Keywords:** indicators of the state of development; principle of foresight; problem situation; strategy; control; sustainable development; purposeful and evolving systems; evolutionary actions.

**Abstract:** At the present stage of development of society, management of large infrastructural objects of the regional economy is an important national economic task. The complexity of its solution is primarily associated with the need to take into account in the long-term perspective the needs of yet unborn generations of people and qualitative changes in the control object that arise in the process of its operation.

In this paper, control objects are considered on a universal scientific platform of natural-industrial systems, and the control process itself is presented as a multi-step one. Introduced and formalized the concept of “problematic situation”, which prevents the system from advancing towards the goals of sustainable development, a method for reducing the number of indicators for assessing the state of the system is proposed. The management strategy uses the “principle of foresight” and the scheme of making compromise decisions due to the presence of contradictions in the indicators of development.

---

© Н. С. Попов, О. В. Милованова,  
А. А. Баламутова, Л. Н. Чукукина, 2021