

УДК 502.1

В. Л. Бондаренко

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

С. М. Гаврилюк

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

На основе энерго-энтропийного подхода рассмотрены концептуальные вопросы прогнозирования текущего состояния и будущего развития сценариев событий в природно-технической системе «природная среда–объект деятельности–население», связанных с использованием водных ресурсов и защитой от негативного воздействия природных вод. Основной причиной возникновения проблем и кризисных ситуаций в функционировании природно-технической системы, где под объектом деятельности понимается водохранилищный гидроузел, определено отсутствие взаимодействия отдельных компонентов системы. Для изучения процессов взаимодействия водохранилища с природными компонентами окружающей среды (биотическими, абиотическими) используется закон сохранения мощности, который позволяет рассматривать такую систему как целостную, динамичную, устойчиво неравновесную и обладающую свойством изоморфизма на всех уровнях. Уровень энтропии объекта определяют потоки энергии и внутреннее энергетическое состояние природно-технической системы. Поэтому одной из компонентов является надежность – запас внутренней энергии сопротивления обобщенным воздействиям подводимых потоков энергии как на отдельные конструктивные элементы, так и сооружение в целом. Сложившаяся практика показывает, что разрешение социальных и экологических проблем в процессе эксплуатации природно-технических систем зачастую требует принятия мер, снижающих показатели надежности водохозяйственных объектов, в результате чего дальнейшая его эксплуатация становится экономически невыгодной. Для формирования тенденции устойчивого развития природно-технических систем рекомендуется использовать критерии оптимизации, основанные на минимизации стоимости жизненного цикла и себестоимости продукции и максимизации экономического эффекта и рентабельности.

Ключевые слова: природная среда, объект деятельности, население, мощность, энергия, энтропия, устойчивое развитие.

V. L. Bondarenko

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

S. M. Gavrilyuk

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ECOLOGICAL AND ECONOMIC SUBSTANTIATION FOR BUILDING AND OPERATION OF ENVIRONMENT-TECHNICAL SYSTEMS AT WATER BODIES

On the base of energy-entropy approach the conceptual issues of predicting the modern status and future scenario development in environment-technical system (ETS) "Environment-Object of Activity-Population" linking with the use of water resources and protection against the negative impact of natural waters were considered. The main reason of the problems and crisis in functioning of ETS, where as an object of activity is considered a reservoir hydrosystem, was the lack of interaction between separate components of the system. To research the processes of interaction with environment components (biotic, abiotic), the law of power conservation is applied, which enables to consider such a system as entire, dynamic, sustainably unbalanced, and isomorphic at all levels. The level of entropy for an object is determined by the energy flows and internal energy status of ETS. Therefore, one of the components is reliability – the stock of internal energy of resistance to the generic impacts of input flows of energy either on the separate components of construction or the whole construction. The existing practice shows that resolution of social and ecological problems during operation of ETS often requires actions decreasing the reliability indices of waterworks. As a result, further operation becomes uneconomical. To form the trend of sustainable development of ETS we recommend using optimization criteria based on minimizing the value of live cycle and prime cost of production and maximizing the economic effect and profitability.

Keywords: environment, object of activity, population, power, energy, entropy, sustainable development.

Природная среда является важнейшей составляющей окружающей человека среды и основой жизни на Земле. Хозяйственная деятельность человека, обуславливающая собой субъективные преобразования, на протяжении всей истории общественного развития характеризуется противопоставляемостью окружающей природной среде. Изучение вопросов по оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду на современном этапе развития общества является весьма актуальным.

Исходя из системного понимания процессов взаимодействия различных видов хозяйственной деятельности с окружающей природной средой, можно отметить, что деятельность человека как субъективное самоуправление должна отражать объективные преобразования, которые происходят в пространственных пределах влияния рассматриваемой деятельности.

Из многообразия видов хозяйственной деятельности в данной статье рассматривается деятельность, связанная с использованием водных ресурсов. Хозяйственная деятельность по использованию водных ресурсов в различных технологических процессах жизнедеятельности общества (гидроэнергетике, орошении, питьевом и техническом водоснабжении и др.) обуславливает определенные изменения в процессах естественных преобра-

зований, которые непрерывно протекают в пространственных пределах бассейновых геосистем, где формируются эти водные ресурсы. Использование водных ресурсов обеспечивается путем создания природно-технических систем (ПТС) «природная среда–объект деятельности–население», которые размещаются в пространственных пределах бассейновых геосистем.

В системном понимании причиной возникновения различного рода проблем и кризисных ситуаций в функционировании ПТС «природная среда–объект деятельности–население», где под «объектом деятельности», к примеру, понимается водохранилищный гидроузел, является отсутствие взаимодействия отдельных компонентов системы. Для изучения процессов взаимодействия водохранилища с природными компонентами окружающей среды (биотическими, абиотическими) используется закон сохранения мощности, который позволяет рассматривать такую систему как целостную, динамичную, устойчиво неравновесную и обладающую свойством изоморфизма на всех уровнях.

В соответствии с законом сохранения мощности в указанных системах, неустойчивое равновесие преодолевается переходом на другой, качественно новый уровень функционального развития с расширением пространственно-временных границ. Примерами неустойчивого равновесия для систем «природная среда–объект деятельности» может являться аварийная ситуация, связанная с переполнением объема водохранилища и последующим переливом через гребень плотины, разрушением напорного фронта и переходом системы в новые пространственно-временные границы или полным заилением чаши водохранилища.

Необходимо отметить, что сохраняться может не только «застывшее и неизменное», но и тенденция, например, тенденция происходящих изменений в системе. Так, если тенденция изменений сохраняется на определенном периоде времени эксплуатации водохранилища, то можно говорить о закономерности устойчивого развития или функционирования данного

объекта. А если будет установлена аналитическая связь этого правила с законами сохранения, то такая закономерность приобретает статус закона движения или изменения.

В процессах взаимодействия природных и техногенных компонентов, к примеру, ПТС «природная среда–объект деятельности», объединяющим началом выступает закон сохранения полной мощности ($N_{\text{полн}}$), в соответствии с которым любое изменение «полезной» мощности (P) компенсируется изменением мощности «потерь» (G):

$$N_{\text{полн}} = P + G[L^5 T^{-5}].$$

Система «природная среда–объект деятельности» (рисунок 1) объединяет в себе два сопряженных непрерывно протекающих процесса – это активное воздействие окружающей природной среды в пределах бассейновой геосистемы на формирование энергетического потенциала, к примеру, водохранилища, и воздействие этого водохранилища полученным потенциалом мощности на окружающую среду в зонах влияния данного «объекта деятельности».

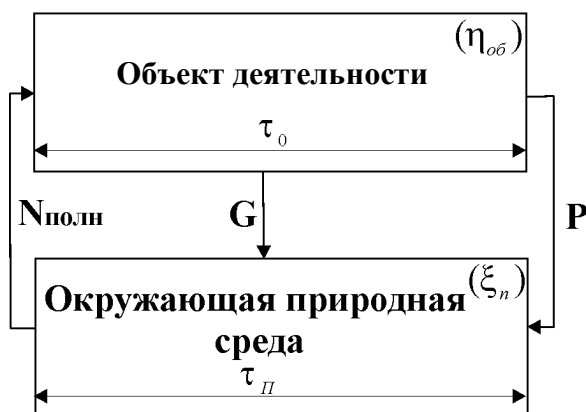


Рисунок 1 – Энергетический баланс системы «природная среда–объект деятельности»

Окружающая природная среда сообщает «объекту деятельности» потоки энергии, которые формируют полную мощность на входе ($N_{\text{полн}}$) или потенциальную возможность системы:

$$N_{\text{полн}} = \sum_1^n N_i(t) [L^5 T^{-5}].$$

Ресурсы, накапливаемые в объекте деятельности, используются в течение периода времени ($\tau_{\text{п}} = 1$ год) при выполнении функциональных задач, задаваемых проектными решениями. Объект деятельности, затрачивая поток полезной мощности (P) в течение периода времени $\tau_0 = 1$ год, выполняет функциональные задачи и воздействует на окружающую природную среду, теряя определенное количество потока мощности (G) от полной мощности ($N_{\text{полн}}$) на входе в систему, которая определяется по формуле:

$$N_{\text{полн}} = N_{\text{солн}} + N_{\text{вод}} + N_{\text{вещ}},$$

где $N_{\text{солн}}$ – потоки мощности от солнечной радиации, которые определяются в зависимости от радиационной интенсивности, усваиваемой поверхностью водотока (реки), в фоновом рассмотрении и при наличии объекта деятельности, к примеру, водохранилища;

$N_{\text{вод}}$ – поток мощности водотока (водохранилища, реки);

$N_{\text{вещ}}$ – поток мощности вещества.

Следовательно, система «природная среда–объект деятельности» в пределах бассейновой геосистемы водного объекта вносит определенные изменения во взаимодействия природных компонентов (биотических и абиотических), которые в энерго-энторпийном отношении характеризуются диссипативными и антидиссипативными процессами. Если при наличии водохранилища в окружающей его природной среде будут происходить изменения с тенденцией увеличения или роста диссипативных процессов, то можно говорить о негативном воздействии техногенного объекта на окружающую среду и жизненно важные интересы человека. Такие изменения сопровождаются, как правило, снижением уровня экологической безопасности в зоне действия объекта деятельности – водохранилища.

Следует указать, что в обобщенном понимании рассматриваемые

природно-технические системы ведут себя одинаково и функционируют в соответствии со вторым законом термодинамики [1]. Но утверждение, что любая система неуклонно только деградирует, может быть опровергнуто тем, что в природе наблюдаются процессы самоорганизации и, соответственно, роста упорядоченности. Подтверждением этому являются теоретические исследования Ларса Онсагера (Lars Onsager), Ильи Пригожина [2] и других ученых, которые подтвердили универсальность второго закона термодинамики. В строгом понимании второй закон термодинамики применим только к системам, которые находятся в состоянии равновесия, когда масса, энергия и конфигурация системы не изменяются или перестали изменяться. Но в реальности, применительно к рассматриваемым природно-техническим системам, мы наблюдаем изменения не только в природных средах – атмосфере, гидросфере, геологической среде, почвенном покрове, но и в «объекте деятельности», который эксплуатируется не один десяток лет.

Если второй закон термодинамики универсален, как это утверждается современными исследованиями в теории термодинамики, то он может быть использован в изучении ПТС «природная среда–объект деятельности–население», представляющих собой локальные пространственные пределы природной среды, границы которых определяются зонами влияния «объекта деятельности» [2]. Возникает вопрос, как действует второй закон термодинамики в ПТС «природная среда–объект деятельности–население»?

В открытых природных системах, где протекают процессы взаимодействия биотических и абиотических компонентов между собой при непрерывном поступлении потоков солнечной энергии, наблюдается эволюционное развитие многообразных экосистем в пределах бассейновой геосистемы. В ПТС «природная среда–объект деятельности–население» «объект деятельности» вносит определенные изменения в естественные про-

цессы природной среды, которые могут вызвать как деградацию, так и сбалансированное взаимодействие компонентов данной системы, которое характеризуется динамическим равновесием. Второй закон термодинамики объясняет, почему последовательность равновесных состояний не может быть необратимой, и почему система не может вернуться в первоначальное состояние, к примеру до внедрения «объект деятельности», не получив определенного количества энергии из окружающей среды в виде определенных восстановительных мероприятий. В качестве необратимости второй закон термодинамики вводит понятие «энтропия» (S). Энтропия – это величина, скорость роста которой обуславливает интенсивность процессов преобразования форм энергии. Наблюдение скорости роста энтропии позволяет определять направление эволюционного развития системы, которое неотъемлемо связано с процессами изменения и сохранения. Обеспечение снижения темпов роста энтропии в той или иной системе достигается постоянным и эффективным рассеиванием легко используемой энергии (энергии солнца, пищи и т. п.) и преобразование ее в энергию наиболее стабильной формы – тепловую. Обычно энтропию рассматривают как степень неупорядоченности системы, но в реальности это может ввести в определенное заблуждение. На основе результатов исследований, проводимых в НГМА, в ПТС «природная среда–объект деятельности–население» целесообразно выделять в структуре образующие компоненты – природные и техногенные – в пределах зон влияния «объекта деятельности». Так, в сложных ПТС «природная среда–объект деятельности–население» в качестве природных и техногенных компонентов в виде отдельных подсистем рассматриваются климатические характеристики, приземные слои атмосферы; растительный, животный мир; гидрографическая сеть, в которой формируется сток (поверхностный, подземный); геологическая среда верхних слоев литосферы; объект деятельности как центральный компонент рассматриваемой системы; население, которое проживает в зоне

влияния «объекта деятельности». Следовательно, рассматриваемый класс ПТС базируется на восьми базовых компонентах, разделяемых на отдельные элементы, количество которых в каждой компоненте принимается в зависимости от решаемых задач.

Выделяемые элементы природных и технических компонентов рассматриваются как подсистемы более низкого иерархического уровня. Совокупные и коллективные свойства компонентов ПТС «природная среда–объект деятельности–население» для удобства называются интегральными или системообразующими, а их количественная оценка – интегральными характеристиками соответствующих количественных показателей. Важной характеристикой ПТС «природная среда–объект деятельности–население» считается ее структура, которая отражает множество связей, взаимодействий между компонентами и составляющих их элементами, имеющих существенное значение в процессах преобразования форм энергии внутри системы, например, энергии водного потока в электричество.

Для рассматриваемых ПТС «природная среда–объект деятельности–население» энтропия характеризует степень состояния структурных образований – биотических, абиотических и техногенных компонентов. На каждое структурное образование природной среды «объект деятельности» воздействует по-разному и, соответственно, энерго-энтропийное состояние будет разным.

Состояние, как отдельных структурных образований, так и составляющих их элементов в рассматриваемой ПТС «природная среда–объект деятельности–население» определяется уровнем энтропии и балансовым соотношением свободной ($E_{\text{своб}}$) и связанной ($E_{\text{связ}}$) частей энергии, которое выражается коэффициентом полезного действия (КПД) η в виде:

$$\eta = E_{\text{своб}} / E_{\text{полн}} \leq 1,$$

где $E_{\text{полн}}$ – полный поток энергии, поступающий в систему:

$$E_{\text{полн}} = E_{\text{своб}} - E_{\text{связ}}.$$

Качественно, чем выше энтропия, тем в большем числе отдельные элементы и структурные образования ПТС могут находиться в состоянии тенденции роста неупорядоченности и, соответственно, связанной энергии ($E_{\text{связ}}$), которая обуславливает снижение их функциональной надежности, выражаемой КПД использования качественной свободной энергии ($E_{\text{своб}}$), например, энергии водотока на ГЭС и т. п.

Энтропия ПТС «природная среда–объект деятельности–население» характеризуется числом различных микросостояний рассматриваемых отдельных элементов и структурных образований в виде компонентов природных и технических, которые соответствуют определенному макросостоянию данной системы в пространственных пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы. Математически энтропия есть произведение числа микросостояний ($m_{\text{мк}}$) на логарифм этого числа. Изменения, происходящие в ПТС под воздействием процессов преобразования форм энергии, сопровождаются ростом энтропии, так как КПД ($\eta = E_{\text{своб}} / E_{\text{полн}}$) всегда меньше единицы, поскольку предшествующее состояние отличается от настоящего, т. е. имеется направленность протекающих процессов, что обуславливает «стрелу времени».

Изменение энтропии в неравновесных системах, соответственно, и в рассматриваемых ПТС, определяется известным уравнением И. Р. Пригожина [2]:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{deS}{dt} + \frac{diS}{dt},$$

где dS – полное изменение энтропии в системе за период времени dt ;

deS – энтропия, импортированная из окружающей внешней среды;

diS – изменение энтропии, обусловленное необратимыми процессами внутри системы или производством энтропии.

Согласно второму закону термодинамики diS всегда положительно, а deS может быть как положительной, так и отрицательной величиной.

В общем случае необратимые изменения diS в ПТС связаны с потоками dx в виде солнечной энергии или веществ dN (жидкого, твердого стока и т. п.) за время dt . Тогда изменение энтропии diS можно представить в виде:

$$diS = F \cdot dx,$$

где F – обобщенная (термодинамическая) сила, которая выражается в виде функций переменных – температуры, относительной влажности, концентрации веществ, действующего напора H_m и др.

Для рассматриваемых ПТС суммарные необратимые процессы выражаются как сумма всех изменений, вызванных потоками dx , что может быть представлено выражением:

$$diS = \sum F \cdot dx \geq 0 \quad \text{или} \quad \frac{diS}{dt} = \sum \frac{deS}{dt} \cdot F \geq 0,$$

которое в обобщенном виде отражает второй закон термодинамики, где энтропия системы в каждом необратимом процессе определяется произведением силы F и потока $J = \frac{dx}{dt}$.

Методология изучения внутрисистемных процессов ПТС «ПС–ОД–Н» базируется на теории открытых систем, которая была сформулирована во второй половине прошлого столетия И. Р. Пригожиным [2]. Исходя из концепции необратимости процессов, были разработаны теоретические основы неравновесной нелинейной термодинамики, в которых понятие закрытых систем сменилось на принципиально иное базовое понятие открытой системы, имеющей способность обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией.

Исходя из вышеизложенного, потоки энергии и внутреннее энергетическое состояние ПТС определяют уровень энтропии объекта. Поэтому одной из компонент является надежность – параметр, более всего интересующий проектировщиков и эксплуатационников. Уровень надежности

отдельного конструктивного элемента или сооружения в целом зависит от множества различных по природе факторов. Основным базовым фактором является используемый строительный материал с его физико-механическими характеристиками, которые проявляются в процессе взаимодействия конструктивного элемента или сооружения с внешними потоками энергетического воздействия. Следовательно, под понятием надежность следует понимать запас внутренней энергии сопротивления обобщенным воздействиям подводимых потоков энергии, как на отдельные конструктивные элементы, так и сооружение в целом. Запасенная энергия в элементах сооружения в процессе функциональной эксплуатации преобразуется. Сбалансированность запасенной в сооружении энергии, определяемой напряжениями, и подводимых потоков энергии, определяемых действующими нагрузками, выражается законом сохранения энергии:

$$E_i = \sum_{j=1}^{j=N} K_i^j \cdot \ell_j,$$

где E_i – формы энергии 1, 2, 3, ... n , подводимой к объекту;

K_i^j – коэффициент преобразования, показывающий связь подводимой энергии типа i с запасенной энергией типа j ;

ℓ_j – формы энергии 1, 2, 3, ... n , запасенной в сооружении.

Количественные значения напряжения и действующих нагрузок на конструктивные элементы и сооружения в целом определяются известными методами расчета, которые рекомендуются действующими санитарными нормами и правилами.

Например, безопасность водоподпорного гидротехнического сооружения (ГТС) оценивается по трем основным составляющим: экологическая, техническая и социально-демографическая.

Экологическая безопасность определяется уровнем вносимого водоподпорным ГТС дисбаланса в процессы движения (обмена) потоков вещества, энергии и информации в различные иерархические уровни экосистем

в рамках бассейновой геосистемы водного объекта.

Техническая безопасность водоподпорного ГТС определяется уровнем риска (R) возникновения аварийных ситуаций на сооружениях и подразделяется на гидрологическую, гидравлическую, конструктивную, фильтрационную и руслоформируемую, которые исследуются самостоятельно, а в интегральном виде дают общий уровень безопасности гидроузла [3, 4].

Социально-демографическая безопасность определяется уровнем социального дискомфорта населения, проживающего в зоне действия водоподпорного ГТС (верхний и нижний бьефы).

Сложившаяся практика показывает, что разрешение социальных и экологических проблем в процессе эксплуатации ПТС зачастую требует принятия мер, снижающих показатели эффективности и надежности водохозяйственных объектов, например, увеличение попусков воды в нижний бьеф для гарантии водоснабжения или, наоборот, повышение уровня воды в водохранилище до критических отметок с целью максимального снижения паводкового расхода в нижний бьеф. При этом требования по социальной и экологической безопасности могут войти в противоречие с требованиями по надежности и эффективности ПТС, и дальнейшая его эксплуатация станет экономически невыгодной.

Для формирования тенденции устойчивого развития ПТС «природная среда–объект деятельности–население» рекомендуется использовать критерии оптимизации, основанные на минимизации стоимости жизненного цикла I_1 , максимизации экономического эффекта I_2 , минимизации себестоимости продукции I_3 , максимизации рентабельности I_4 :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= K + M \rightarrow \min \\ I_2 &= D - (K + M) \rightarrow \max \\ I_3 &= \frac{C}{K + M} \rightarrow \min \\ I_4 &= \frac{\Pi}{K + M} \rightarrow \max \end{aligned} \right\},$$

где K – расходы на строительство водохранилищного гидроузла;

M – текущие эксплуатационные расходы на поддержание функционирования водохранилищного гидроузла;

D – доход от эксплуатации водохранилищного гидроузла;

C – стоимость произведенной продукции;

Π – прибыль.

Таким образом, обеспечение устойчивого развития способствует сохранению доминирования естественных процессов преобразований форм энергии над техногенными процессами взаимодействия объектов природообустройства и водопользования с природными средами.

Список использованных источников

1 Природообустройство: территории бассейновых геосистем: учеб. пособие / под общ. ред. И. С. Румянцева. – Ростов н/Д.: Издательский центр «МарТ», 2010. – 528 с.

2 Пригожин, И. Р. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Р. Пригожин. – М.-Л.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 127 с.

3 Дьяченко, В. Б. Теоретические основы оценки уровня безопасности водоподпорных гидротехнических сооружений / В. Б. Дьяченко, В. Л. Бондаренко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2001. – Т. 3. – № 2. – С. 159-162.

4 Обеспечение функциональной надежности и экологической безопасности береговых водозаборных сооружений систем водоснабжения промышленных предприятий / В. Л. Бондаренко [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 134-139.

Бондаренко Владимир Леонидович – доктор технических наук, заведующий кафедрой природообустройства, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: +7 928 192 33 96.

E-mail: gavrilyuksergey@gmail.com

Bondarenko Vladimir Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Chair of Environmental Engineering, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: +7 928 192 33 96.

E-mail: gavrilyuksergey@gmail.com

Гаврилюк Сергей Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 26-65-00.

E-mail: gavrilyuksergey@gmail.com

Gavrilyuk Sergey Mikhaylovich – Senior Researcher, Senior Researcher, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 (8635) 26-65-00.

E-mail: gavrilyuksergey@gmail.com