

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 539.3

*ВЛАСОВ ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ, докт. физ.-мат. наук, профессор,  
rector@tsuab.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,*

*КАРПОВ АНАТОЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, президент,  
ex@expert-center.ru*

*Российский экологический фонд «ТЕХЭКО»,  
119034, г. Москва, ул. Пречистенка, 10, стр. 3,*

*КОПАНИЦА ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
kopanitsa@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,*

*ЛАСКОВЕНКО АНДРЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ, председатель  
Попечительского совета,*

*ex@expert-center.ru*

*ЛАСКОВЕНКО ГЕОРГИЙ АНДРЕЕВИЧ, генеральный директор,*

*ex@expert-center.ru*

*Российский экологический фонд «ТЕХЭКО»,  
119034, г. Москва, ул. Пречистенка, 10, стр. 3*

## **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ И ССОРУЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО МЕТОДА**

В статье обсуждается возможность применения процессного метода для анализа жизненного цикла особо опасных объектов, включая проектирование, строительство, нормативно-техническое сопровождение и эксплуатацию. Разработка и реализация модели жизненного цикла предприятия на основе процессного подхода дают возможность не только повысить безопасность эксплуатации, но и предусмотреть возможные аварийные ситуации и своевременно повлиять на решения, направленные на предотвращение аварий. Обращается внимание на то, что анализ работы предприятия дает возможность выделения наиболее опасных процессов, требующих детального изучения на основе дополнительно проведенных экспериментальных и численных исследований. Обсуждаются вопросы безопасной эксплуатации энергетических объектов и возможность реализации проектных решений для обеспечения штатной работы агрегатов, являющихся источником опасности и принятия решений, направленных на предотвращение возможных аварий.

**Ключевые слова:** процессный метод; жизненный цикл; особо опасный объект; переходный процесс; авария; безопасность; эксплуатация.

*VIKTOR A. VLASOV, DSc, Professor,*

*rector@tsuab.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,*

*2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,*

*ANATOLII E. KARPOV, President,*

*ex@expert-center.ru*

*Russian Ecological Fund 'TEKHEKO',*

*10, Prechistenka Str., Bldg. 3, 119034, Moscow, Russia,*

*DMITRII G. KOPANITSA, DSc, Professor,*

*kopanitsa@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,*

*2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,*

*ANDREI G. LASKOVENKO, Chairperson, Board of Regents,*

*ex@expert-center.ru*

*GEORGII A. LASKOVENKO, Director General,*

*ex@expert-center.ru*

*Russian Ecological Fund 'TEKHEKO',*

*10, Prechistenka Str., Bldg. 3, 119034, Moscow, Russia*

## **MODELING OF BUILDING LIFECYCLE BASED ON THE PROCESS APPROACH**

The paper discusses the application of the process approach for the lifecycle analysis of highly dangerous facilities including design, building, normative-technical support and operation. Design and development of the lifecycle model based on the process approach allow not only to increase the operation safety but also foresee emergency situations and timely correct the decisions oriented to their prevention. The analysis of the enterprise operation highlights the most critical processes, which require detailed studying based on the additional experimental and calculation research. The discussed problems of safe operation of energy objects and a possibility of implementing design solutions must prevent emergency situations and provide normal operation of machines.

**Keywords:** process approach; lifecycle; dangerous facility; transitional process; accident; safety; operation.

Моделирование работы зданий и сооружений повышенной ответственности для мониторинга технического состояния, эксплуатационной пригодности и разработки программ с целью предотвращения техногенных разрушений дает возможность установления причинно-следственных связей между этапами жизненного цикла предприятия, включая проектирование, строительство, нормативно-техническое сопровождение и эксплуатацию. Основой для моделирования жизненного цикла может служить процессная модель, представляющая собой взаимоувязанную интегрированную совокупность функциональной, поведенческой, информационной и организационной перспектив деятельности исследуемого объекта.

Рост уровня и сложности технологических процессов, включающих новые ответственные функции, и ускорение динамики изменения условий функционирования требуют создания новых подходов к их проектированию, разработке и внедрению. Особую проблему представляет разработка интеллектуальных информационных систем, к которым можно отнести системы, создаваемые для поддержки принятия решения при анализе многофакторных технических проблем, возникающих на различных этапах жизненного цикла.

Методы и модели, разрабатываемые в данном направлении, используются на этапах анализа предметной области и синтеза структуры систем для формирования целей и постановки задач, разработки вариантов достижения целей, а также проектирования структуры и состава требуемых видов системного обеспечения (организационного, информационного, программного, правового и т. д.).

Особый интерес представляют математические модели и расчетные комплексы, позволяющие не только рационально распределить риски при проектировании объекта, но и обладающие потенциалом анализа возможных нарушений технологического процесса, способного привести к необратимым последствиям, включая аварии и разрушения.

Возможность предотвращения аварийных ситуаций при эксплуатации особо опасных объектов весьма привлекательна и дает основание для оптимистичных прогнозов эксплуатации и реализации жизненного цикла особо опасных объектов. Принятие технологических решений на стадии проектирования оборудования и конструктивных систем предполагает анализ возможных рисков и выделение наиболее опасных с точки зрения аварийности процессов, способных повлиять на безопасность эксплуатации объекта.

Выделенное таким образом направление исследования требует разработки дополнительных программ по экспериментальному и теоретическому моделированию поведения агрегатов оборудования и воспринимающих аварийные нагрузки конструкций. Принятые для обоснования проектных решений результаты проведенных исследований могут служить основой для дополнений или изменений в ранее разработанных типах конструкций и вызвать необходимость внесения изменений организационного, информационного и правового обеспечения, определяющим образом влияющих на безаварийную работу предприятия.

Основываясь на процессном подходе анализа жизненного цикла объекта, можно не только повысить безопасность эксплуатации, но и предусмотреть возможные аварийные ситуации и своевременно повлиять на решения, направленные на предотвращение аварий.

Графическая интерпретация жизненного цикла ГЭС рассмотрена в работе [1]. Рассматривая вопросы безотказной работы энергетических предприятий, отметим, что решающее влияние на надежность и безопасность конструкций и режимов работы ГЭС и ГАЭС оказывают гидромеханические переходные процессы. Правильная их оценка на стадии проектирования позволяет определить максимально возможные нагрузки и обеспечить работоспособность и надежность сооружений водопроводящего тракта и основного гидросилового оборудования в любых ситуациях, которые могут возник-

нуть в процессе эксплуатации. Практика показывает, что единственным надежным средством для решения этой задачи является использование математических моделей, описывающих работу проектируемой станции.

Выполнение экспериментальных и расчетных исследований позволяет обосновать причину выхода из строя элементов конструкций или агрегатов, на основе чего определяются предельные состояния, при которых дальнейшее функционирование рассматриваемых объектов становится опасным или недопустимым. Эти предельные состояния формулируются из анализа реальных условий работы конструкций и характера их возможного разрушения, в основе которого лежат результаты выполненных исследований закономерностей деформирования, накопления повреждений и разрушений с учетом показателей ресурса прочности.

Разрабатываемые имитационные модели гидроэлектростанций позволяют учитывать в комплексе работу в переходных процессах гидравлической, гидромеханической систем ГЭС/ГАЭС, систем автоматического регулирования агрегатного и станционного уровней при регулировании гидроагрегатов, а также возмущающих воздействий в виде вынужденных колебаний расхода и давления в проточном тракте турбин [2, 3].

Комплексные исследования технического состояния и эксплуатационной пригодности сложных технических сооружений, таких как ГЭС, включают техническую экспертизу гидроагрегатов и анализ нормативных документов, призванных обеспечить их безотказную работу; исследования гидромеханических переходных процессов с разработкой имитационных математических моделей работы гидроэлектростанций в переходных процессах, позволяющих определять максимальные нагрузки на облицовку водоводов и агрегатные блоки с учетом совместного влияния процессов регулирования турбин и периодических возмущающих воздействий; гармонический анализ динамических систем водовод – турбина – отсасывающая труба с учетом волновых процессов, характеристик гидротурбин, параметров возмущающих воздействий, позволяющий выполнить отстройку от возможных резонансов.

Анализ работы энергетического комплекса, включая переходные процессы на различных стадиях реализации проекта (проектирование, пусконаладочные работы, эксплуатация, реконструкция и модернизация, нештатные ситуации), обеспечивает безопасность режимов работы ГЭС и ГАЭС, способствуя выявлению на стадии принятия решений наиболее опасных режимов и предотвращению возможности их возникновения [4, 5].

Инженерные методы анализа конструкций и агрегатов описываются для каждого этапа жизненного цикла ГЭС. Процессный метод дает возможность описания последовательности и взаимосвязи между технологическими этапами и обеспечивает описание и управление жизненным циклом ГЭС.

Выполнение экспериментальных и расчетных исследований позволяет обосновать причину выхода из строя агрегатов или элементов конструкций. На основе полученных результатов определяются предельные состояния, при которых дальнейшее функционирование рассматриваемых объектов становится опасным или недопустимым. Эти предельные состояния формулируются из анализа

реальных условий работы конструкций и закономерностей деформирования, накопления повреждений и разрушений с учетом остаточного ресурса [3, 6].

В соответствии с концепцией процессного подхода деятельность организации рассматривается как набор взаимодействующих бизнес-процессов, являющихся по определению стандарта ISO 9001 совокупностью взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы [7]. Типовая модель процессов в нотации IDEF0 [8] применительно к анализу жизненного цикла ГЭС приведена в работе [1].

Использование процессного подхода позволило определить основные причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.). В ходе исследования рассмотрены принятые проектные решения и возможное их влияние на поведение второго гидроагрегата в процессе эксплуатации. Проведен анализ процесса эксплуатации и исполнения должностными лицами обязанностей в соответствии с правилами технической эксплуатации. Выявлены технические аспекты аварии [9], и определены материальные ущербы. Определены экологические последствия аварии и предполагаемые затраты на восстановление эксплуатационной пригодности электростанции.

Анализ жизненного цикла зданий и сооружений повышенной ответственности на основе процессного подхода и комплекса методов, описывающих технологический процесс, является эффективным инструментом по выполнению и реализации проектных решений и обеспечению штатной работы агрегатов и механизмов, являющихся источником опасности. Модель жизненного цикла, разработанная на основе процессного подхода, обеспечивает возможность не только охарактеризовать процесс проектирования и эксплуатации особо опасных объектов, но и предусмотреть причины возникновения аварийной ситуации. Это дает возможность разработать программы, направленные на обеспечение надежной и безаварийной работы предприятия и предусмотреть своевременные мероприятия по восстановлению эксплуатационной пригодности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Процессный метод анализа жизненного цикла гидроэлектростанции* / В.А. Власов, А.Е. Карпов, Г.Д. Копаница, Д.Г. Копаница, А.Г. Ласковенко, Г.А. Ласковенко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 3 (56). – С. 82–94.
2. *Берлин, В.В.* Динамические характеристики ортогональной гидротурбины и системы регулирования мощности ПЭС с высоковольтным преобразователем частоты / В.В. Берлин, О.А. Муравьев, А.В. Голубев // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 10. – С. 37–44.
3. *Берлин, В.В.* Исследование резонансных явлений в напорных водоводах и отсасывающих трубах ГЭС / В.В. Берлин, О.А. Муравьев // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 7. – С. 46–58.
4. *Niu, S.* An options pricing approach to ramping rate restrictions at hydro power plants / S. Niu, M. Insley // Journal of Economic Dynamics and Control. – 2016. № 63. – P. 25–52.
5. *Saket, R.K.* Design aspects and probabilistic approach for generation reliability evaluation of MWW based micro-hydro power plant / R.K. Saket // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – № 28. – P. 917–929.

6. Berlin, V.V. Load drops at high-head pumped-storage power plants with branched conduits / V.V. Berlin, O.A. Murav'ev // *Power Technology And Engineering*. – 2014. – Т. 48. – № 1. – P. 23–28.
7. *ISO 9001:2008 explained* / Cianfrani C.A., Tsiakals J.J., West J. – 3rd edn. – Milwaukee, Wis. : ASQ Quality Press, 2009.
8. *Berman, J. Maximizing project value: defining, managing, and measuring for optimal return* / J. Berman. – New York : Amacom, American Management Association, 2007.
9. Берлин, В.В. Технические аспекты аварии на втором агрегате Саяно-Шушенской ГЭС / В.В. Берлин, О.А. Муравьев // *Гидротехническое строительство*. – 2010. – № 5. – С. 25–32.

## REFERENCES

1. Vlasov V.A., Karpov A.E., Kopanitsa G.D., Kopanitsa D.G., Laskovenko A.G., Laskovenko G.A. Protsessnyi metod analiza zhiznennogo tsikla gidroelektrostantsii [Process analysis of hydro electric plant lifecycle]. *Vestnik TSUAB*. 2016. No. 3 (56). Pp. 82–94. (rus)
2. Berlin V.V., Murav'ev O.A., Golubev A.V. Dinamicheskie kharakteristiki ortogonal'noi gidroturbiny i sistemy regulirovaniya moshchnosti PES s vysokovol'tnym preobrazovatelem chastoty [Dynamic properties of orthogonal hydraulic turbine and power control systems with high-voltage converter]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 10. Pp. 37–44. (rus)
3. Berlin V.V., Murav'ev O.A. Issledovanie rezonansnykh yavlenii v napornykh vodovodakh i otsasyvayushchikh trubakh GES [Resonance phenomena in pressure conduits and draft tubes]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 7. Pp. 46–58. (rus)
4. Niu S., Insley M. An options pricing approach to ramping rate restrictions at hydro power plants. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2016. No. 63. Pp. 25–52.
5. Saket R.K. Design aspects and probabilistic approach for generation reliability evaluation of MWW based micro-hydro power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. No. 28. Pp. 917–929.
6. Berlin, V.V., Murav'ev O.A. Load drops at high-head pumped-storage power plants with branched conduits. *Power Technology and Engineering*. 2014. V. 48. No. 1. Pp. 23–28.
7. Cianfrani C.A., Tsiakals J.J., West J. *ISO 9001:2008 explained*. 3rd edn. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, 2009.
8. *Berman J. Maximizing project value: defining, managing, and measuring for optimal return*. New York: Amacom, American Management Association, 2007.
9. Berlin V.V., Murav'ev O.A. Tekhnicheskie aspekty аварии na vtorom agregate Sayano-Shushenskoï GES [Technical aspects of accident on the second aggregate of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 5. Pp. 25–32. (rus)