

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

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 ГЕОРГИЙ ДМИТРИЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
georgy.kopanitsa@gmail.com*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*

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

*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*

ПРОЦЕССНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В статье описан жизненный цикл гидроэлектростанции на основе процессного подхода. Выполнен анализ основных процессов, взаимосвязь между ними и документов, регламентирующих работу на каждом этапе процессов. На основе методологии IDEF0 разработана модель процессов жизненного цикла. Проанализирована взаимосвязь процессов в разрезе комплексного исследования технического состояния и эксплуатационной пригодности гидроэлектростанции. Сделан вывод об эффективности процессного подхода для управления жизненным циклом гидроэлектростанции.

© Власов В.А., Карпов А.Е., Копаница Г.Д., Копаница Д.Г., Ласковенко А.Г.,
Ласковенко Г.А., 2016

Ключевые слова: гидроэлектростанция; жизненный цикл; процессный подход; IDEF0; процессная модель.

*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,*

*GEORGII D. KOPANITSA, PhD, A/Professor,
georgy.kopanitsa@gmail.com*

*National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia,*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, 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*

PROCESS ANALYS OF HYDRO-POWER PLANT LIFECYCLE

The paper presents the description of the hydro-power plant lifecycle based on the process analysis. The basic processes, interaction between them and regulatory documents on the operation conditions are described herein. The process model is developed for the hydro-power plant lifecycle using the IDEF0 methodology. The processes analysis is given to the mechanical conditions and serviceability of the hydro-power plant. The efficiency of the process analysis is shown for the lifecycle control.

Keywords: hydro-power plant; lifecycle; process analysis; IDEF0; process model.

Моделирование работы особо ответственных сооружений для мониторинга технического состояния, эксплуатационной пригодности и разработки программ по предотвращению техногенных разрушений дает возможность установления причинно-следственных связей между всеми этапами жизненного цикла, включая инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию, капитальный ремонт и снос здания или сооружения.

Комплексные исследования технического состояния и эксплуатационной пригодности сложных технических сооружений, таких как гидроэлектростанции (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.

Исследования переходных режимов ГЭС, ГАЭС и насосных станций АЭС являются неотъемлемой частью проектов новых, модернизируемых и реконструируемых объектов. Обеспечиваются широкие возможности по анализу ситуаций, учитываемых при проектировании и возникающих при эксплуатации как в штатном, так и в аварийном режимах.

Использование методов моделирования и анализа работы энергетического комплекса, включая переходные процессы на различных стадиях реализации проекта (проектирование, пусконаладочные работы, эксплуатация, реконструкция и модернизация, нештатные ситуации), необходимо для обеспечения безопасности режимов работы ГЭС и ГАЭС с возможностью выявления на стадии принятия решений наиболее опасных режимов и предотвращения возможности их возникновения на основе выполненных экспериментальных и расчетных исследований [1, 2].

Основой для моделирования жизненного цикла может служить процессная модель, представляющая собой взаимоувязанную интегрированную совокупность функциональной, поведенческой, информационной и организационной перспектив деятельности автоматизируемого объекта.

Инженерные методы анализа конструкций и агрегатов описываются для каждого этапа жизненного цикла ГЭС. Для описания последовательности и взаимосвязи между этапами предлагается процессный подход к описанию и управлению жизненным циклом ГЭС.

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 разрушения, в основе которого лежат результаты выполненных экспериментальных и расчетных исследований закономерностей деформирования, накопления повреждений и разрушений с учетом параметров прочности и ресурса [3, 4].

В соответствии с процессным подходом деятельность организации рассматривается как набор взаимодействующих бизнес-процессов. По определению стандарта ISO 9001: «Процесс – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, которые преобразуют входы в выходы» [5]. Деятельность по выполнению функций является процессом, позволяющим увидеть взаимосвязь и взаимозависимость функций управления.

Типовая модель бизнес-процессов в нотации IDEF0 [6] представлена на рис. 1. Деятельность организации рассматривается согласно РД IDEF 0–2000, утвержденному Госстандартом России.

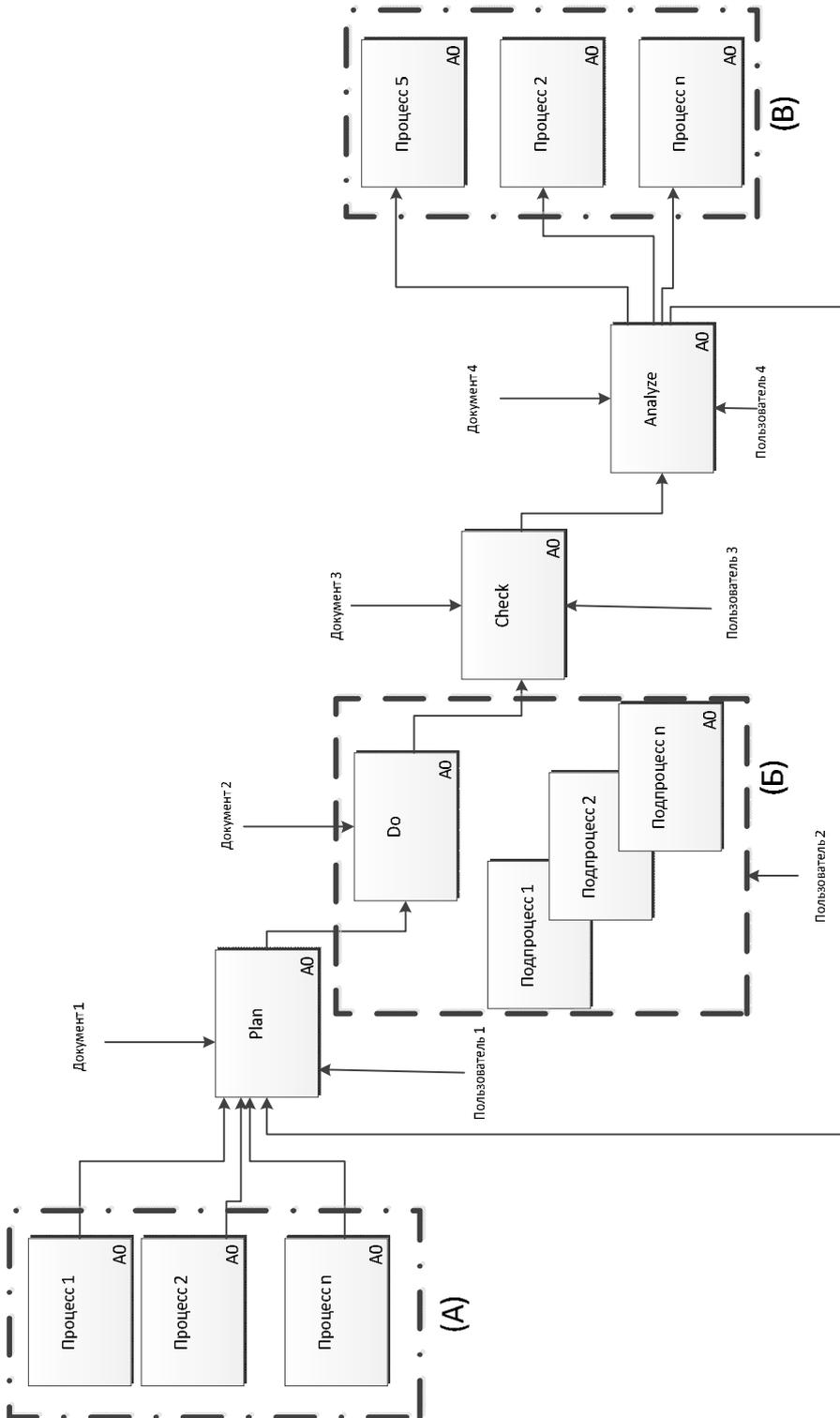


Рис. 1. Типовая модель бизнес-процессов

В настоящей статье рассматривается метод анализа жизненного цикла ГЭС на основе процессного подхода. На основе методологии IDEF0 рассмотрена типовая процессная модель, содержащая основные этапы эксплуатации ГЭС.

Под процессной моделью гидроэлектростанции понимается взаимоувязанная интегрированная совокупность функциональной, поведенческой, информационной и организационной перспектив на организацию деятельности автоматизируемого объекта предметной области.

Обозначим множество процессов для описания систем и их компонент через $P = \{p_i\}$. Все множество процессов может быть разбито на подмножества процессов, относящихся к одной предметной области.

Каждый процесс представляет собой кортеж

$$p_i = \langle n(p_i), F(p_i), A(p_i), R(p_i), M(p_i) \rangle,$$

где $n(p_i)$ – имя процесса; $F(p_i)$ – множество функциональных блоков процесса; $A(p_i)$ – множество акторов процесса; $R(p_i)$ – множество регламентирующих документов процесса; $M(p_i)$ – множество соединений блоков процесса.

Имя процесса должно быть уникально, т. е.

$$\forall p_i, p_j \in P \quad n(p_i) \neq n(p_j).$$

Каждый из функциональных блоков задается вектором

$$f_m = \langle n(a_m), D(a_m) \rangle,$$

где $n(a_m)$ – имя блока; $D(a_m)$ – уровень блока ($\langle A0 \rangle, \langle A1.1 \rangle, \langle A2.4 \rangle, \dots$).

После присваивания блоку имени к соответствующим его сторонам присоединяются входные, выходные соединения, управляющие воздействия, а также акторы.

Для построения процессной модели используется методология IDEF0. С помощью наглядного графического языка IDEF0 изучаемая система декомпозируется в набор взаимосвязанных функций.

Модель жизненного цикла была разработана на основе анализа регламентирующих документов, опыта эксплуатации и исследований причин аварии Саяно-Шушенской ГЭС [7].

Уровень A1 процессной модели соответствует классическому жизненному циклу промышленного предприятия и состоит из следующих процессов (рис. 2):

1. Планирование и проектирование.
2. Строительство.
3. Ввод в эксплуатацию.
4. Эксплуатация станции.
5. Ремонт и модернизация.
6. Вывод из эксплуатации.

В случае возникновения аварийной ситуации для описания процесса управления необходима декомпозиция процессов жизненного цикла до уровня, на котором можно отследить формирование внутренних регламентирующих документов и документов, являющихся поставщиками данных для процесса управления аварийной ситуацией.

A0.1. Планирование и проектирование

Модель процесса «Планирование и проектирование» представлена на рис. 3.

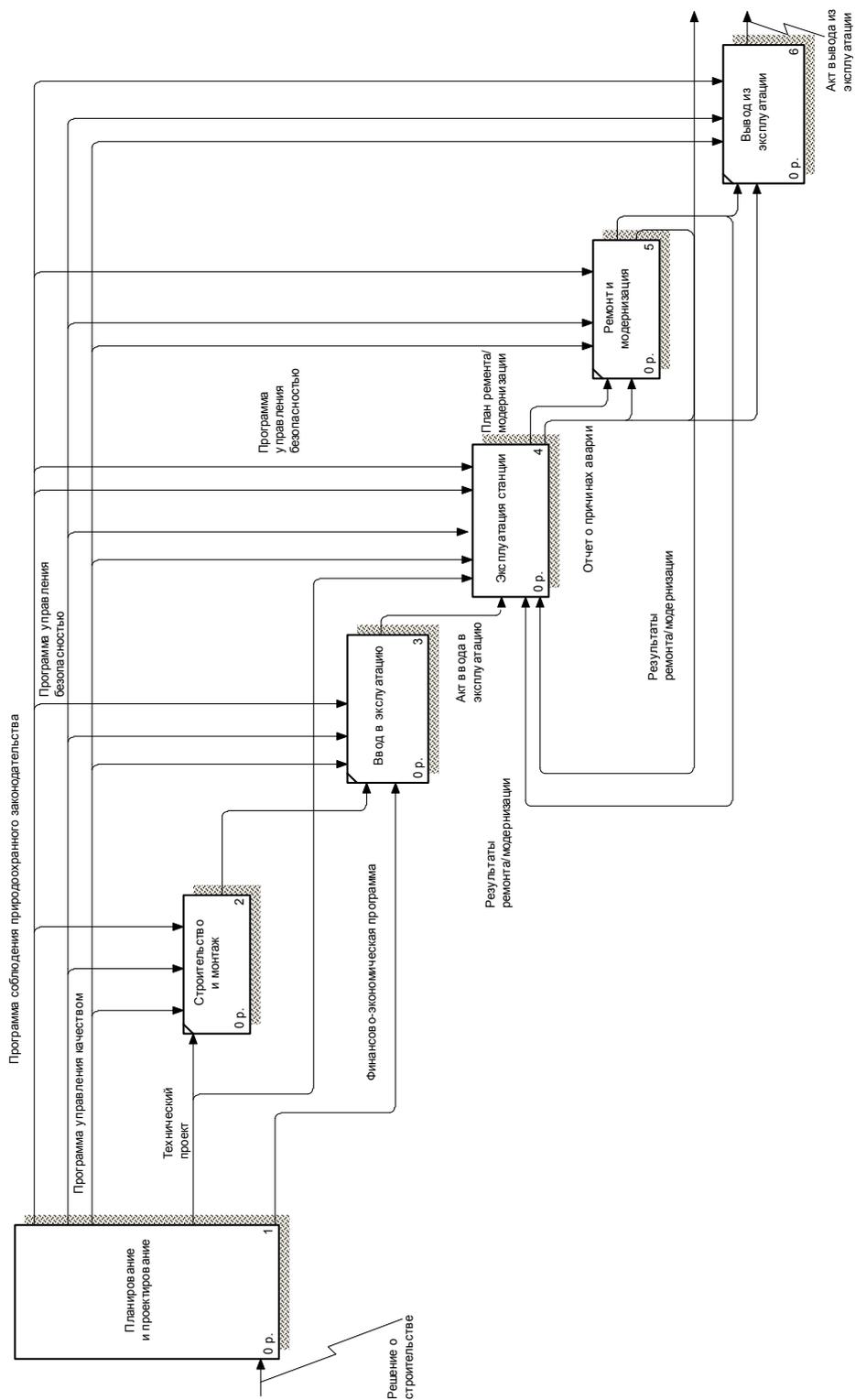


Рис. 2. Основные процессы жизненного цикла ГЭС

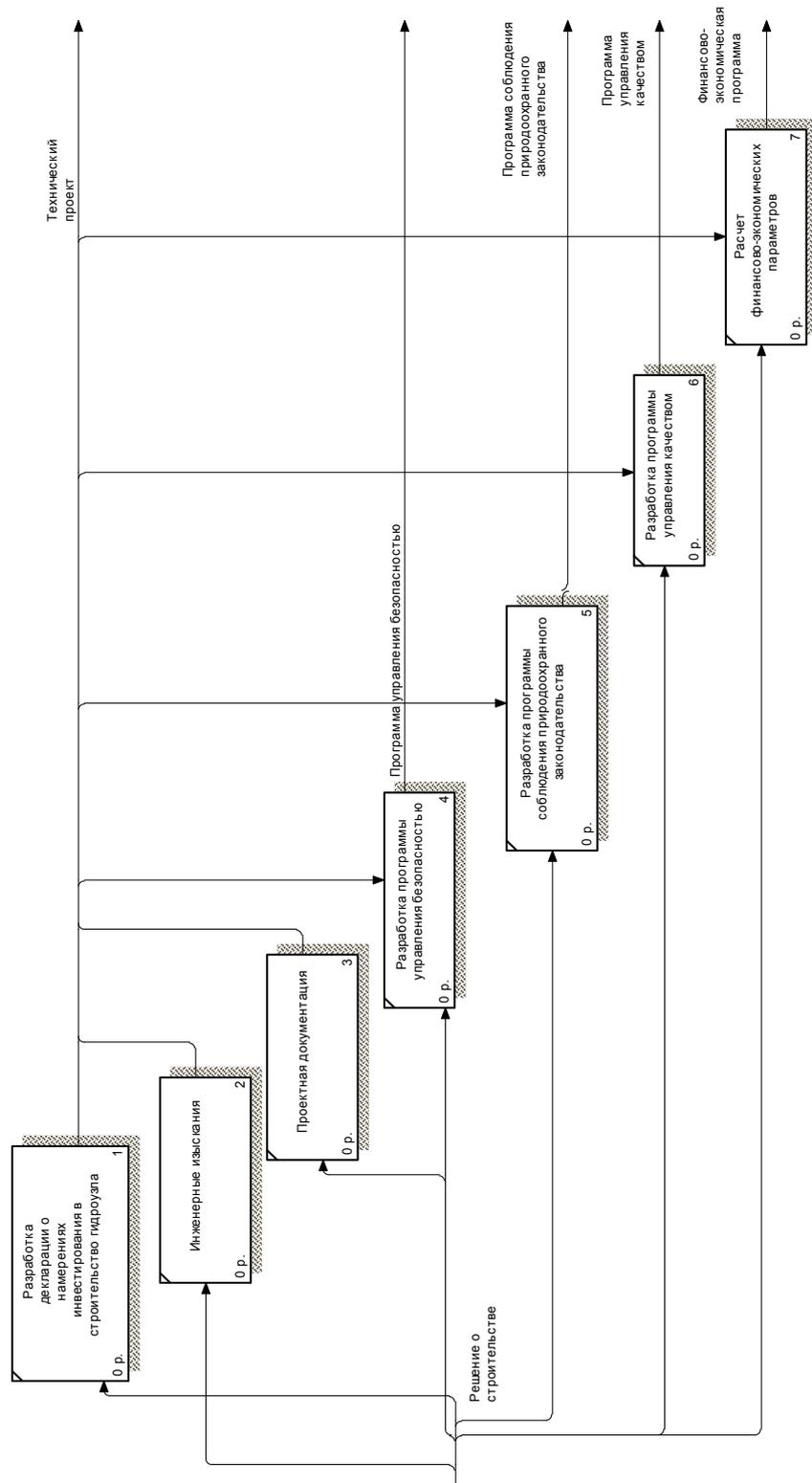


Рис. 3. Процесс планирования и проектирования

А0.1.1. Разработка ходатайства (декларации) о намерениях инвестирования в строительство гидроузла (Типовое положение по разработке и составу ходатайства (декларации) о намерениях инвестирования в строительство предприятий, зданий и сооружений. Письмо Минстроя РФ от 17.03.97 № 9-4/29).

А0.1.2. Инженерные изыскания (ПП РФ № 145 от 05.03.2007; СП 47.13330.2012; СТО 17330282.27.140.011–2008; ВСН 34.2–88) включают:

А0.1.2.1. Инженерно-геодезические изыскания.

А0.1.2.2. Инженерно-геологические изыскания.

А0.1.2.3. Инженерно-гидрометеорологические изыскания.

А0.1.2.4. Инженерно-экологические изыскания.

А0.1.2.5. Государственную экспертизу результатов инженерных изысканий.

А0.1.3. Проектная документация (№ 117-ФЗ от 21.07.1997; ПП РФ № 145 от 05.03.2007; СП 58.13330.2012; СТО 17330282.27.140.011–2008; СТО 17330282.27.140.002–2008) включает:

А0.1.3.1. Разработку проектной документации.

А0.1.3.2. Государственную экспертизу проектной документации.

А0.1.3.3. Утверждение проектной документации.

А.0.1.4. Разработку программы управления безопасностью.

А.0.1.5. Разработку программы соблюдения природоохранного законодательства.

А.0.1.5.1. План мероприятий для соответствия регламентирующим документам.

А.0.1.6. Разработку программы управления качеством.

А.0.1.6.1. Стратегию развития.

А.0.1.6.2. План управления текущей деятельностью.

А.0.1.6.2.1. Управление ресурсами и активами.

А.0.1.7. Расчет и планирование финансово-экономических показателей.

А0.2. Строительство и монтаж оборудования (Градостроительный кодекс Российской Федерации (№ 190-ФЗ от 29.12.2004); СП 48.13330.2011; СТО 17330282.27.140.011–2008) включает:

А0.2.1. Строительство.

А0.2.1.1. Строительство гидротехнических сооружений (СТО 17330282.27.140.002–2008; СТО 70238424.27.140.046–2009).

А0.2.2. Монтаж технологического оборудования включает:

А0.2.2.1. Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС (СТО 17330282.27.140.013–2008).

А0.2.2.2. Гидротурбинные установки (СТО 17330282.27.140.018–2008).

А0.2.2.3. Гидрогенераторы (СТО 17330282.27.140.019–2008).

А0.2.2.4. Технические системы гидроэлектростанций (СТО 17330282.27.140.014–2008).

А0.2.2.5. Системы питания собственных нужд ГЭС (СТО 17330282.27.140.020–2008).

А0.2.2.6. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС (СТО 70238424.27.140.010–2010).

А0.2.2.7. Пуско-наладочные работы.

Перечень регламентирующих документов и исполнителей.

А0.3. Ввод в эксплуатацию (Градостроительный кодекс Российской Федерации (№ 190-ФЗ); СТО 17330282.27.140.011–2008). На этапе ввода в эксплуатацию производится контроль произведенных на этапе **А0.2 Строительство и монтаж оборудования**, а именно:

А0.3.1. Натурные испытания гидротурбинных установок (СТО 17330282.27.140.005–2008).

А0.3.2. Ввод в эксплуатацию оборудования, технических и автоматизированных систем (СТО 70238424.27.140.041–2010).

А0.3.3. Ввод в эксплуатацию полностью законченных строительством объектов и пусковых комплексов (СТО 70238424.27.140.045–2010).

Декомпозиция процессов жизненного цикла позволила выделить подпроцессы и функциональные блоки, составляющие процесс управления аварийной ситуацией.

Основные регламентирующие документы производятся в процессе **А0.1. Планирование и проектирование**. Валидация этих документов и первая проверка соответствия системы менеджмента и инженерных систем станции нормативным документам производятся в процессе **А0.3. Ввод в эксплуатацию**. Этот процесс формирует первый массив объективных данных о состоянии станции, которые в дальнейшем могут быть подвергнуты анализу на этапе **А0.4.4. Управление аварийной ситуацией**.

Основным поставщиком данных является процесс **А0.4. Эксплуатация** (Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»; Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»; Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»; Декларация промышленной безопасности; Декларация безопасности гидротехнических сооружений).

В рамках данного процесса формируются первичные данные о работе станции, которые формируются в подпроцессах:

А0.4.1. Производство электроэнергии:

А0.4.1.1. Организация эксплуатации и технического обслуживания гидротехнических сооружений, зданий ГЭС и ГАЭС (СТО 70238424.27.140.003–2010, СТО 17330282.27.140.016–2008, СТО 17330282.27.140.021–2008, СТО 70238424.27.140.026–2009, СТО 70238424.27.140.032–2009, СТО 70238424.27.140.035–2009).

А0.4.1.2. Организация эксплуатации и технического обслуживания оборудования и систем (СТО 70238424.27.140.006–2010, СТО 70238424.27.140.023–2010, СТО 70238424.27.140.034–2009, СТО 70238424.27.140.039–2009, СТО 17330282.27.140.005–2008, СТО 17330282.27.140.007–2008, СТО 17330282.27.140.008–2008, СТО 17330282.27.140.009–2008, СТО 17330282.27.140.017–2008).

А0.4.2. Контроль производства.

А0.4.3. Анализ производственной деятельности.

А0.4.4. Управление аварийной ситуацией.

А0.4.5. Реализация мероприятий, проводимых в случае возникновения аварийных ситуаций (рис. 4, 5).

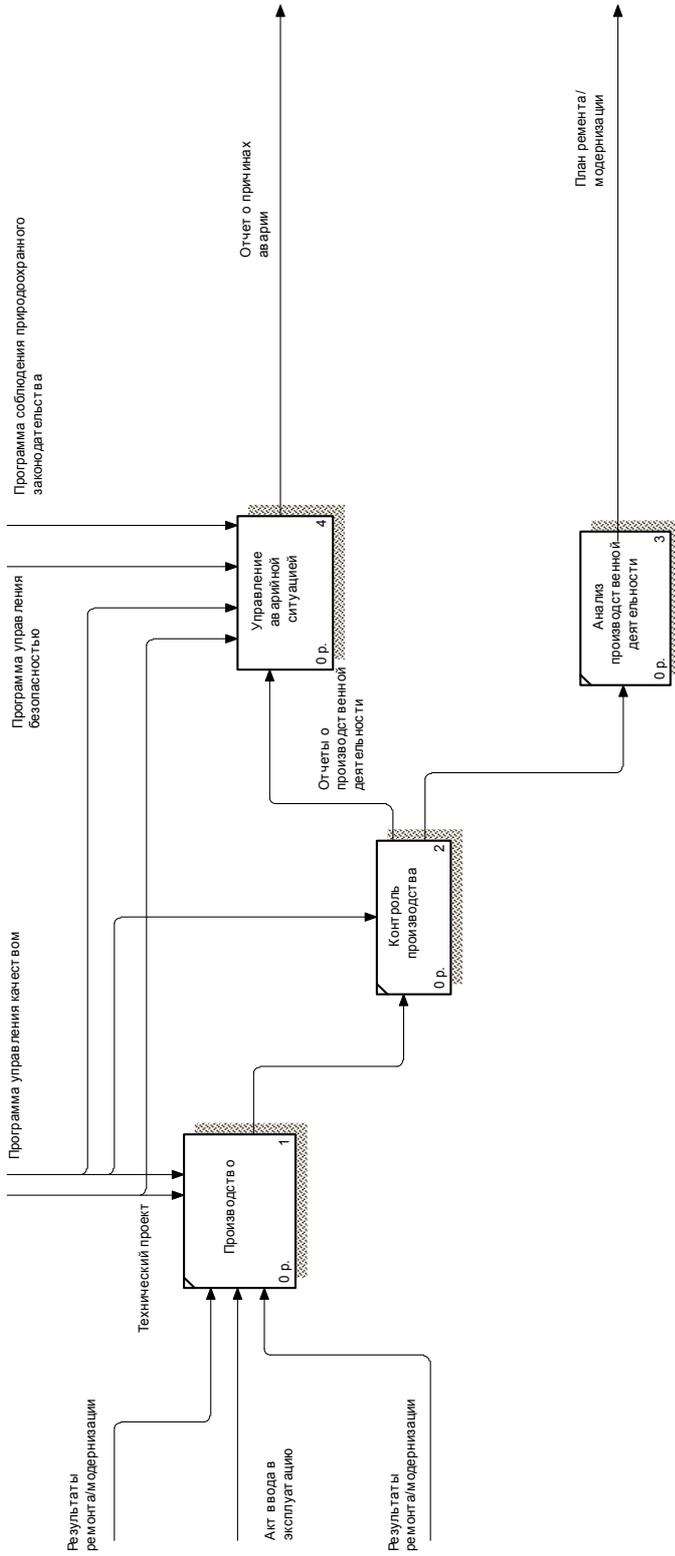


Рис. 4. Процесс «Эксплуатация»

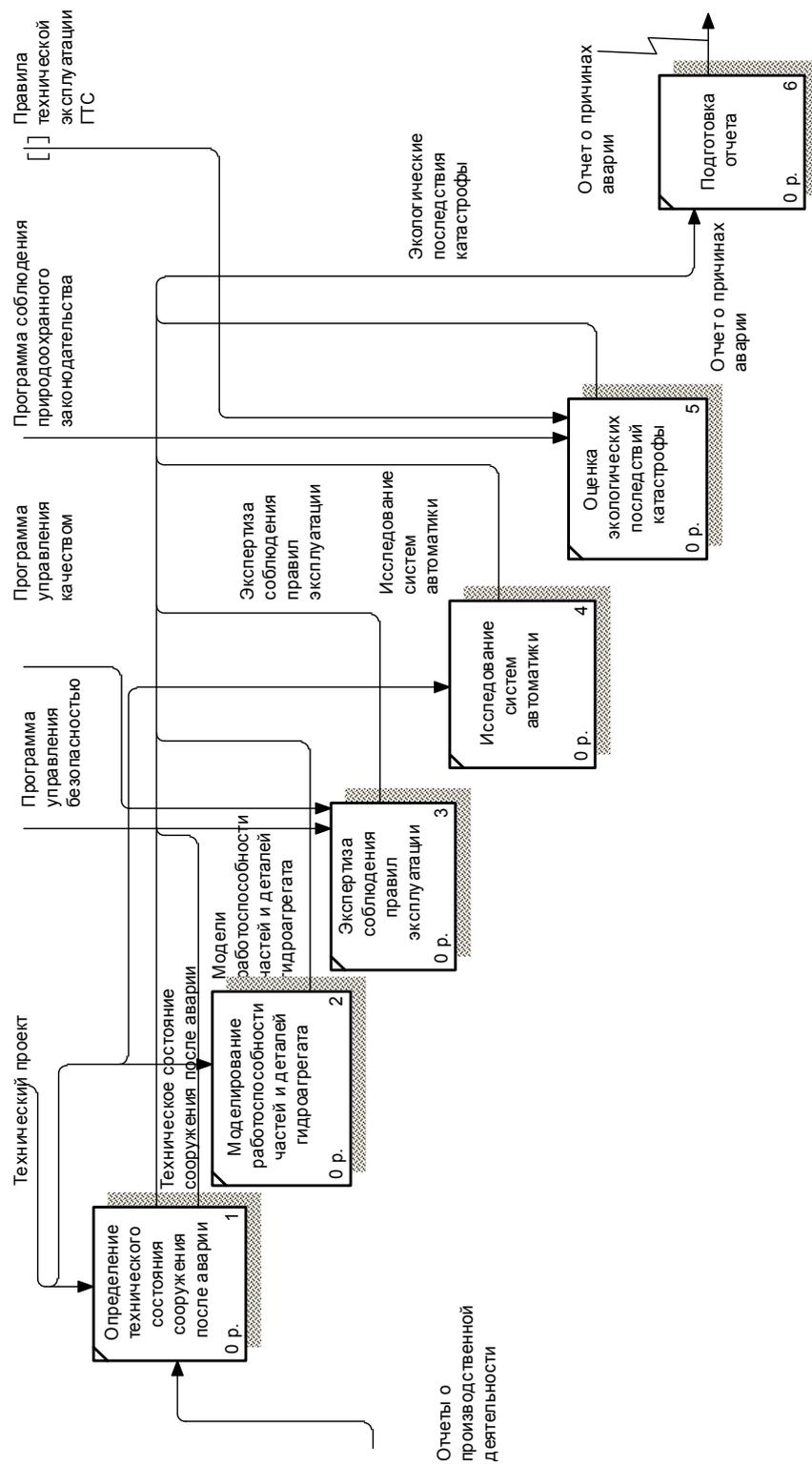


Рис. 5. Процесс управления аварийной ситуацией

В процессе **A0.1. Планирование и проектирование** разрабатывается документированная процедура процесса управления аварийной ситуацией, которая будет являться регламентирующим документом процесса управления аварийной ситуацией.

Под аварийной будем понимать состояние потенциально опасного объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации, не перешедшее в аварию, при котором все неблагоприятные влияния источников опасности на персонал, население и окружающую среду удерживаются в приемлемых пределах посредством соответствующих технических средств, предусмотренных проектом.

Авария – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Катастрофа – происшествие, возникшее в результате природной или техногенной чрезвычайной ситуации, повлекшее за собой гибель людей или какие-либо непоправимые последствия в истории того или иного объекта. Техногенная катастрофа – крупная авария на техногенном объекте, влекущая за собой массовую гибель людей и даже экологическую катастрофу.

Процесс **управления аварийной ситуацией** состоит из следующих функциональных блоков (рис. 5):

A0.4.4.1. Определение технического состояния сооружения после аварии.

A0.4.4.2. Моделирование работоспособности частей и деталей гидроагрегата.

A0.4.4.3. Экспертиза соблюдения правил эксплуатации.

A0.4.4.4. Исследование систем автоматики.

A0.4.4.5. Оценка экологических последствий аварии.

A0.4.4.6. Подготовка отчета.

В ходе исполнения процесса параллельно проводятся экспертизы и оценки причин аварии. Результатом процесса является отчет. Экспертизу выполняют независимые эксперты, назначенные ответственной государственной организацией.

Результаты процесса управления аварийной ситуацией являются входными данными для процессов **A0.5. Ремонт и модернизация** и **A0.6. Вывод из эксплуатации**.

Таким образом, процессная модель является эффективным инструментом по выполнению проектных решений и проведению мониторинга жизненного цикла особо ответственных сооружений. Использование процессной модели дает возможность не только охарактеризовать процесс эксплуатации конструкций и оборудования, но и предусмотреть причины возникновения и предотвратить возможность аварий, а также разработать программы и методы восстановления эксплуатационной пригодности поврежденных сооружений, сократить экономический и экологический ущерб, оптимизировать нормативное сопровождение для исключения причин возникновения возможных аварий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. – 63:25-52.
2. 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. – 28:917-929.
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. 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. – С. 23–28.
5. Cianfrani, C.A. ISO 9001:2008 explained. 3rd edn. Milwaukee / C.A. Cianfrani, J.J. Tsiakals, J. West. – Wis. : ASQ Quality Press, 2009.
6. Berman, J. Maximizing project value: defining, managing, and measuring for optimal return / J. Berman. – New York : Amacom, American Management Association, 2007.

REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. Berlin, V.V., Murav'ev O.A. Issledovanie rezonansnykh yavlenii v napornykh vodovodakh i otsasyvayushchikh trubakh GES [Resonance phenomena in water pressure mains and suction tubes of hydro electric plants]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 7. Pp. 46–58. (rus)
4. 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.
5. Cianfrani C.A., Tsiakals J.J. West J. ISO 9001:2008 explained. 3rd edn. Milwaukee, Wis. : ASQ Quality Press, 2009.
6. Berman J. Maximizing project value: defining, managing, and measuring for optimal return. New York : Amacom, American Management Association, 2007.