

АДАПТАЦИЯ ТИПОВОЙ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ РЕАКТОРОВ ТИПА БН

Ю.М.Волков*, А.И.Воропаев, С.Т.Лескин***

**Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

***ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И.Лейпунского, г. Обнинск*



В статье описывается адаптация типовой методики, используемой для анализа аварийных ситуаций на атомных станциях, для энергоблоков с реактором типа БН. Использование методики направлено на сведение к минимуму опасного радиационного воздействия на персонал станции, население и окружающую среду посредством специальных технических мер и организационных мероприятий.

Ключевые слова: авария, аварийная ситуация, методика, анализ, натрий, ЧС, БН, СЧСК, реактор, противоаварийные действия, рекомендации, АЭС, АС, атомная станция, выброс, радиоактивность.

Keywords: failure, emergency, technique, procedure, analysis, sodium, BN, reactor, recommendations, NPP, release, radioactivity

В серии изданий МАГАТЭ по безопасности опубликован ряд документов, связанных с обеспечением безопасности ядерных энергетических реакторов. В документе МАГАТЭ «Безопасность ядерных установок» [1] отмечается, что необходимо предусматривать применение определенных мер для обеспечения смягчения любых радиологических последствий. Эти меры включают в себя процедуры по управлению аварией на площадке атомной станции, меры, предпринимаемые за ее пределами для смягчения последствий облучения в случае выброса радиоактивных веществ. Основные рекомендации по привлечению аварийных служб и разработке плана аварийных мероприятий содержатся в публикации МАГАТЭ [2].

В существующей практике противоаварийного реагирования в нашей стране анализ аварийной ситуации, прогноз ее развития и выработка рекомендаций по управлению аварией, локализации, минимизации последствий, мерам защиты персонала и населения и восстановлению безопасного состояния энергоблока осуществляется в рамках функционирования системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (СЧСК), в которую входят аварийные центры (АЦ) АЭС, центры технической поддержки (ЦТП) организаций главных конструкторов, генеральных проектировщиков, научных руководителей АЭС, ведущих институтов, а также Кризисный центр (КЦ) концерна «Энергоатом».

Экспертные группы СЧСК, образуемые на период, необходимый для выработки противоаварийных рекомендаций, проводят анализ состояния критических фун-

кций безопасности, барьеров безопасности и обеспечивающих систем и по его результатам осуществляют диагностику аварийной ситуации, прогноз ее развития и последствий, а также оценивают работоспособность реакторной установки (РУ) и ее систем.

В ходе противоаварийного реагирования на основании оперативно получаемых данных по активности теплоносителя и активности выбросов через систему вентиляции, а также данных по текущей радиационной обстановке в помещениях энергоблока, на площадке АЭС и за ее пределами с учетом результатов анализа состояния реакторной установки проводятся анализ и прогноз радиационной обстановки, оценка источника выброса и вырабатываются краткосрочный и долгосрочный прогнозы радиационных последствий.

Особенность процесса принятия решений в ходе противоаварийного реагирования при радиационной аварии на АЭС состоит в том, что наиболее важной является начальная фаза аварии, которая может длиться более суток, до тех пор, пока не прекратится формирование выброса радиоактивности за пределы энергоблока. На этой фазе, располагая достоверной оценкой обстановки и выбирая адекватные корректирующие действия, можно минимизировать последствия аварии. Однако основная часть этой фазы проходит в условиях стресса, дефицита времени и противоречивости поступающих данных. Фазы аварии, следующие за начальной, проходят в условиях большей определенности, однако также требуют максимально возможной согласованности действий между всеми участниками СЧСК.

В этих условиях выработка рекомендаций по управлению аварией, защите персонала, населения и окружающей среды должна производиться максимально быстро и согласованно – с наибольшей эффективностью. Для достижения максимальной эффективности при выработке рекомендаций по противоаварийным действиям важно выполнение следующих требований:

- использование участниками СЧСК единого подхода при выполнении диагноза и прогноза функционирования реакторной установки и оценки радиологических последствий аварии;
- согласованность действий всех участников СЧСК, формализация, систематизация и регламентирование процессов взаимодействия, обмена информацией;
- автоматизация подготовки исходных данных (включая использование типовых аварийных сценариев и симптомно-ориентированных схем аварий) с возможностью контроля достоверности и уточнения результатов, а также наглядность (эффективная визуализация) получаемых результатов;
- выполнение оценок и расчетов, максимально учитывающих особенности реакторной установки.

В настоящее время для целей противоаварийного реагирования разработаны и используются общие для АЭС разных типов рекомендации по противоаварийному реагированию [1–6], методики анализа и прогноза развития аварийных ситуаций для реакторов типа ВВЭР, РБМК [7], но в то же время отсутствует комплексная методика диагноза и прогноза развития аварийных ситуаций, учитывающая особенности реакторов типа БН, объединившая бы в себе порядок и конкретную форму взаимодействия экспертных групп разного уровня, порядок и формы информационного обмена в процессе противоаварийного реагирования, с учетом специфики конкретной реакторной установки.

С учетом изложенных предпосылок силами специалистов Центра технической поддержки (ЦТП) в ГНЦ РФ-ФЭИ была выполнена разработка программно-технического комплекса поддержки противоаварийного реагирования при авариях на АЭС с реактором типа БН. В рамках данных работ была произведена адаптация типовой методики анализа аварийной ситуации на АЭС с учетом особенностей

конструкции реакторной установки и натриевой технологии. Работы осуществлялись специалистами ЦТП ГНЦ РФ-ФЗИ совместно с сотрудниками кафедры «Оборудование и эксплуатация ЯЭУ» Обнинского государственного технического университета с учетом требований основных руководящих и нормативных документов в области противоаварийного реагирования, в частности [3 – 6], и особенностей реакторной установки БН-600.

За основу данной методики были приняты метод анализа ситуации и порядок организации работ при проведении диагноза и прогноза функционирования реакторной установки, состояния окружающей среды в чрезвычайной ситуации, рекомендованные типовым аварийным планом [6].

Адаптированная методика должна упорядочить взаимодействие экспертов кризисных групп разного уровня реагирования (аварийный центр АЭС, КЦ концерна «Энергоатом», ЦТП организаций) при проведении анализа и прогноза в случае аварии на АЭС с реактором БН-600. Методика определяет задачи, организацию, состав привлекаемых сил и средств, порядок работы кризисных экспертных групп и их взаимодействие.

Методику рекомендуется использовать для

- проведения анализа и оценки состояния РУ, барьеров безопасности, степени повреждения основного технологического оборудования;
- оценки радиоактивных выбросов, прогнозирования ожидаемых путей протекания аварии и предполагаемых последствий;
- выработки рекомендаций по управлению аварией, локализации и минимизации ее последствий;
- разработки мер по защите персонала, населения, окружающей среды и действий по восстановлению безопасного состояния энергоблока.

Адаптация типовой методики [6] производилась в части, содержащей рекомендации по организации диагноза и прогноза функционирования реакторной установки и состояния окружающей среды при чрезвычайной ситуации, перечень барьеров безопасности и критических функций безопасности РУ с реактором БН-600, принципиальные логические схемы диагноза и прогноза для реакторной установки БН-600, а также форму обмена информационными сообщениями для кризисных экспертных групп.

При адаптации описываемой методики анализа аварийных ситуаций использовалась французская методология «3D/3P» (тройной диагноз – тройной прогноз), первым этапом которой является процесс анализа, при котором по имеющимся в распоряжении кризисных экспертных групп разных уровней реагирования данным мониторинга аварийного блока проводится анализ ситуации:

- состояние топлива и барьеров безопасности;
- состояние систем безопасности и сопряженных с ними систем;
- количество радиоактивности, выброшенной в окружающую среду, и возможные радиологические последствия.

На втором этапе производится прогнозирование развития ситуации по тем же трем группам показателей исходя из состояния реакторной установки на момент составления прогноза с учетом

- действий операторов в соответствии с предписаниями регламента и инструкций;
- работоспособности систем или возможности восстановления работоспособности;
- предполагаемого развития событий и расчетных оценок изменения параметров, характеризующих новое состояние реакторной установки.

В результате прогнозирования определяются новое состояние барьеров безопасности и новые возможные каналы выброса радиоактивности.

Для выполнения описанных процессов анализа и прогноза эксперты используют свои знания и опыт, имеющиеся в их распоряжении базы данных и архивы, в том числе по анализу аварий, а также программные средства для моделирования аварийных процессов и прогноза последствий. Кроме того экспертные группы разных уровней реагирования при проведении анализа и прогноза функционирования реакторной установки и состояния окружающей среды используют единые логические схемы, предложенные в типовом аварийном плане [6].

Переработанная в рамках рассматриваемой методики с учетом особенностей РУ БН-600 логическая схема диагноза и прогноза по функционированию реакторной установки представлена на рис. 1.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАРТЫ КРИЗИСНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ГРУПП

Результат описанных этапов анализа (диагноза) и прогноза представляется в форме информационных сообщений, которые заносятся в разработанные в рамках рассматриваемой методики информационные карты (ИК) экспертами разных уровней реагирования и формируют информационный обмен между экспертными группами различных уровней реагирования и другими участниками противоаварийных действий.

На основе типовых форм ИК, приведенных в типовом аварийном плане [6], в рамках созданной методики были разработаны формы информационных карт №№ 6 – 10, содержащие необходимую информацию для проведения анализа и прогноза для энергоблока БН-600, которые после минимальной корректировки могут использоваться для любой реакторной установки того же типа.

Перечень наиболее характерных параметров, отобранных для ИК, составлен на основании требований инструкций и руководств, регламентирующих процесс управления и ликвидации аварии, регламента эксплуатации, а также технического обоснования безопасности.

Кризисные экспертные группы готовят следующие ИК.

Группа руководства действиями:

- ИК № 1 «Исходное сообщение об аварии»;
- ИК № 2 «Очередное сообщение об аварии»;
- ИК № 4 «Пресс-релиз для СМИ»;
- ИК № 5 «Заключительное сообщение об аварии».

Группа радиационной разведки:

- ИК № 3 «Состояние окружающей среды – Диагноз/Прогноз».

Группа оперативных действий:

- ИК № 6 «Исходное сообщение о состоянии энергоблока»;
- ИК № 7 «Очередное сообщение о состоянии энергоблока»;
- ИК № 8 «Данные для оценки радиационных выбросов».

Группа технической поддержки:

- ИК № 9 «Диагноз/Прогноз функционирования установки»;
- ИК № 10 «Диагноз/Прогноз обобщенный».

В соответствии с разработанной методикой первое сообщение о нештатной ситуации на АЭС поступает в КЦ К РЭА в виде «Оперативного сообщения о нештатной ситуации на АС» от начальника смены АЭС.

Последующие сообщения готовятся кризисными экспертными группами после их сбора по системе оповещения в обусловленных местах сбора.

В соответствии с типовым аварийным планом [6] первые сообщения (инфор-

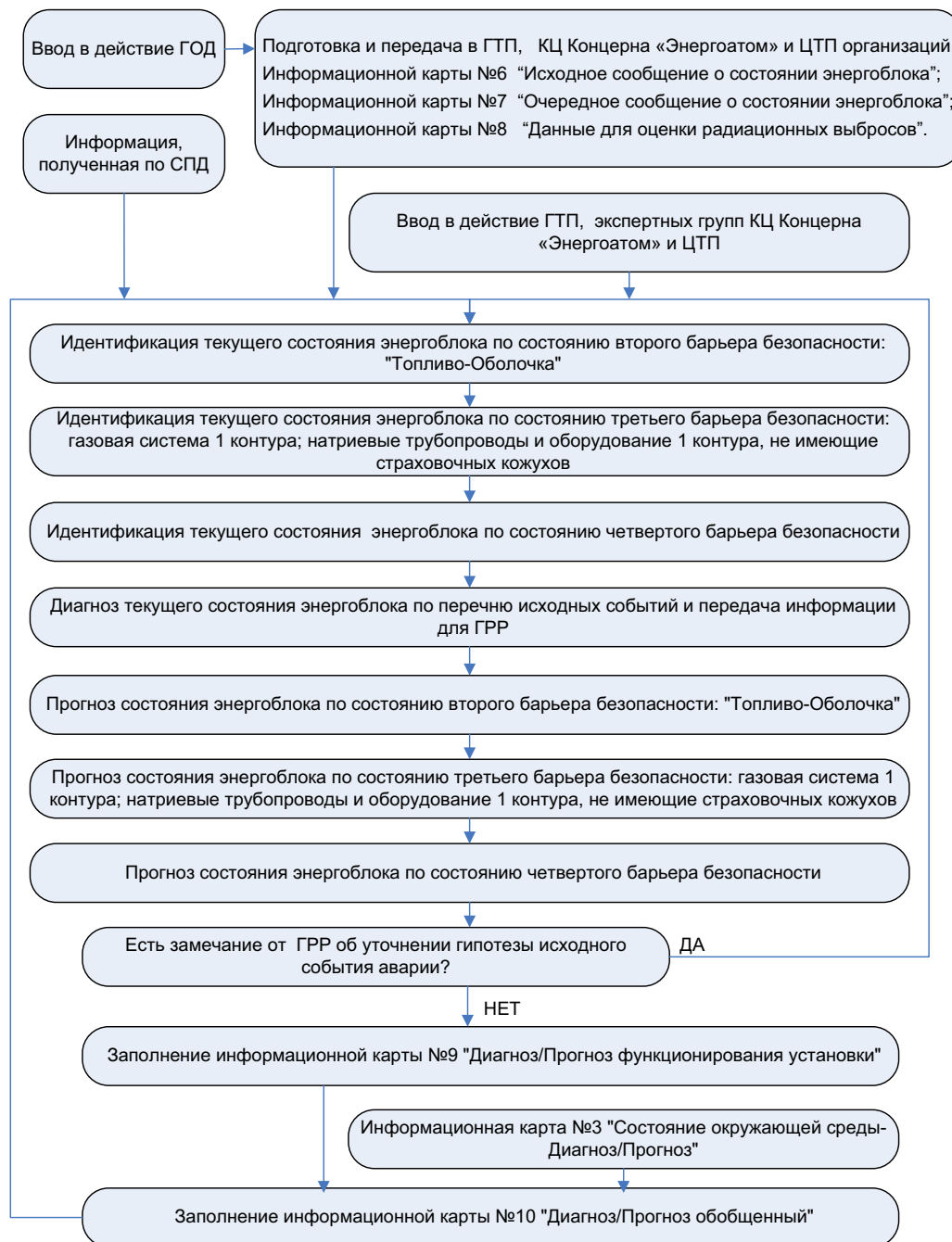


Рис. 1. Логическая схема диагноза и прогноза функционирования РУ БН-600: ГОД – группа оперативных действий; СПД – система передачи данных; ГТП – группа технической поддержки; ГРП – группа радиационной разведки

мационные карты) от экспертов АЦ АЭС начинают поступать спустя ~50 минут после исходного события аварии.

Исходные данные для проведения анализа экспертами (диагноза и прогноза) содержатся в ИК №№ 6 – 8, а результаты анализа заносятся в ИК №№ 3, 9, 10.

_____ АЭС, блок № _____ Дата: _____		Время: _____	
Системы энергоблока	Параметр	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
<i>Реактор</i>	1. Тепловая мощность	МВт	
	2. Нейтронная мощность	%	
	3. Реактор заглушен по алгоритму БАЗ	Да/нет	
	Если да:		
	- рабочие органы СУЗ в нижнем положении	Да/нет	
	- включены на всех петлях АПЭН	Да/нет	
	- открыты задвижки М270	Да/нет	
	- ПГ работающих петель переведены в растопочный режим	Да/нет	
	- разность среднесмешанных температур на выходе ПТО А, Б менее 25 °С	Да/нет	
	4. Имело место срабатывание гидрозатвора защиты корпуса реактора	Да/нет	
	5. Удельная активность цезия-137 в натрии первого контура	Бк/кг (мКи/кг)	
	6. Удельная активность газа в ГПП	Ки/л	
	7. Обороты ГНЦ 1		
	- 4ГНЦ-1	об/мин	
	- 5ГНЦ-1	об/мин	
	- 6ГНЦ-1	об/мин	
<i>Вспомогательные системы первого контура</i>	8. Максимальная температура натрия (по термопарам ЦПК)	°С	
	9. Минимальная температура натрия (по термопарам ЦПК)	°С	
	10. Температура натрия (ячейки 9-18)	°С	
	11. Уровень натрия в баке реактора	мм	
	12. Давление аргона в газовой подушке	кгс/см ²	
	1. Температура «забивания» натрия первого контура менее 220°С	Да/нет	
	2. Разуплотнение газовой системы первого контура	Да/нет	
	3. Разгерметизация вспомогательных натриевых трубопроводов (оборудования) первого контура	Да/нет	

Рис. 2. Фрагмент информационной карты № 7 «Очередное сообщение о состоянии энергоблока»

На рисунках 2 и 3 приведены в качестве примера фрагменты двух из пяти разработанных информационных карт, № 7 – «Очередное сообщение о состоянии энергоблока» и № 9 «Диагноз/Прогноз функционирования установки».

Адаптированная методика была опробована в ходе противоаварийных тренировок с участием ЦТП ГНЦ РФ-ФЗИ, получены положительные отзывы от экспертных групп и других участников СЧСК. Она позволяет упорядочить работу групп, участвующих в процессе противоаварийного реагирования, обеспечивает эффективность и согласованность принимаемых экспертами решений, а при использовании в составе разрабатываемого в ЦТП ГНЦ РФ-ФЗИ программно-технического комплекса противоаварийного реагирования повысит общую эффективность системы противоаварийного реагирования.

Литература

1. Основы безопасности – Основные принципы безопасности: Серия изданий МАГАТЭ по безопасности: №SF-1. – Вена: МАГАТЭ, 2006. – 34 с.
2. Требования – Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной ситуации: Серия изданий МАГАТЭ по безопасности: №GS-R-2. – Вена: МАГАТЭ, 2004. – 34 с.

АЭС, блок № ____	ДИАГНОЗ на время: ____ ч ____ мин	
Состояние барьеров безопасности	Функция безопасности	Система поддержки функций безопасности
Топливо-оболочка газовая неплотность оболочек <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет прямой контакт с теплоносителем <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет плавление топлива <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет	Подкритичность реактора Теплоотвод от реактора	
Разгерметизация основного корпус реактора (течь натрия в пространство основной - страховочный корпус) <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет	Целостность первого контура	
Срабатывание гидрозатвора защиты корпуса реактора при давлении более 0.45 кгс/см ² <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет	Работоспособность защитной системы безопасности	
Разуплотнение газовой системы первого контура <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет	Целостность вспомогательных систем первого контура	
Разгерметизация вспомогательных натриевых трубопроводов и систем первого контура <input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/> нет	Работоспособность защитной системы безопасности	

Рис. 3. Фрагмент информационной карты № 9 «Диагноз/Прогноз функционирования установки»

3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: ОПБ-88/97: ПНАЭ Г-01-011-97: утв. Госатомнадзором РФ 14.11.97: введено в действие с 01.07.98. – М., 1997. – 38с.

4. Положение о порядке объявления аварийной обстановки, оперативной передачи информации и организации экстренной помощи атомным станциям в случае радиационно-опасных ситуаций: НП00598: утв. Госатомнадзором РФ 05.01.98 : ввод. в действие с 01.07.98: [в редакции постановления № 8 Госатомнадзора РФ от 30.08.2002 ввод. в действие с 01.11.2002]. – М., 1998. – 79с.

5. Типовое содержание плана мероприятий по защите персонала в случае аварии на атомной станции : НП-015-2000 : утв. Госатомнадзором РФ 05.07.2000 : введено в действие с 01.01.2001. – М., 2000. – 101с.

6. Типовой план действий персонала в случае радиационной аварии на АЭС концерна «Росэнергоатом» – типовой аварийный план: РД ЭО 0479-03. – М., 2003.

7. Зорин Ю.И, Исаев А.Н. и др. Методика анализа аварийной ситуации на энергоблоках РУРБМК-1000: Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики/V Международная научно-техническая конференция: Сб. материалов конференции. – Москва: ВНИИАЭС, 2006. – С. 507-514.

Поступила в редакцию 01.06.2009

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

System Analysis of Verbal Communication between NPP Main Control Room Operators during Abnormal Situations \ A.N. Anokhin, N.V. Pleshakova, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 12 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 11 titles.

Communication plays an important role in the joint mental activity of main control room team members at a Nuclear Power Plant (NPP). The communication which takes place when operators are dealing with an emergency scenario at the full scope simulator of VVER-1000 power unit has been analysed by the authors of the present paper. The experienced operators were interviewed and the series of four experimental trials were conducted. As a result of analysis of gathered data six types of communication were identified and described, and their relative proportions and other numeric characteristics were estimated. The main shaping factors influencing the communication were revealed and assessed. The most important of them are the noise caused by acoustic alarm signals and intensive talking, and the lack of time inducing the operators to cut out the wording of their verbal messages. The ways used by the operators in order to improve communication were revealed as well as additional recommendations of ways as to increase efficiency of communication were formulated.

УДК 621.039.564

single Module of Hydrogen Monitoring System within NPP Containment \ S.V. Bogdanov, S.N. Berezhnoy, S.G. Kalyakin, A.A. Lukyanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The operation principle and the configuration of the single module are described, which is used to measure oxygen concentration inside the containment compartments as a part of the hydrogen monitoring system. The measuring complex of hydrogen and oxygen gas analyzers based on a single module is presented, which is designed for operation under beyond-design-basis accident conditions.

УДК 621.039.586

Adaptation of Standard Emergency Analysis Approach for BN-Type Reactors \ Y.M. Volkov, A.I. Voropaev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

In article described the standard approach adaptation of nuclear power plants emergency analysis for NPP with BN-type reactor. Approach implementation is meant for minimizing of dangerous impact of radiation for plant personnel, inhabitants and environment by means of special technical measures and organizational activity.

УДК 519.7:519.22

Method of Reliability Indices of Systems of the Nuclear Power Station Assessment in a Non-Homogeneous Failure Flow \ K.A. Ivanova, M.A. Skiba, V.A. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 7 illustrations. – References, 12 titles.

The paper considers mathematical models and methods for calculating reliability indices of systems which probabilistic characteristics can vary in time. The equation for the availability function of a system in the up or failed state at any time is derived. New reliability indices of the joint event flows are derived and defined. Some their properties are presented. The relationship between new reliability indices and the failure and recovery distribution time using two-dimensional integral Volterra equation 2-nd sort is shown too. A new mathematical model allows the monotonous transformation of two independent recurrent failure and recovery flows arbitrarily. This, for example, allows to calculate the availability function of an ageing system. Equations for resource characteristics are deduced within the model and the practical example of their calculation is considered.

УДК 621.039.58

Passive system with steam-water injector for emergency supply of steam generators of the NPP \ A.G. Ilchenko, A.N. Strakhov, D.N. Magnitsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). –