

УДК 621.311.2

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-24-31

Влияние процесса ввода в эксплуатацию на последующую промышленную эксплуатацию атомных электростанций

С.И. Рясный

Атомный энергоблок ввиду своей сложности, высокой стоимости, потенциальной опасности и особой специфичности требует особого обращения, причем, в первую очередь, в период ввода, когда подвергаются практической проверке основы дальнейшей безопасной, эффективной и экономичной промышленной эксплуатации.

Необходимость процесса ввода в эксплуатацию атомной электростанции (АЭС) определяется наличием рисков, которые могут вести к отказам и недостаткам в работе оборудования и систем при дальнейшей промышленной работе энергоблока, и которые следует выявить и устранить в процессе ввода в эксплуатацию. На практике постоянно проявляются риски двух типов. Первые возникают при сооружении и вводе энергоблока и связаны с процессами организации и производства работ (процессные риски). Они в существенной степени являются управляемыми, для них возможно планирование. Вторые связаны с несоответствием технического качества результатов работ установленным требованиям, не выявляются на этапах разработки, проектирования и сооружения энергоблока, скрыты и обнаруживаются только в период испытаний (технические риски). Поскольку они не могут быть спрогнозированы, то являются вероятностными, а возможность управления ими существенно ограничена их скрытым характером.

Значимость процесса ввода определяется необходимостью натурального экспериментального обоснования работоспособности и условий эксплуатации ряда оборудования и систем, которое может быть выполнено только в процессе испытаний. Это можно подтвердить на примерах физических испытаний систем внутриреакторного контроля, обоснования сейсмической безопасности, динамических испытаний.

Благодаря возможностям натуральных испытаний ввод в эксплуатацию можно также рассматривать как специфический процесс не только обоснования, но и оптимизации условий промышленной эксплуатации и ресурса оборудования.

Третьей причиной значимости процесса ввода следует считать необходимость приработки конструкций в период пусконаладочных работ. Это связано с выявлением максимального количества имеющихся дефектов и создания условий для полного завершения процесса приработки конструкций с целью достижения минимальных значений интенсивности отказов в процессе последующей промышленной эксплуатации АЭС.

Ключевые слова: ввод в эксплуатацию, промышленная эксплуатация, пусконаладочные испытания, оптимизация ресурса, риски, дефекты, отказы, приработка конструкций.

Для цитирования: Рясный С.И. Влияние процесса ввода в эксплуатацию на последующую промышленную эксплуатацию атомных электростанций // Вестник МЭИ. 2019. № 5. С. 24—31. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-24-31.

The Impact of the Commissioning Process on the Subsequent Industrial Operation of Nuclear Power Plants

S.I. Ryasnyi

In view of its complexity, high cost, potential danger, and very specific features, a nuclear power unit needs special handling, especially in the course of its commissioning, during which the fundamentals of its further safe, effective, and economically efficient commercial operation undergo practical checks.

The necessity of NPP commissioning is stemming from the presence of risks that can lead to failures and deficiencies in the operation of equipment and systems during the subsequent commercial operation of the power unit, and which should be revealed and removed during the commissioning stage. Two types of risks are commonly encountered in practice. Risks of the first type emerge in constructing and commissioning the power unit, and are associated with the work arrangement and execution processes (process risks). These risks are manageable to a significant extent and can be scheduled. Risks of the second type are associated with nonconformity of the technical quality of work results with the requirements; they are not revealed at the power unit development, design, and construction stages; they are hidden and are only revealed during the tests (technical risks). Since these risks cannot be predicted, they are probabilistic in nature, and the possibility to manage them is significantly limited due to their being hidden in nature.

The significance of the commissioning process is stemming from the necessity of full-scale experimental verification of the serviceability and operating conditions for a number of equipment items and systems, which can only be carried out in the course of tests. This can be confirmed on the examples of carrying out physical tests of in-core instrumentation systems, substantiating the seismic safety, dynamic tests.

Owing to the possibilities of full-scale tests, the commissioning can also be regarded as a specific process of not only substantiating, but also optimizing the equipment commercial operation conditions and service life.

The need of breaking-in the structures in the course of commissioning work should be considered as the third reason of the commissioning process significance. This is because during the commissioning, the maximum number of the existing defects is revealed, and conditions are set up for fully completing the structures breaking-in process to achieve the minimum failure rate levels during the subsequent commercial operation of the NPP.

Key words: commissioning, commercial operation, pre-commissioning tests, service life optimization, risks, defects, failures, breaking-in of structures.

For citation: Ryasnyi S.I. The Impact of the Commissioning Process on the Subsequent Industrial Operation of Nuclear Power Plants. Bulletin of MPEI. 2019;5:24—31. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-24-31.

Введение

Ввод в эксплуатацию нового энергоблока атомной станции (АС) — заключительная стадия его создания. Ей предшествуют разработка, проектирование, строительство и монтаж оборудования.

Согласно нормативному определению [1] ввод в эксплуатацию — процесс, во время которого системы и оборудование блока АС или АС в целом начинают функционировать, и проверяется их соответствие проекту. Он включает предпусковые наладочные работы, физический и энергетический пуски, опытно-промышленную эксплуатацию и завершается сдачей АС в промышленную эксплуатацию (рис. 1) [2].

Выполняемые при вводе блока в эксплуатацию испытания на этапах предпусковых наладочных работ, физического пуска, энергетического пуска и опытно-промышленной эксплуатации (освоения мощности) должны подтвердить, что системы (элементы), важные для безопасности, и блок в целом, выполнены и функционируют в соответствии с проектом, а выявленные несоответствия задокументированы и устранены.

В период ввода блока в эксплуатацию выполняются:

- проверка качества проектирования, изготовления, строительства и монтажа;
- очистка, маркировка, внешний и внутренний визуальные осмотры;
- проверка соответствия систем и оборудования требованиям проекта;
- сравнительный анализ проектных и достигнутых показателей оборудования и систем блока;
- выявление и устранение несоответствий систем и компонентов;
- подтверждение безопасности блока;
- регулировка параметров и уточнение методов эксплуатации;
- сбор данных для обеспечения основной информацией, необходимой для дальнейшей эксплуатации блока;
- проверка готовности и обоснование эксплуатационной документации;
- контроль готовности эксплуатационного персонала к этапам ввода блока в эксплуатацию;
- обучение и приобретение навыков эксплуатации систем и оборудования блока эксплуатационным персоналом;
- проверка внесения в проект блока изменений, выполненных на ранее введенных энергоблоках данного типа по результатам пусконаладочных работ и эксплуатации систем и оборудования.

Наиболее емкой частью работ по вводу в эксплуатацию являются пусконаладочные работы (ПНР), состоящие из испытаний на натурном объекте [1, 2] с целью проверки возможности соблюдения установленных в проекте условий эксплуатации, являющихся критериями успешности испытаний.

Помимо пусконаладочных работ ввод в эксплуатацию включает также и такие не менее важные направления деятельности, как техническое и научно-техническое руководство вводом в эксплуатацию, авторский надзор, организационное, техническое, материальное обеспечения ПНР, планирование работ по вводу в эксплуатацию, лицензирование, приемку ПНР, обеспечение качества, разработку эксплуатационной документации [3, 4].

Необходимость процесса ввода в эксплуатацию обусловлена тем, что проработка вопросов обеспечения надежной, безопасной и экономичной эксплуатации АЭС на стадиях разработки, проектирования, строительства и монтажа не может быть достаточной.

При вводе в эксплуатацию такого сложного технического объекта, каким является энергоблок АЭС, неизбежно в той или иной мере присутствует ряд неопределенностей, которые, в свою очередь, являются причиной возникновения рисков при вводе в эксплуатацию АЭС [5, 6] и могут отражаться на дальнейшей промышленной эксплуатации энергоблока.

Возможные риски, приводящие к отказам и недостаткам в работе оборудования и систем, условно делят на процессные и технические.

Риски, возникающие при сооружении и вводе в эксплуатацию энергоблока и связанные с процессами организации и производства работ (процессные), в существенной степени являются управляемыми, для них возможно планирование.

Риски, связанные с несоответствием технического качества результатов работ установленным требованиям, не выявляемые на этапах разработки, проектирования и сооружения энергоблока, являющиеся скрытыми и выявляемыми только в период испытаний (технические), не могут быть спрогнозированы и являются вероятностными, поскольку они не идентифицированы на данном этапе реализации проекта. Возможность управления ими существенно ограничена их скрытым характером.

К процессным рискам можно отнести:

- неготовность строительно-монтажных работ, проекта (design) и пусконаладочной документации (программ, инструкций по эксплуатации, графиков);
- непоставку оборудования;
- несоответствия условий хранения оборудования;
- недостатки в организации работ, квалификации персонала и финансировании;
- дополнительные (непредусмотренные) работы.

К техническим (вероятностным) рискам причисляют:

- неисправности оборудования (дефекты и отказы);
- неточности изготовления (скрытые) и проектных критериев (скрытые, выявляемые при испытаниях);
- недостатки монтажа (или строительства), выявленные при сдаче, конструкции (скрытые, выявляемые при испытаниях), наладки, проекта (design), про-

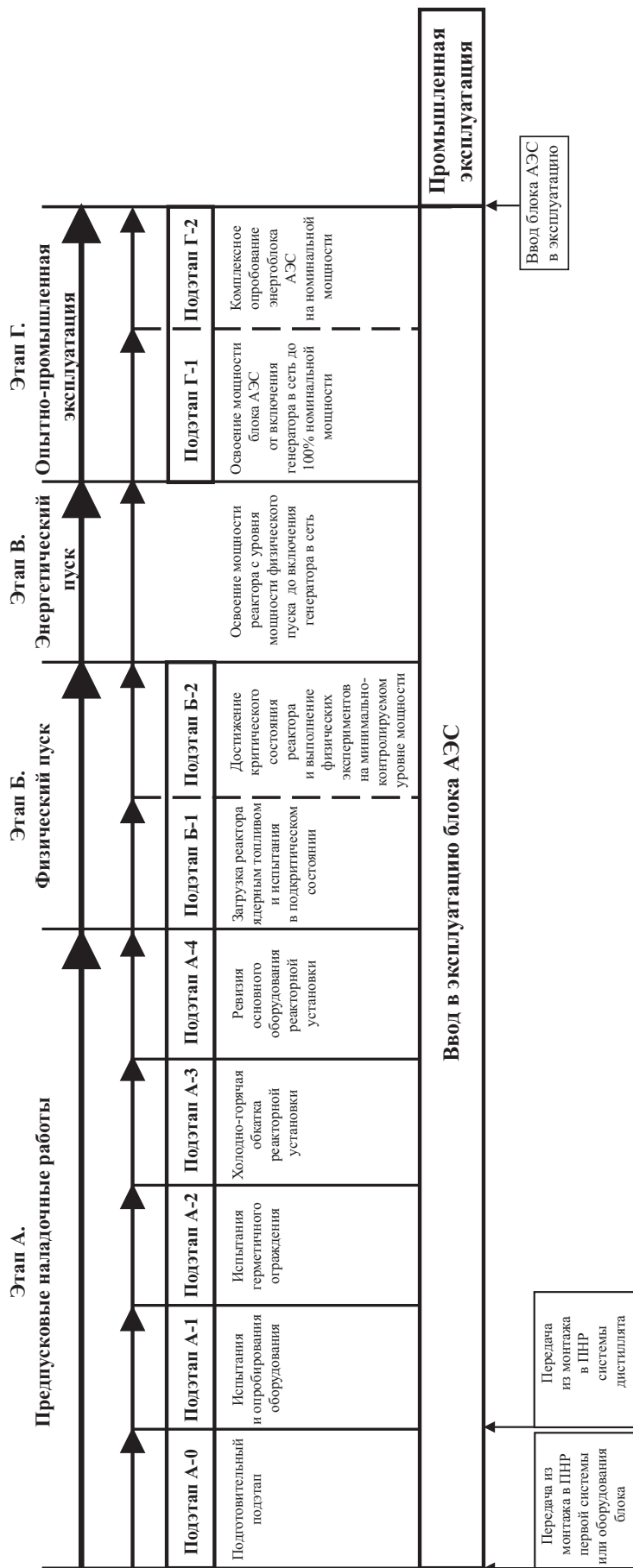


Рис. 1. Последовательность ввода энергоблока АС с реактором типа ВВЭР в эксплуатацию в соответствии с [2]

ектной технологии (эксплуатационной документации) и программ испытаний;

— ошибки персонала (человеческий фактор).

На практике при вводе в эксплуатацию постоянно приходится сталкиваться с рисками обоих типов.

Еще одним фактором влияния процесса ввода в эксплуатацию на последующую промышленную эксплуатацию АС, объясняющим значимость процесса ввода в эксплуатацию, является необходимость натурального экспериментального обоснования работоспособности и условий эксплуатации ряда оборудования, которое может быть выполнено во многих случаях только в процессе испытаний при вводе в эксплуатацию энергоблока [7 — 9].

Характерный пример подобного оборудования — система внутривреакторного контроля (СВРК), которая по своим проектным решениям относится к автоматизированным системам, но имеет ряд присущих только ей особенностей, которые определяются спецификой объектов контроля, а именно, активной зоны и реакторной установки, а также используемыми программно-техническими средствами. Основная особенность заключается в том, что СВРК может быть полностью смонтирована, налажена и испытана только в натуральных условиях на площадке АС. Таким образом, несмотря на то, что все составные части СВРК проходят сдаточные испытания на заводах-изготовителях, монтаж конкретных первичных преобразователей, а также соединение структурных единиц системы на конкретном энергоблоке АС реальными линиями связи, вносят в систему фактически новые элементы. Они, естественно, влияют на конечные реальные характеристики более чем 1000 измерительных каналов контроля СВРК [10].

Исходя из специфики выполняемых функций, не все элементы СВРК могут быть собраны и, соответственно, проверены и испытаны в реальных условиях одновременно и только на одном этапе ввода в эксплуатацию. Например, монтаж каналов контроля энерговыделения может быть проведен только после загрузки штатной активной зоны, т.е. на этапе физического пуска, в то время как монтаж и проверка большинства каналов контроля общетехнологических параметров и температурного контроля осуществляются ранее, на этапе предпусковых наладочных работ.

Примером натурального экспериментального обоснования условий эксплуатации оборудования, которое может быть выполнено только в процессе испытаний при вводе в эксплуатацию энергоблока, является обоснование сейсмической безопасности.

Необходимость испытаний в обоснование сейсмической безопасности определяется тем, что расчетные методы проверки сейсмостойкости технологических систем и оборудования имеют ряд ограничений принципиального характера.

Любые, даже самые совершенные и детализированные расчетные схемы не могут в полной мере воспроизвести все детали и элементы сложного оборудования в их динамической взаимосвязи. Собственные динамические характеристики проверя-

емых изделий, оказывающие сильное влияние на его реакцию на сейсмические воздействия, зависят не только от конструкции, конфигурации, массы и материалов, но и от тех же характеристик всех механически связанных с изделием внешних элементов — опорных и несущих конструкций, креплений, теплоизоляционных покрытий, присоединяемых трубопроводов с их ближайшими опорами, подвесками и встроеными массами. Надежно воспроизвести эти внешние связи в расчетных схемах зачастую не представляется возможным.

Натурное подтверждение динамических характеристик систем и элементов энергоблоков АЭС, определяющих их устойчивость при сейсмических воздействиях, основано на экспериментальном определении динамических характеристик (собственных частот и декрементов колебаний) систем и элементов непосредственно на энергоблоках АС в условиях реального раскрепления оборудования, трубопроводной обвязки, теплоизоляции и т. п. [11]. По полученным значениям собственных частот и декрементов корректируются расчетные схемы, по которым проводятся перерасчеты сейсмостойкости. При необходимости внедряются компенсирующие мероприятия. В результате метод натурального подтверждения динамических характеристик может гарантировать целостность важных для безопасности систем и выполнение их элементами своих функций при сейсмических и других внешних воздействиях.

В качестве еще одного примера можно привести динамические испытания. Это испытания по проверке динамических режимов работы энергоблока, определяющим фактором которых является быстрый перевод энергоблока с одного уровня мощности на другой, связанный с отключением оборудования или воздействием извне (сбросы нагрузки, отключение главных циркуляционных насосов (ГЦН), обесточивание и т. п.). При данных испытаниях проходит проверку весь комплекс взаимодействующего оборудования с точки зрения динамической устойчивости: срабатывания различных защит и блокировок, работы регуляторов, АСУ ТП, подключения и работы систем безопасности, определения величин и допустимости отклонений параметров первого и второго контуров от номинальных значений в переходном процессе, проверки надежности теплоотвода от активной зоны и отсутствия увеличения активности первого контура в период выбега ГЦН.

Без прохождения такой проверки и устранения возможных возникающих в процессе испытаний недостатков невозможно гарантировать последующую успешную промышленную эксплуатацию энергоблока.

Обоснование и оптимизация условий эксплуатации

Натурные испытания оборудования при вводе в эксплуатацию предоставляют значительные возможности для экспериментального исследования технологических процессов с целью установления связей особен-

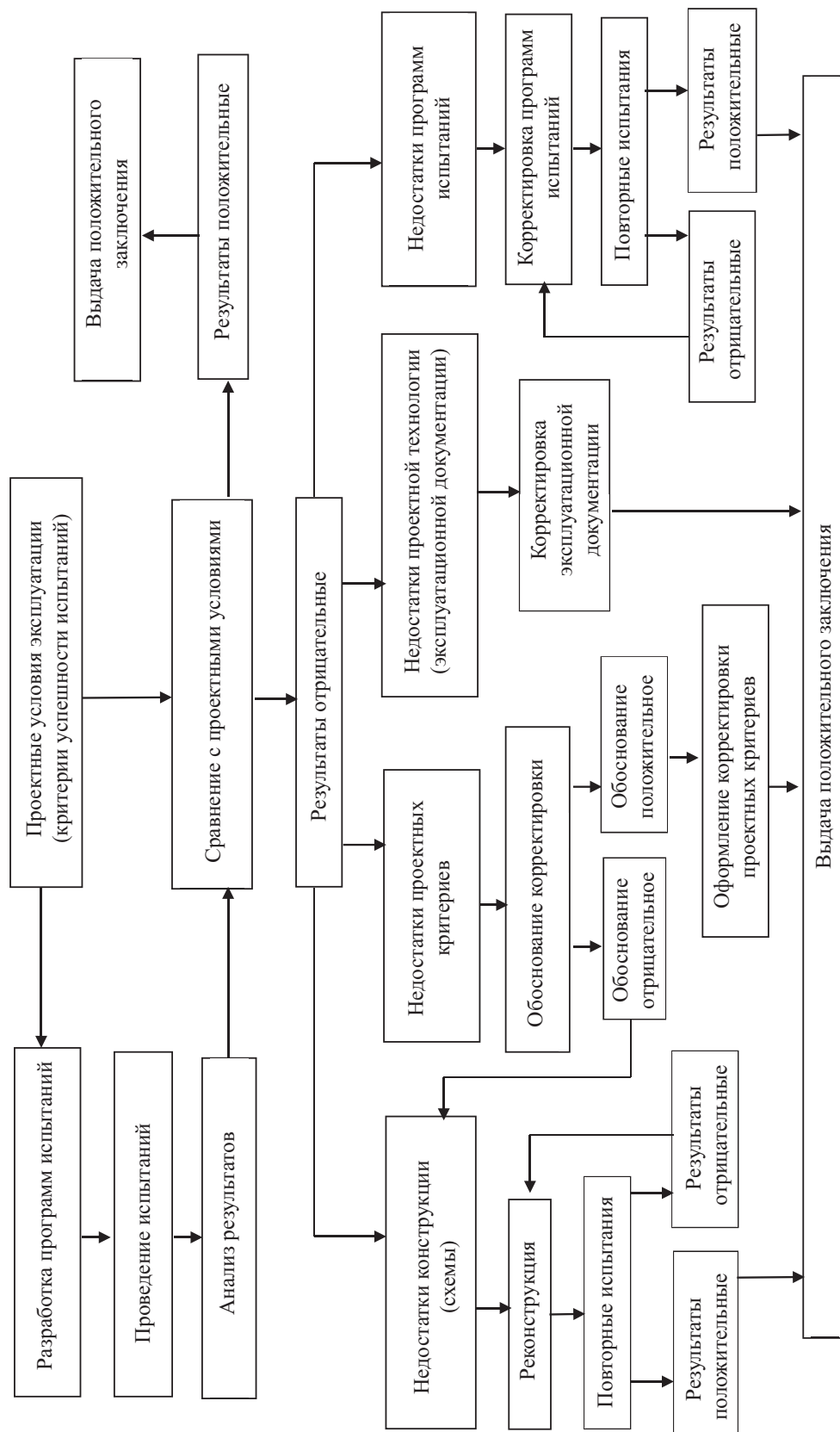


Рис. 2. Обобщенный алгоритм оптимизации условий эксплуатации оборудования и сооружений при испытаниях

ностей технологии эксплуатации и конструкции оборудования с его надежностью и ресурсом, благодаря чему ввод в эксплуатацию можно также рассматривать как специфический процесс не только обоснования, но и оптимизации условий эксплуатации [12, 13] и, как следствие, оптимизации ресурса оборудования [14]. Общий методический подход выработан в результате систематизации и обобщения результатов испытаний и исследований по решению частных задач оптимизации условий эксплуатации. В качестве иллюстрации на рис. 2 показан обобщенный алгоритм оптимизации условий эксплуатации оборудования и сооружений при испытаниях в период ввода в эксплуатацию [13].

Обычно оптимальные условия эксплуатации и их критерии вырабатываются в процессе разработки и проектирования и задаются в проекте. Однако в исключительных случаях возможна выработка (уточнение) оптимальных условий эксплуатации и их критериев непосредственно в процессе испытаний при вводе в эксплуатацию.

Приработка конструкций в период пусконаладочных работ

Одним из факторов влияния процесса ввода в эксплуатацию на последующую промышленную эксплуатацию АС можно считать приработку конструкций в период ПНР. В процессе пусконаладочных работ создаются условия для приработки конструкций с целью достижения минимальных значений интенсивности отказов в процессе последующей промышленной эксплуатации АС.

На рисунке 3 можно видеть принципиальную зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации. Начальный участок с ниспадающей кривой представляет собой период приработки конструкций, который затем переходит на минимальный уровень. Чтобы начальный участок соответствовал периоду ввода в эксплуатацию, а момент t_1 перехода на минимальный уровень соответствовал началу промышленной эксплуатации энергоблока, к этому моменту должно проявиться максимальное количество имеющихся дефектов. В результате количество отказов и дефектов в процессе промышленной эксплуатации должно находиться на минимальном уровне.

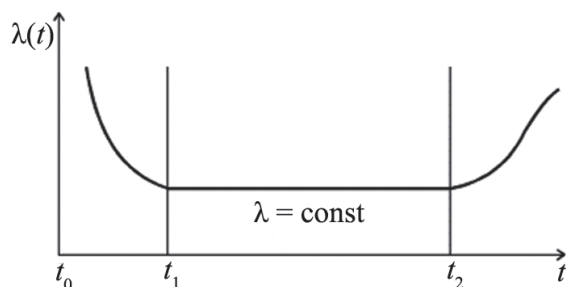


Рис. 3. Упрощенная зависимость интенсивности отказов $\lambda(t)$ от времени t

Реальность достижения этого соответствия можно проиллюстрировать данными по анализу отказов и дефектов оборудования при вводе в эксплуатацию конкретных энергоблоков, например, энергоблока №3 Калининской АЭС [15].

Сложность, продолжительность, затратность процесса ввода в эксплуатацию и значительность его влияния на надежность, безопасность и экономичность последующей промышленной эксплуатации станции привели к необходимости накопления, анализа, обобщения и систематизации знаний об этом процессе, нормативного регулирования и оптимизации, разработки теоретических основ процесса ввода в эксплуатацию. Результатом стало создание новой области науки: науки ввода в эксплуатацию АЭС, основанной на методе натурального экспериментального обоснования условий эксплуатации станций. Авторство в создании науки и разработке метода принадлежит АО «Атомтехэнерго» ГК «Росатом» и связанным с ним родственным организациям, чем можно объяснить практическое отсутствие публикаций по этой тематике во внешних организациях, в том числе зарубежных.

Заключение

Атомный энергоблок представляет собой объект, который ввиду своей сложности, высокой стоимости, потенциальной опасности и особой специфичности требует особого обращения, причем, в первую очередь, в период ввода в эксплуатацию, когда подвергаются практической проверке основы дальнейшей безопасной, эффективной и экономичной промышленной эксплуатации.

Необходимость процесса ввода в эксплуатацию АЭС определяется наличием рисков, которые могут привести к отказам и недостаткам в работе оборудования и систем при дальнейшей промышленной эксплуатации энергоблока, и которые следует выявить и устранить в процессе ввода в эксплуатацию. Данные риски могут увеличить продолжительности работ и сроков ввода энергоблока в эксплуатацию.

Значимость процесса ввода в эксплуатацию АЭС определяется также необходимостью натурального экспериментального обоснования работоспособности и условий эксплуатации ряда оборудования и систем, которое может быть выполнено только в процессе испытаний при вводе в эксплуатацию энергоблока АЭС.

Ввод в эксплуатацию можно рассматривать как специфический процесс обоснования и оптимизации условий эксплуатации, оптимизации ресурса оборудования.

Важной задачей пусконаладочных работ в процессе ввода в эксплуатацию является создание условий для полного завершения процесса приработки конструкций с целью достижения минимальных значений интенсивности отказов в процессе промышленной эксплуатации АЭС.

Литература

References

1. **Общие положения** обеспечения безопасности атомных станций. М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016.
2. **СТО 1.1.1.03.003.0880—2017.** Ввод в эксплуатацию блоков атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами. Объем и последовательность пусконаладочных работ. Общие положения.
3. **Сааков Э.С., Рясный С.И.** Ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС. М.: Энергоатомиздат, 2007.
4. **Сааков Э.С.** Регулирование и оптимизация ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС: автореферат дис. ... докт. техн. наук. Подольск: ОАО ОКБ «Гидропресс», 2009.
5. **Сааков Э.С., Цыбенко В.М., Рясный С.И.** Методика прогнозирования продолжительности сооружения и ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС с учетом рисков // Электрические станции. 2008. № 2. С. 4—8.
6. **Сааков Э.С.** Вероятностный подход в планировании ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». 2008. № 1. С. 28—31.
7. **Сааков Э.С., Рясный С.И., Хайретдинов В.У.** Повышение эффективности натурных испытаний при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС // Электрические станции. 2007. № 9. С. 10—14.
8. **Сааков Э.С., Рясный С.И.** Оптимизация процесса ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС: актуальные подходы // Тяжелое машиностроение. 2008. № 11. С. 5—9.
9. **Сааков Э.С.** Критерий эффективности ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». 2007. № 6. С. 75—79.
10. **Саунин Ю.В.** Разработка методик комплексных испытаний систем внутриреакторного контроля ВВЭР: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Подольск: ОАО ОКБ «Гидропресс», 2010.
11. **Казновский П.С., Ананьев А.Н., Казновский С.П., Лебедев В.И., Чеченов Х.Д.** Сейсмическая безопасность атомных станций. М.: Изд во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
12. **Хайретдинов В.У., Рясный С.И.** Натурное обоснование условий эксплуатации оборудования реакторных установок с использованием систем пусконаладочных измерений на энергоблоках Тяньваньской АЭС // Тяжелое машиностроение. 2008. № 11. С. 27—32.
13. **Рясный С.И.** Оптимизация условий эксплуатации оборудования и сооружений реакторных установок с водяным теплоносителем. М., Энергоатомиздат, 2006.
14. **Рясный С.И.** Управление ресурсом оборудования при инженерной поддержке эксплуатации АЭС // Теплоэнергетика. 2015. № 5. С. 39—43.

1. **Obshchie Polozheniya** Obespecheniya Bezopasnosti Atomnykh Stantsiy. M.: FBU «NTTS YARB», 2016. (in Russian).
2. **СТО 1.1.1.03.003.0880—2017.** Vvod v Ekspluatatsiyu Blokov Atomnykh Stantsiy s Vodo-vodyanymi Energeticheskimi Reaktorami. Obyem i Posledovatel'nost' Puskonaladochnykh Rabot. Obshchie Polozheniya. (in Russian).
3. **Saakov E.S., Ryasnyy S.I.** Vvod v Ekspluatatsiyu Energoblokov AES. M.: Energoatomizdat, 2007. (in Russian).
4. **Saakov E.S.** Regulirovanie i Optimizatsiya Vvoda v Ekspluatatsiyu Energoblokov AES: Avtoreferat Dis. ... Dokt. Tekhn. Nauk. Podol'sk: OAO OKB «Gidropress», 2009. (in Russian).
5. **Saakov E.S., Tsybenko V.M., Ryasnyy S.I.** Metodika Prognozirovaniya Prodolzhitel'nosti Sooruzheniya i Vvoda v Ekspluatatsiyu Energoblokov AES s Uchetom Riskov. Elektricheskie stantsii. 2008;2:4—8. (in Russian).
6. **Saakov E.S.** Veroyatnostnyy Podkhod v Planirovanii Vvoda v Ekspluatatsiyu Energobloka AES. Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskiy Region. Seriya «Tekhnicheskie Nauki». 2008;1:28—31. (in Russian).
7. **Saakov E.S., Ryasnyy S.I., Khayretdinov V.U.** Povyshenie Effektivnosti Naturnykh Ispytaniy pri Vvode v Ekspluatatsiyu Energoblokov AES. Elektricheskie stantsii. 2007;9:10—14. (in Russian).
8. **Saakov E.S., Ryasnyy S.I.** Optimizatsiya Protsessa Vvoda v Ekspluatatsiyu Energobloka AES: Aktual'nye Podkhody. Tyazheloe Mashinostroenie. 2008;11:5—9. (in Russian).
9. **Saakov E.S.** Kriteriy Effektivnosti Vvoda v Ekspluatatsiyu Energobloka AES. Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskiy Region. Seriya «Tekhnicheskie Nauki». 2007;6:75—79. (in Russian).
10. **Saunin Yu.V.** Razrabotka Metodik Kompleksnykh Ispytaniy Sistem Vnutrireaktorного Kontrolya VVER: Avtoreferat Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. Podol'sk: OAO OKB «Gidropress», 2010. (in Russian).
11. **Kaznovskiy P.S., Anan'ev A.N., Kaznovskiy S.P., Lebedev V.I., Chechenov X.D.** Seysmicheskaya Bezopasnost' Atomnykh Stantsiy. M.: Izd vo MG TU im. N.E. Bauman, 2011. (in Russian).
12. **Khayretdinov V.U., Ryasnyy S.I.** Naturnoe Obosnovanie Usloviy Ekspluatatsii Oborudovaniya Reaktornykh Ustanovok s Ispol'zovaniem Sistem Puskonaladochnykh Izmereniy na Energoblokakh Tyan'van'skoy AES. Tyazheloe Mashinostroenie. 2008;11:27—32. (in Russian).
13. **Ryasnyy S.I.** Optimizatsiya usloviy Ekspluatatsii Oborudovaniya i Sooruzheniy Reaktornykh Ustanovok s Vodyanym Teplonositelem. M., Energoatomizdat, 2006. (in Russian).
14. **Ryasnyy S.I.** Upravlenie resursom oborudovaniya pri inzhenernoy podderzhke ekspluatatsii AES. Teploenergetika. 2015;5:39—43. (in Russian).

15. Сааков Э.С., Рясный С.И. Влияние отказов оборудования на процесс ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС // Тяжелое машиностроение. 2008. № 2. С. 2—5.

15. Saakov E.S., Ryasnyy S.I. Vliyanie Otkazov Oborudovaniya na Protsess Vvoda v Eksploatatsiyu Energobloka AES. Tyazheloe Mashinostroenie. 2008;2:2—5. (in Russian).

Сведения об авторе:

Рясный Сергей Иванович — доктор технических наук, профессор кафедры атомных электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: ryasny@atech.ru

Information about author:

Ryasnyi Sergey I. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Nuclear Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: ryasny@atech.ru

Статья поступила в редакцию: 08.11.2018

The article received to the editor: 08.11.2018