

ПРОЕКТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ КАМПАНИЙ ЭНЕРГООБЛОКОВ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

© 2011 г. М. Н. Подушка, А. Н. Рыстенков, В. И. Скалозубов*, Ю. Л. Коврижкин*

ГП НАЭК «Энергоатом», Киев

** Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев*

Представлены технико-экономические обоснования, содержание и ожидаемые результаты реализации перспективной программы оптимизации планирования Запорожской АЭС.

Ключевые слова: коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), плановый ремонт (ППР), техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), автоматизированные системы управления (АСУ), ремонт по техническому состоянию (РТС), риск-ориентированные подходы (РОП).

Актуальность проекта. Основным стратегическим направлением развития ядерной энергетики, определяющим ее конкурентоспособность, является повышение безопасности и эффективности производства. Основным критерием, отражающим эффективность производства электроэнергии АЭС, является коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), который определяет отношение вырабатываемой электроэнергии к установленной мощности энергоблока.

В последние годы средние значения КИУМ АЭС Украины достигли максимума за истекший десятилетний период (стали больше проектных значений КИУМ для серийных энергоблоков с ВВЭР-1000 - 74,2 %), и приближаются к показателям ведущих ядерных держав. Во многом этому способствовала принятая ГП НАЭК «Энергоатом» концепция развития ядерной энергетики Украины до 2008 г., которая определяет в качестве одной из основных задач отрасли доведение КИУМ до 81 – 83 %, исходя из обеспечения условий стабильной и безопасной работы АЭС в рамках реализации «Комплексной программы модернизации и повышения безопасности АЭС» и долгосрочной отраслевой программы повышения КИУМ энергоблоков АЭС Украины. Ежегодная выработка электроэнергии должна достигнуть 95 – 105 млрд кВт·ч, а непроизводственные затраты должны быть снижены на 20 – 25 %.

Вместе с тем «Отраслевая программа повышения КИУМ энергоблоков АЭС ГП НАЭК «ЭНЕРГОАТОМ» на 2003 - 2006 гг.» из-за недостаточного финансирования была выполнена не в полном объеме. Часть мероприятий не была внедрена, так как не была предусмотрена действующим тарифом, а именно: гайковерты для уплотнения главного разъема реактора; дополнительные установки вихретокового контроля (ВТК) теплообменных трубок парогенераторов (ТОТ ПГ); установки для дистанционного глушения ТОТ ПГ; прочноплотные заглушки в коллекторах ПГ; установки для проведения контроля герметичности оболочек (КГО) «Sipping-метод» и др.

Кроме того, основная доля недовыработки АЭС Украины электроэнергии связана с диспетчерскими ограничениями (внешними, не зависящими от администрации АЭС, причинами). Поэтому в качестве основного показателя оценки эффективности работы АЭС целесообразно применить коэффициент готовности несения номинальной нагрузки энергоблока (Кг), который не учитывает недовыработку электроэнергии из-за внешних, не зависящих от администрации АЭС, причин. Изменение Кг в период 2002 - 2006 гг. показано на рис. 1 [1].

Из рис. 1 видно, что Кг в период 2002-2006гг. в среднем повысился на 2,2 % с 76,6 % в 2002 г. до 78,8 % в 2006 г. При этом следует отметить, что снижение Кг в 2006 г. на ОП РАЭС на 3,4 % произошло, в основном, из-за конструктивного (заводского) недостатка турбогенератора № 5.

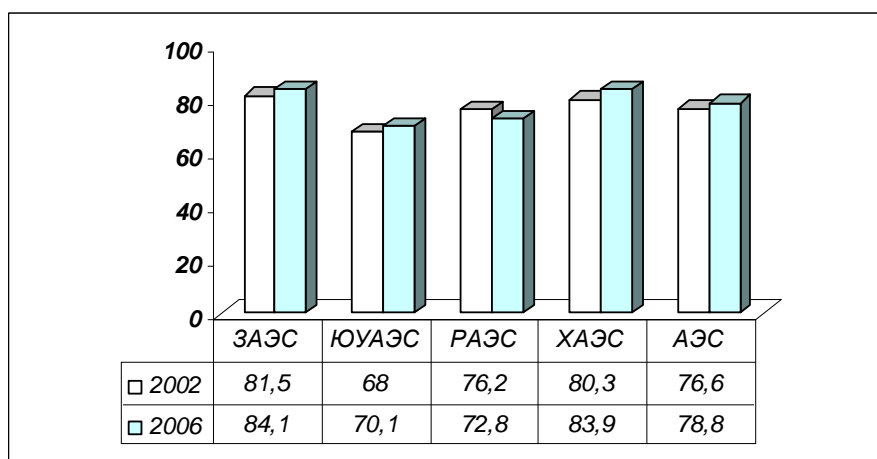


Рис. 1. Повышение Кг АЭС Украины в период 2002 - 2006 гг. [1].

В соответствии с международным опытом эксплуатации (включая энергоблоки типа ВВЭР в Финляндии, Чехии и Венгрии) возможно увеличение КИУМ до 90 % и выше. В результате реализации программы повышения КИУМ энергоблоков АЭС США среднее значение КИУМ в 2000 г. возросло на 22 % и составило 88,1 %, а в энергокомпании США «Екселон» (16 энергоблоков) в 2001 г. достигнуто значение КИУМ 94 %¹. По предварительным оценкам, только в результате совершенствования организации плановых ремонтов энергоблоков можно достигнуть значений КИУМ 85 – 88 % для АЭС Украины. Не исчерпаны резервы повышения КИУМ в результате совершенствования организации производства (включая оснащенность ремонтным инструментарием и подготовленность персонала), повышения ответственности и мотивации персонала. Остаются высокими потери производства вследствие unplanned (повторных) ремонтов, вызванных как недостаточным обеспечением качества ремонтных работ, так и недостаточным уровнем надежности оборудования/систем и действий оперативного персонала. Повышение надежности и модернизация оборудования, контрольно измерительные приборы (КИП), обеспечение качества реализации технологических процессов являются реальными потенциальными возможностями дальнейшего увеличения КИУМ.

Многолетний опыт эксплуатации АЭС показал, что определяющим фактором эффективности производства (КИУМ) является продолжительность ремонта реактора после его останова. При этом наибольший вклад вносит продолжительность *планово-предупредительных ремонтов* (ППР) энергоблоков, т.е. запланированный в установленном порядке комплекс организационно-технических мероприятий/операций по проверке и восстановлению работоспособности и ресурса систем, оборудования и их элементов. Так, например, по данным отчетов текущего состояния эксплуатационной безопасности АЭС Украины с ВВЭР-1000 за последние годы вклад плановых ремонтов энергоблоков в общее снижение КИУМ составляет около 84 %. Остальная доля (16 %) вызвана другими факторами (внеплановые остановы, снижение нагрузки, нарушения эксплуатации, аварии и т.п.), влияющими на снижение КИУМ. При определяющем влиянии сроков ППР на величину КИУМ и предположении, что за время сокращения сроков ППР (ΔT) дополнительно будет выработана электроэнергия при установленной мощности, приращение КИУМ по отношению к базовому $КИУМ_0$ можно оценить как

$$\Delta КИУМ = КИУМ - КИУМ_0 \approx \frac{\mathcal{E}_0 + \Delta T \cdot N_y - \mathcal{E}_0}{N_y \cdot T} \approx \frac{\Delta T}{T} \cdot 100\% . \quad (1)$$

¹ В отдельных случаях к численным оценкам КИУМ следует относиться достаточно осторожно. Так, в США обычно при оценке КИУМ используется не значение установленной мощности, а максимально обеспечиваемая мощность в летний период, что приводит к затруднению при сопоставлении соответствующих значений КИУМ.

Из выражения (1), например, следует, что сокращение ежегодной длительности ППР на 10 сут приводит к увеличению КИУМ приблизительно на 2 – 3 %.

Принятая новая отраслевая программа повышения КИУМ АЭС Украины на 2007 – 2010 гг. [1] определяет следующие основные оргтехнические мероприятия для ОП ЗАЭС, как крупнейшей и базовой станции, эксплуатирующей серийные энергоблоки с ВВЭР 1000/В320: применение дополнительного количества установок ВТК и создание базы данных состояния ТОТ; применение дополнительного количества установок дистанционного глушения ТОТ ПГ; применение прочно-плотных заглушек в коллекторах ПГ; использование тепловизоров для диагностики и др. Кроме этих мероприятий, направленных в основном на совершенствование технических средств и контроля ТОиР, руководящими документами и протоколом дирекции НАЭК [2, 3] предусмотрен также проект по модернизации планирования и управления ремонтными кампаниями энергоблоков ЗАЭС, в который включены разработки рабочих регламентов технического обслуживания и ремонта систем, важных для безопасности; рабочих программ перехода на ремонт по техническому состоянию; автоматизации организации и управления ТОиР; технических решений по оптимизации планирования технического обслуживания и испытаний систем безопасности в период ремонтных кампаний; технических решений по оптимизации периодичности контроля ТОТ ПГ; технических решений по оптимизации периодичности испытания на герметичность системы гермооболочки и др.

Наиболее экономичным направлением повышения КИУМ является оптимизация планирования ремонтов энергоблоков, которая заключается в разработке и внедрении мероприятий, направленных на максимально возможное сокращение продолжительности ремонтов, испытаний, контроля при условии обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности эксплуатации. Так, для примера, в инвестиционном проекте Балаковской АЭС (ВВЭР-1000/320) по повышению эффективности производства установлено, что величина инвестиций, требуемых для повышения КИУМ, резко возрастает в зависимости от абсолютной величины КИУМ. Как оптимальный вариант, с точки зрения экономических затрат на повышение КИУМ, предлагается значение КИУМ до 85,8 %. Конечно, к этим и подобным количественным оценкам (например, инвестиционный проект обоснования повышения КИУМ для 3-го блока РАЭС – 86,9 % при сроках окупаемости 5 лет), а также к их распространению на другие энергоблоки АЭС с ВВЭР следует относиться, на наш взгляд, достаточно осторожно, так как весь комплекс возможных организационно-технических мероприятий, направленных на повышение КИУМ на разных этапах инвестиционных проектов, не является однозначным и универсальным. Так, в основе анализа указанных инвестиционных проектов на заключительных этапах повышения КИУМ рассматриваются в основном «дорогостоящие» мероприятия по модернизации/замене оборудования/систем, технических средств ремонта и контроля и т.п. Приоритетное применение мероприятий, не требующих существенных экономических затрат, может быть эффективным при любом текущем значении КИУМ. Примерами таких мероприятий могут быть следующие: обоснованное (с позиций надежности и безопасности) сокращение плановых испытаний и ремонтов систем безопасности, периодичности и объемов контроля, внедрение стратегий ремонта, ориентированных на надежность, и автоматизированных систем управления ТОиР и др. [4, 5]. Одним из эффективных направлений реализации этой концепции является совершенствование документации по организации и проведению ТОиР, разработка и внедрение технических решений по оптимизации контроля и испытаний в период ремонтных кампаний, внедрение программ перехода на ремонт по техническому состоянию и автоматизации управления и планирования ТОиР энергоблоков АЭС.

Реализация отраслевых программ по продлению эксплуатации и управлению старением также требуют совершенствования организации и управления ремонтными кампаниями, как в проектные, так и сверхпроектные периоды эксплуатации.

Указанные положения определяют актуальность проекта по оптимизации планирования и управления ремонтов энергоблоков ЗАЭС.

Основное содержание проекта и ожидаемые результаты. Передовой международной и отечественный опыт (в т.ч. АЭС Ловииса (Финляндия), эксплуатирующая ВВЭР и имеющая на протяжении последних десятилетий стабильно один из наибольших КИУМ в мире) показывает, что одним из решающих факторов повышения эффективности производства и КИУМ АЭС является оптимизация планирования и управление ремонтными кампаниями. Оптимизация подразумевает максимально возможное сокращение продолжительности критических путей ремонта и производственных затрат при обеспечении требований и условий безопасности, качества ТОиР и достаточной надежности систем и оборудования АЭС. Оптимизация планирования и управления ремонтом энергоблоков ЗАЭС может быть достигнута на основе разработки и внедрении в рамках целей отраслевой программы повышения КИУМ рабочей документации по:

- оптимизации продолжительности критических путей ремонта;
- автоматизации систем управления ремонта (АСУ ТОиР);
- техническим решениям обоснованного перехода на ремонт, техническое обслуживание и испытание систем и оборудования по техническому состоянию и надежности.

Методическое обеспечение оптимизации продолжительности критических путей ремонта основано на следующих положениях:

- по результатам статистической обработки продолжительности отдельных работ на критических путях ремонта энергоблоков из эксплуатационного опыта определяются минимально возможные оценки;

- далее полученные оценки продолжительности отдельных работ на критических путях ремонта сопоставляют с требованиями проектно-конструкторской и нормативно-технической документации, на основе которого определяются предварительные оптимальные оценки;

- окончательные оптимизированные оценки продолжительности критических путей ремонта определяются на основе итерационных процедур, вызванных возможностью появления в процессе оптимизации дополнительных критических путей.

Таким образом, основным критерием оптимизации является определение минимально возможных продолжительностей критических путей ремонта при обеспечении требований по надежности и безопасности.

Такой подход был успешно применен ранее при разработке стандартов НАЭК «Энергоатом» по нормам продолжительности ремонта энергоблоков АЭС с ВВЭР 440 и ВВЭР 1000 (СТП 0.05.053-2004, СТП 0.05.05-2004) [4]. Полученные в последнее время результаты вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для остановочных режимов реакторов ВВЭР 1000/В320 позволяют дополнительно оптимизировать критические пути ремонтов энергоблоков ЗАЭС по влиянию продолжительности ремонта оборудования систем безопасности на вероятностные показатели безопасности, регулируемые ОПБУ-2008.

Необходимость разработки и внедрения автоматизированных систем управления АСУ ТОиР определяется требованиями правил организации ТОиР энергоблоков НАЭК «Энергоатом» [2]. Опыт внедрения АСУ ТОиР типа Primavera Systems и соответствующих автоматизированных информационных систем TIMS-MMS на АЭС Ловииса (эксплуатирующая ВВЭР) позволил стабильно достичь наиболее высокие в мире значения КИУМ. Положительный опыт применения АСУ Primavera Systems отмечен также на АЭС России. Так, за годы эксплуатации Ленинградской АЭС на основе соответствующего программного обеспечения АСУ ТОиР было создано более 100 производственных графиков, позволивших синхронизировать между собой около 500 технологических процессов для капитального ремонта [4]. В 2002 г. концерн «Росэнергоатом» принял решение о широком внедрении АСУ ТОиР на базе известных программных продуктов, основной целью которого является информационная поддержка при оптимизации планирования, подготовки и проведения ремонтных кампаний АЭС России.

Пример планирования ремонтов на АЭС Ловииса (ВВЭР-440) «процессным» подходом приведен на рис. 2. Все процессы объединяются в отдельные пакеты АСУ ТОиР и представляются на логической диаграмме (блок-схеме) при соотношении друг с другом. Когда ремонтные работы в рамках определенного пакета работ завершены, данный участок деизируется и система вводится в эксплуатацию. Все пакеты хранятся в автоматизированной системе управления ремонтами (Computerized Maintenance Management System, CMMS). Подобный подход также применяется и на АЭС в США.

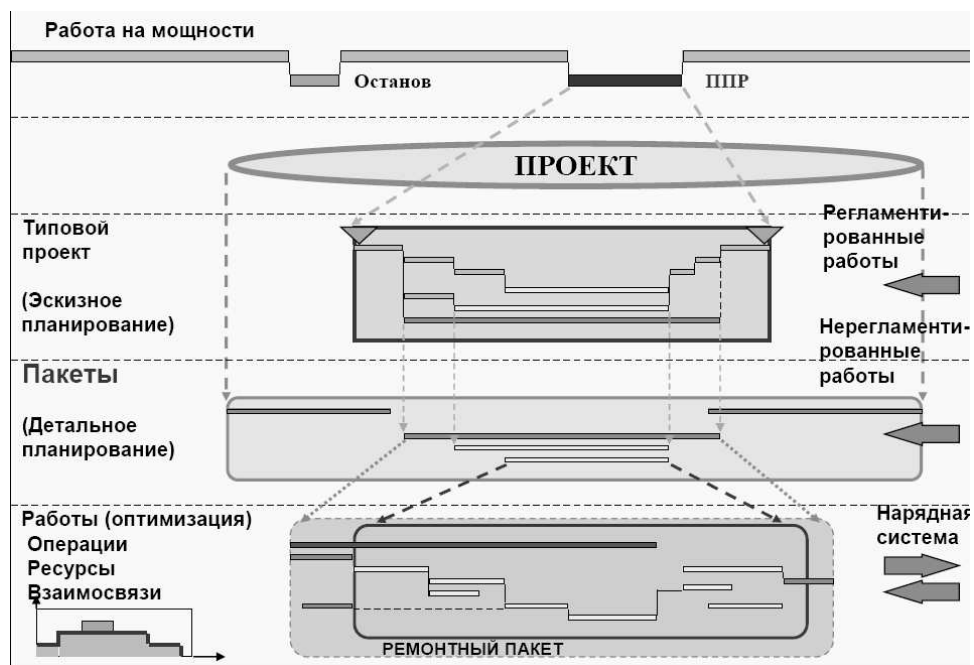


Рис. 2. Структурная схема планирования ремонтов на АЭС Ловииса.

Типичные автоматизируемые процессы управления проектами ТОиР на АЭС России приведен на рис. 3 [4].

Планируемые технические решения по сокращению продолжительности ремонтов энергоблоков основаны на обосновании следующих мероприятий:

1. Переход на ТОиР отдельных систем и оборудования зависит от:
 - технического состояния (соответствия определяющих параметров технического состояния установленным проектно-конструкторским критерием);
 - влияния на общие показатели безопасности или эффективности;
 - прогнозных оценок текущего состояния, полученных вероятностными методами [4, 5].
2. Оптимизация периодичности и объемов ВТК ТОТ ПГ на основе общепринятых риск-ориентированных подходов [6].
3. Оптимизация периодичности плановых ремонтов систем безопасности по результатам опыта их испытаний в межремонтных периодах на основе риск-ориентированных методов [5].
4. Оптимизация периодичности испытаний избыточным давлением на герметичность системы гермооболочки на основе опыта эксплуатации и верифицированных вероятностных прогнозных оценок [5].

Основные ожидаемые результаты проведенных работ:

1. Оптимизированные план-графики ремонтных кампаний ЗАЭС.
2. Программно-методическое обеспечение и базы данных АСУ ТОиР энергоблоков ЗАЭС.

3. Технические решения по переходу на ТОиР, а также испытания систем и оборудования энергоблоков ЗАЭС по техническому состоянию и надежности.

4. Ожидаемое сокращение продолжительности ППР энергоблоков ЗАЭС по результатам внедрения работ - около 7 - 12 сут на энергоблок, что определяет значительный экономический эффект, существенно превышающий затраты на выполнение этих работ.



Рис. 3. Типичные процессы управления проектами ТОиР [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПМ-Д.0.03.445-07 «Программа повышения коэффициента использования установленной мощности энергоблоков атомных электростанций ГП НАЭК «Энергоатом» на 2007 - 2010 гг.».
2. СОУ-Н ЯЕК 1.010:2008 «Правила организации ТОиР систем и оборудования АЭС».
3. Протокол технического совещания по развитию и модернизации планирования, организации и управлению ремонтом энергоблоков ЗАЭС, утвержденного первым вице-президентом и вице-президентом по ремонту и заводскому производству ГП НАЭК «Энергоатом» (сентябрь, 2008 г).
4. Коврижкин Ю.Л., Урбанский В.В., Колыханов В.Н., Кочнева В.Ю., Скалозубов В.И. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков АЭС с ВВЭР: Монография. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008.
5. Коврижкин Ю.Л., Комаров Ю.А., Пышный В.М., Скалозубов В.И., Фольтов И.М. Оптимизация планирования ремонтов и испытаний систем безопасности АЭС на основе риск-ориентированных подходов: Монография. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008.
6. Программа ГКЯРУ – НАЭК по внедрению риск-ориентированных подходов в эксплуатационную и регулирующую деятельность.

**ПРОЕКТ І ПЕРСПЕКТИВИ ПРОГРАМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ
РЕМОНТНИХ КАМПАНІЙ ЕНЕРГОБЛОКІВ ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС**

М. М. Подушка, А. М. Ристенков, В. І. Скалозубов, Ю. Л. Коврижкін

Наведено техніко-економічні обґрунтування, зміст та очікувані результати реалізації перспективної програми оптимізації планування Запорізької АЕС.

Ключові слова: коефіцієнт використання встановленої потужності, плановий ремонт, технічне обслуговування та ремонт, автоматизовані системи керування, ремонт за технічним станом, ризик-орієнтовані підходи.

**DRAFT OPTIMIZATION PROGRAM TO SCHEDULE AND MANAGE REPAIR CAM-
PAIGNS FOR POWER UNITS OF ZAPORIZHZHYA NPP AND ITS PROSPECTS**

M. M. Podushka, A. M. Rystenkov, V. I. Skalozubov, J. L. Kovrizhkin

Technical and economic grounds, contents and expected results of realization of the perspective optimization program of scheduling at Zaporizhzhya NPP are presented in the article.

Keywords: installed nuclear capacity factor, scheduled repair, maintenance and repair, automated control system, repair over technical state, risk-informed approaches.

Поступила в редакцію 14.09.09