

УДК 621.311.25:621.039

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ ПУТЕЙ ПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С ВВЭР

Ю. Л. Коврижкин

ГП НАЭК «Энергоатом», Киев

Приведен анализ и основные результаты оптимизации продолжительности критических путей плановых ремонтов энергоблоков АЭС Украины с ВВЭР.

Актуальность

Многолетний опыт эксплуатации АЭС с ВВЭР (сотни реакторо-лет) показал, что решающе влияние на повышение эффективности производства коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) действующих энергоблоков АЭС с ВВЭР оказывает обоснованное с позиций надежности и безопасности сокращение продолжительности простоев энергоблоков по причине плановых или внеплановых (аварийных) ремонтов. При этом доминантным вкладчиком в снижение КИУМ являются плановые ремонты, как наиболее продолжительные и частые. Поэтому ключевым вопросом повышения эффективности производства является сокращение продолжительности плановых ремонтов за счет: модернизации систем ядерного топлива и его перегрузки; модернизации оборудования и технических средств проведения ремонтных кампаний; оптимизации и автоматизации управления и планирования ремонтных кампаний.

Наиболее экономически эффективным направлением повышения КИУМ являются оптимизация планирования ремонтов энергоблоков. Оптимизация планирования ремонтов энергоблоков заключается в разработке и внедрении мероприятий, направленных на максимально возможное сокращение продолжительности ремонтов, испытаний, контроля при условии обеспечения необходимого уровня надежности и безопасной эксплуатации.

Основные положения и результаты

Концепция целенаправленного увеличения КИУМ должна основываться на двух общих принципах - технико-экономической целесообразности и обеспечения приемлемого уровня безопасности. Принцип технико-экономической целесообразности определяет необходимый $КИУМ_n$ и должен учитывать: целесообразность для эксплуатирующей организации, как составной части энергетической отрасли, в увеличении производства электроэнергии (в том числе платежеспособность энергорынка, диспетчерские и другие ограничения); рентабельность удельных затрат на производство дополнительной электроэнергии и сроки окупаемости этих затрат; технологические и экономические возможности реализации технических решений и мероприятий по повышению КИУМ. Принцип обеспечения приемлемого уровня безопасности определяет допустимый $КИУМ_d$ и должен учитывать: нормативные критерии безопасности; проектные пределы и условия нормальной и безопасной эксплуатации.

Указанные принципы являются основой критериев оптимизации КИУМ: технико-экономический критерий отражает целесообразность увеличения КИУМ в результате изменения факторов, влияющих на его повышение, а критерий приемлемого уровня безопасности ограничивает изменение факторов предельно допустимыми (с позиций безопасности) значениями. Оптимизация КИУМ сводится к разработке и внедрению комплекса организационно-технических мероприятий $\sum_i \Phi_i(\Delta КИУМ_i)$, направленных как на достижение максимально необходимого $КИУМ_n$, так и увеличения допустимого $КИУМ_d$ в рамках соблюдения принципов технико-экономической целесообразности и обеспечения приемлемого уровня безопасности (рис. 1).

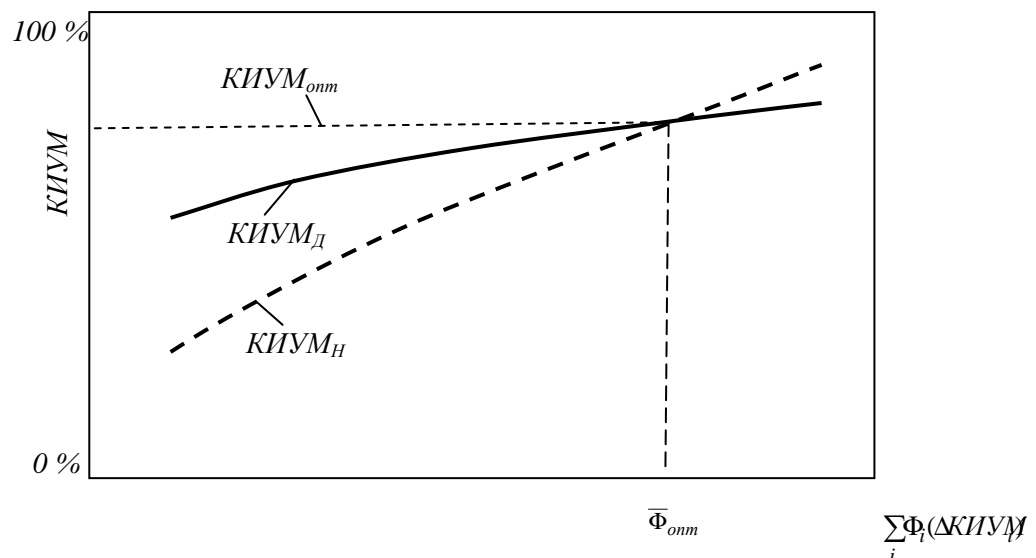


Рис. 1. Достижение оптимального КИУМ.

Все известные инвестиционные проекты по повышению эффективности производства АЭС (в том числе и для АЭС с ВВЭР) показали ограниченность на определенных этапах развития «дорогостоящих» направлений повышения КИУМ по причине неэффективных сроков окупаемости капитальных затрат. С экономической точки зрения более перспективным направлением повышения эффективности АЭС является оптимизация планирования ремонтов энергоблоков, которая заключается в максимально возможном сокращении продолжительности ремонтов при обеспечении необходимого уровня надежной и безопасной эксплуатации. Многолетний опыт АЭС Украины с ВВЭР показал, что свыше 80 % от общего вклада в достижение оптимальных КИУМ составляет продолжительность плановых ремонтов энергоблоков. Тенденция повышения надежности эксплуатации (снижение аварийных и внеплановых остановов) приводит к увеличению этой доли.

Оптимизация планирования ремонтов энергоблоков может реализоваться в несколько этапов:

1. Первоначальная оптимизация сетевых графиков ремонта для сокращения продолжительности критических путей в рамках соблюдения проектных требований и регламентов (повышение $KIUM_n$).

2. Обоснованные изменения проектных требований к стратегии, периодичности, объему и продолжительности организационно-технических мероприятий по техническому обслуживанию, испытаниям и контролю в процессе ремонтной кампании для устранения дополнительных критических путей по результатам первоначальной оптимизации планирования ремонта (повышение $KIUM_d$).

3. Последующая оптимизация сетевых графиков ремонта с учетом оптимизации планирования технического обслуживания, испытаний и контроля оборудования и систем энергоблока.

Оптимизация сетевых графиков ремонта возможна на основе оптимизации критических путей. Продолжительность ремонтов энергоблоков можно оценить соотношением

$$T_{ППР} = \sum_i t_{ki}, \quad (1)$$

где t_{ki} — продолжительность i -го вида работ на критическом пути. Предельно минимальные значения продолжительности этих работ на критических путях ремонтов ($\lim t_{ki}$) при обеспечении приемлемого уровня надежности и безопасности определяют величину допустимого КИУМ ($\sum \lim t_{ki}$). Условия для оптимальной продолжительности ремонтов энергоблоков

$$КИУМ (T_{np}^{opt}) = КИУМ \left(\sum \lim t_{ki} \right), \quad T_{np}^{opt} = \sum_i \lim t_{ki}. \quad (2)$$

В качестве критерия значимости работы для сокращения срока ремонта может быть использована частота нахождения работы на критическом пути. Использование критерия позволит определить приоритетные работы, по которым следует добиваться сокращения сроков их выполнения в первую очередь. Значения частот нахождения укрупненных видов ремонтных работ для реакторной установки и вспомогательного оборудования на критическом пути средних и капитальных планово-предупредительных ремонтов (ППР) на основе эксплуатационной статистики АЭС Украины с ВВЭР-1000 приведены в таблице. На основе статистических данных по опыту эксплуатации для средних и капитальных ППР средние резервы времени Δt_i по сокращению отдельных видов работ на критическом пути ремонта

$$\Delta t_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{n} - \min t_i, \quad (3)$$

где t_i – продолжительность i -й работы в отдельном ППР; n – число проведенных ППР; $\min t_i$ – минимальное время (по опыту эксплуатации), необходимое для проведения i -й работы при обеспечении принципов и условий безопасности.

Доля отдельных укрупненных работ на критических путях средних и капитальных ремонтов

Вид работ	Вид ремонта	
	средний	капитальный
Работы на реакторе	63	70
Работы в бассейне выдержки, %	9	13
Работы с оборудованием 1-го контура (1К), %	9	7
Работы с главным циркуляционным насосом (ГЦН), %	2	2
Работы по ремонту систем безопасности (СБ), %	4	3
Работы по ремонту АСУ, %	2	–
Работы на парогенераторе (ПГ), %	11	5
Всего	100	100

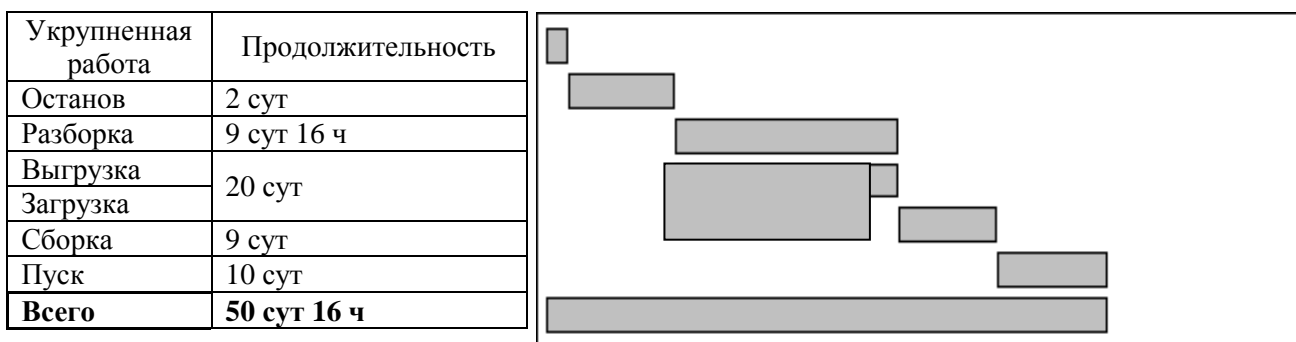


Рис. 2. Средний ремонт реактора.

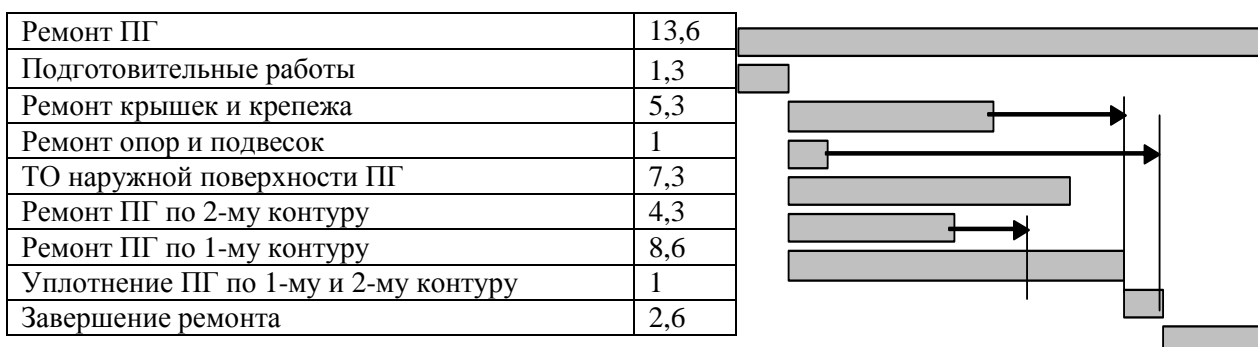


Рис. 3. Ремонт ПГ.

Ремонт ГЦН	25,3
Подготовка	0,6
Ремонт оборудования вспомогательных систем и шаровых опор	2,0
Разборка ГЦН	3,6
Снятие электродвигателя	0,6
Разборка. Извлечение выемных частей из улитки насоса. Установка заглушки	3,0
Разборка, дефектация, ремонт и сборка электродвигателя.	3,6
Деактивация и ремонт электронасоса	4,6
Ремонт выемной части	14,3
Разборка	4,3
Ремонт	7,6
Сборка	2,3
Работы с крепежом	1,6
Сборка ГЦН	4,6
Снятие заглушки. Установка выемной части в улитку насоса.	3,3
Установка электродвигателя и электронасоса	1,3
Ремонт наружной поверхности улитки	3,0
Завершение ремонта ГЦН	2,0

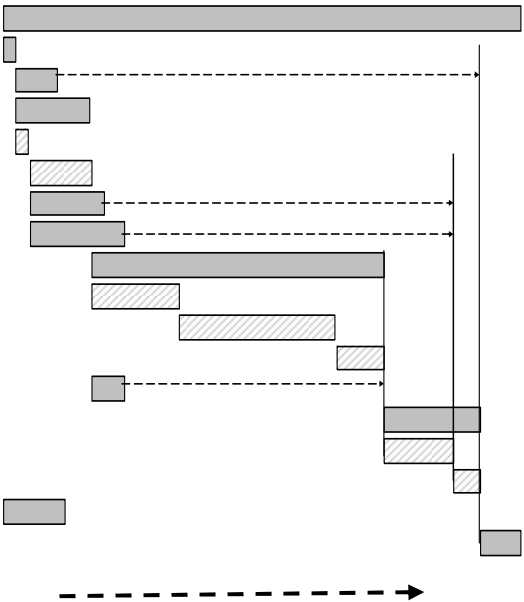


Рис. 4. Ремонт ГЦН.

Ремонт системы технической воды	26 сут 15 ч
Дренаживание системы технической воды	1 сут 4 ч
Ремонт насосного оборудования	20 сут 11 ч
Ремонт брызгальных бассейнов	16 сут 8 ч
Заполнение системы СБ по технической воде	1 сут
Вывод в ремонт СБ	8 ч
Ремонт секций и сборок СБ	20 сут 19 ч
Ремонт арматуры и КИП	22 сут 3 ч
Ремонт насосного оборудования	22 сут 3 ч
Ремонт теплообменного оборудования	21 сут 5 ч
Ремонт вентиляционных систем СБ	21 сут
Проверка, настройка и прокрутка насосов	3 сут
Ремонт дизельгенератора	21 сут 14 ч
техническое обслуживание батарей	24 сут 3 ч
Послеремонтные испытания канала СБ	1 сут

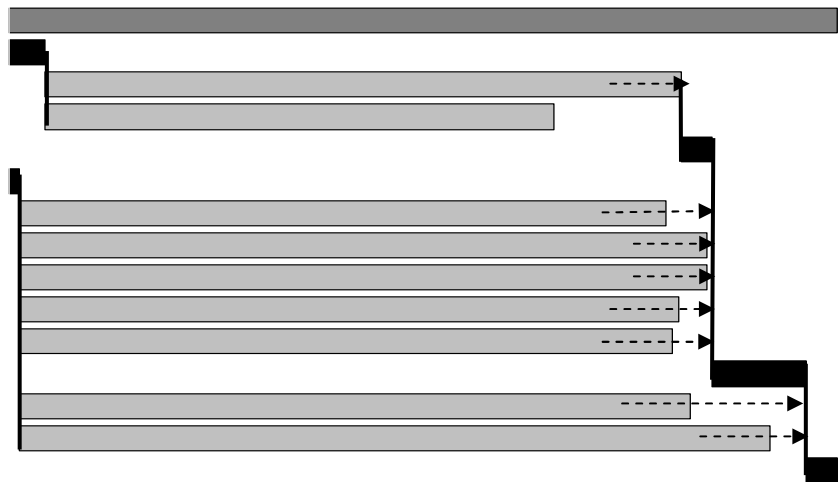


Рис. 5. Ремонт канала СБ.

Отдельные результаты оптимизации планирования укрупненных сетевых графиков ремонта реактора, ГЦН, ПГ и СБ серийного энергоблока ВВЭР-1000 приведены на рис. 2 – 5 (без учета модернизации технических средств ремонта и контроля).

Выводы. На основе предложенного метода оптимизации критических путей ремонтных работ усовершенствованы типовые сетевые графики ремонта, продолжительность которых на 20 – 30 % меньше ранее действовавших норм для АЭС с ВВЭР. Внедрение разработанных типовых графиков обеспечивает большой экономический эффект для ядерной энергетики Украины – десятки миллионов долларов США в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Риск-ориентированные* подходы оптимизации технического обслуживания и эксплуатационного контроля СВБ АЭС / Д. В. Билей, С. В. Васильченко, Н. И. Власенко и др.; Под ред. В. И. Скалозубова. – Одесса: ТЭС, 2004. – 531 с.
2. *Оптимизация* планирования ремонтов и испытаний систем безопасности АЭС на основе риск-ориентированных подходов / Ю. Л. Коврижкин, Ю. А. Комаров, В. М. Пышный и др.; Под ред. В. И. Скалозубова. – Одесса: ТЭС, 2006. – 383 с.
3. *Оптимизация* планирования ремонтов АЭС с ВВЭР / Ю. Л. Коврижкин, В. Н. Колыханов, В. Ю. Кочнева, В. И. Скалозубов; Под ред. В. И. Скалозубова. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2008. – 518 с.

Поступила в редакцию 06.02.08

**21 ОПТИМІЗАЦІЯ ТРИВАЛОСТІ КРИТИЧНИХ ШЛЯХІВ ПЛАНОВИХ РЕМОНТІВ
ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС ІЗ ВВЕР**

Ю. Л. Коврижкін

Наведено аналіз та основні результати оптимізації тривалості критичних шляхів планових ремонтів енергоблоків АЕС України з ВВЕР.

**21 OPTIMIZATION OF DURATION OF CRITICAL WAYS OF SCHEDULED REPAIRS OF POWER
UNITS OF THE ATOMIC POWER STATION WITH VVER**

J. L. Kovrizhkin

In clause the analysis and the basic results of optimization of duration of critical ways of scheduled repairs of power units of the atomic power station of Ukraine with VVER is resulted.