

УДК 681.5

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ КАМПАНИИ ЭНЕРГОБЛОКА АЭС ВВЭР-1200

ПУТИЛИН В.Н.

*Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники,  
(Минск, Республика Беларусь)*

**Аннотация.** Определены и обоснованы основные принципы реализации на АЭС безопасных и экономически эффективных топливных циклов энергоблока технологии ВВЭР. Исследованы факторы увеличения выгорания топлива, повышения эксплуатационной надежности и эксплуатационного ресурса ТВС. Рассмотрены условия для повышения тепловой мощности энергоблоков, увеличение длительности топливных кампаний, уменьшение нейтронной нагрузки на корпус реактора.

**Ключевые слова:** Топливная кампания, глубина выгорания ядерного топлива, активная зона реактора, перезагрузка ядерного топлива, поле энерговыделения.

## WAYS TO IMPROVE THE FUEL CAMPAIGN NPP POWER UNIT VVER-1200

PUTILIN V.N.

*Belarusian State University of Informatics  
and radio electronics,  
(Minsk, Republic of Belarus)*

**Abstract.** The basic principles of the implementation of safe and cost-effective fuel cycles of the VVER technology power unit at nuclear power plants are defined and justified. The factors of increasing fuel burn-up, increasing the operational reliability and operational life of fuel assemblies are investigated. The conditions for increasing the thermal power of power units, increasing the duration of fuel campaigns, and reducing the neutron load on the reactor vessel are considered.

**Keywords:** Fuel campaign, depth of nuclear fuel burnout, reactor core, nuclear fuel reset, energy release field.

### Введение

В настоящее время имеется несколько направлений исследования задачи улучшения топливной кампании. Экономичность работы АЭС в значительной степени определяется эффективностью использования ядерного топлива. В тоже время единственным задаваемым параметром при расчетах топливной загрузки ядерного реактора служит длительность кампании, которая определяется планируемой нагрузкой энергоблока на предстоящий период.

### Методика проведения исследований

В рабочей кампании главной задачей расчета топливной загрузки является получение схемы перестановки ТВС при перегрузке и расчет нейтронно-физических характеристик реактора для выбранной схемы расположения и порядка замены ТВС с учетом всех факторов, влияющих на глубину выгорания ядерного топлива. При этом представляет интерес решение задачи сохранения длительности кампании при снижении числа загружаемых тепловыделяющих сборок (ТВС) со свежим топливом, что позволит снизить совокупные эксплуатационные и топливные затраты

### Результаты и обсуждение

В процессе эксплуатации ядерного реактора непрерывно изменяется нуклидный состав ядерного топлива, причем как во время работы ЯР, так и после его остановки. При этом происходит интенсивная реакция деления  $^{235}\text{U}$  и других делящихся нуклидов, а также поглощение нейтронов ядрами  $^{238}\text{U}$  и других изотопов урана. Параллельно с выгоранием ядерного топлива в активной зоне идут процессы воспроизводства вторичного ядерного топлива, шлакования и отравления ядерного реактора. Наиболее распространенной характеристикой глубины выгорания ядерного топлива служит количество выделенной за кампанию тепловой энергии, отнесенной к единице массы ядерного топлива, загруженного в

ядерный реактор - МВт-сут/т. Для получения 1 МВт - сут требуется выгорание 1,1 г  $^{235}\text{U}$ . Если в первом приближении принять эту величину за единицу, то глубина выгорания ядерного топлива в мегаватт-сутках на тонну будет численно равна отношению массы продуктов деления в килограммах к полной топливной загрузке в тоннах. Для энергоблоков с ВВЭР глубина выгорания ядерного топлива достигает 3-5% (30 000-40 000 МВт - сут/т).

Глубина выгорания ядерного топлива зависит от большого числа факторов:

1. Необходимость иметь даже в конце кампании критическую массу топлива и определенный избыток над нею, создающий запас реактивности, необходимый для компенсации шлакования, отравления и, в случае необходимости, температурного эффекта реактивности;

2. Наличие ограничений по выбору избытка массы ядерного топлива над критической в момент перегрузки, поскольку имеющиеся в ядерном реакторе органы СУЗ не в состоянии компенсировать чрезмерно большой запас реактивности;

3. Стойкость оболочек ТВЭЛов, которая связана как с накоплением продуктов деления, так и с общей продолжительностью работы ТВЭЛов в ядерный реактор и режимами его работы. Накопление газообразных продуктов деления, особенно при большой глубине выгорания, приводит к большому увеличению внутреннего давления на оболочку ТВЭЛа. Этот эффект усиливается возможным распуханием топлива при накоплении в нем продуктов деления. В сочетании с термоциклическими нагрузками, а также радиационными и коррозионными повреждениями это может стать причиной разгерметизации ТВЭЛов.

Глубина выгорания ядерного топлива зависит также и от процесса его перегрузки, которая может быть полной или частичной. Нейтронное поле и энерговыделение неравномерны по радиусу и высоте активной зоны, и ТВЭЛы, расположенные в разных точках активной зоны, работают с неодинаковыми тепловыми потоками и температурами как сердечника, так и оболочки. Вследствие этого неравномерно происходит и выгорание ядерного топлива. Более интенсивно оно происходит в центре активной зоны, менее интенсивно - на ее периферии. Если проводить полную перегрузку, то наряду с ТВЭЛами, в которых достигнуто глубокое выгорание ядерного топлива, будут выгружены и ТВЭЛы с относительно небольшой степенью выгорания. Поэтому на практике полная перегрузка применяется редко, и используется режим частичных перегрузок ядерного топлива.

При частичной перегрузке из ядерного реактора выгружается и заменяется свежим лишь наиболее выгоревшая часть топлива. Остальное топливо, как правило, перемещается в другую часть активной зоны. Для выравнивания поля энерговыделения в активной зоне обычно ядерное топливо перемещается от периферии к центру активной зоны. Свежее топливо при частичной перегрузке размещают в периферийной части активной зоны. ТВС со слабовыгоревшим ядерным топливом последовательно перемещают к центральной зоне. Чем большее число перегрузок за одну топливную кампанию, тем с меньшими избытками топлива и с меньшими запасами реактивности, предназначенными для компенсации избытка топлива, может работать ядерный реактор.

Достижение заданной глубины выгорания топлива при допустимых удельных тепловых нагрузках целиком определяется продолжительностью пребывания твэлов в активной зоне. Профилирование топливной загрузки осуществляется персоналом ОЯБ АЭС расчетным путем на базе пакета прикладных программ (ППП), применительно к вычислительной технике, используемой на АЭС. Расчет топливной загрузки энергоблока предопределяет экономические показатели эксплуатации АЭС и уровень ядерной безопасности при последующей эксплуатации энергоблока.

Примером реализации такого подхода является ВВЭР-1200, в котором при повышенной на 20% мощностью предусмотрена возможность работы 18 месяцев без перегрузки топлива и проводятся работы по подготовке к дальнейшему удлинению цикла до 24-х месяцев. Увеличение мощности было достигнуто благодаря, в том числе, большей энергонапряженности ТВЭЛов, работающих с большим обогащением (среднее - 4,85, максимальное - 4,95% U235), увеличенным по возможности содержанием урана в ТВС (его количество в ТВС практически такого же размера поднято с 506 до 546 кг), новой технологией изготовления таблетки.

### **Заключение**

Таким образом, можно определить основные направления совершенствования топливной кампании энергоблока: повышение эксплуатационной надежности и эксплуатационного ресурса ТВС; реализация на АЭС безопасных и экономически эффективных топливных циклов, включая увеличение выгорания топлива, создание условий для повышения тепловой мощности энергоблоков, увеличение длительности топливных кампаний, уменьшение нейтронной нагрузки на корпус реактора.

### **Список литературы**

1. Марков Ю.В., Сидоренко В.А. Введение в разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации ядерных установок типа ВВЭР- М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013. -176с. Росэнергоатом.