

Раздел 4 Режимы работы АЭС

Основным режимом работы энергоблока АЭС является работа в базовом режиме на 100 % мощности. Оборудование и системы энергоблока допускают возможность работы в маневренных режимах регулирования мощности.

Энергоблок предназначен для работы в базовом режиме с КИУМ не менее 90 %.

Длительность работы энергоблока вне пределов регулировочного диапазона, включая работу на внутреннюю сеть собственных нужд, определяется проектом и составляет не менее 45 мин.

Энергоблок обеспечивает работу в режимах следования за нагрузкой в течение всего срока эксплуатации в диапазоне 100–75–100 % $N_{ном}$ в соответствии с суточным графиком на рисунке 4.1 со скоростями изменения мощности не более 5 % $N_{ном}/мин$ с количеством циклов не более 200 в год (но не более двух циклов в сутки).

Продолжительность кампании, в течение которой будут выполняться указанные требования, обосновывается в процессе проектирования на основе анализа режимов нестационарного отравления активной зоны продуктами распада ксенона и самария. При этом компенсация эффектов нестационарного отравления будет проводиться с учетом вклада водообмена теплоносителя первого контура.

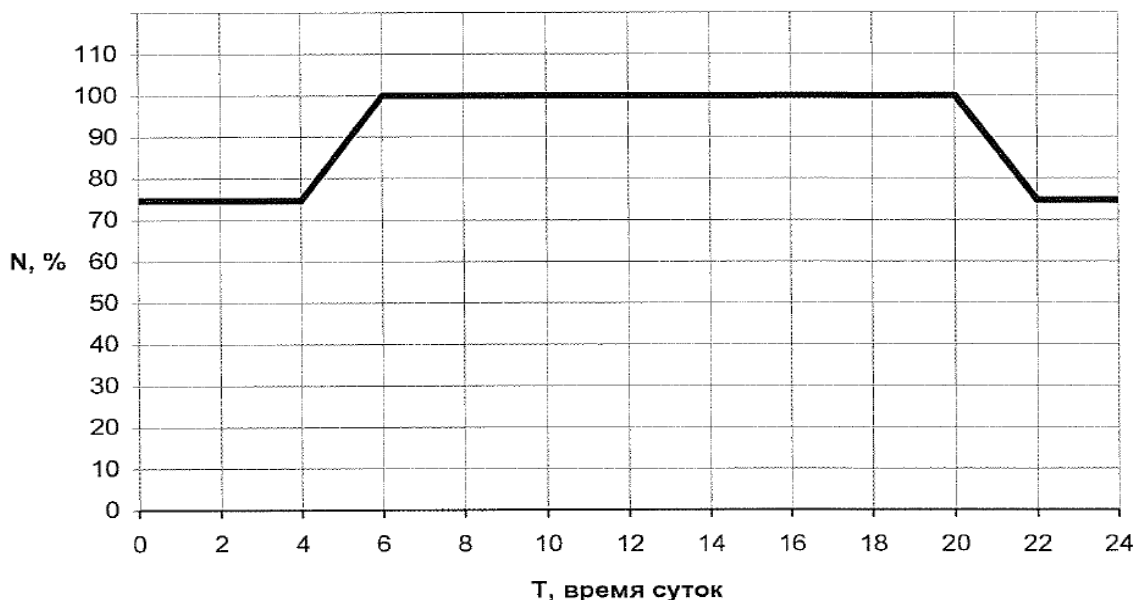


Рисунок 4.1 - Суточный график изменения мощности

В базовом режиме работы обеспечивается поддержание заданного уровня мощности энергоблока с возможностью планового перехода с одного уровня мощности на другой.

Энергоблок допускает аварийное кратковременное снижение нагрузки и ее быстрое восстановление вплоть до исходной в пределах регулировочного диапазона с оговоренными характеристиками режимов, включая скорость и величину изменения мощности, количество циклов.

Энергоблок выдерживает без повреждения оборудования любые виды короткого замыкания в сетях при оговоренных с Заказчиком характеристиках нарушения и количества циклов.

Энергоблок обеспечивает режим поддержания частоты в энергосистеме.

Энергоблок обеспечивает максимальный отпуск тепла из нерегулируемых отборов турбины до 46,6 МВт, с соответствующим снижением электрической мощности.

Энергоблок обеспечивает работу на сниженном уровне мощности в случае отказов части оборудования РУ и ПТУ, в том числе:

- при отключении половины конденсатора турбины - на мощности до 60 % $N_{ном}$;
- в случае работы РУ с неполным числом петель;

- на трех петлях - до 67 % $N_{ном}$;
- на двух петлях - 40-50 % $N_{ном}$.

В проекте обеспечивается время пуска в зависимости от длительности останова, приведенное в таблице 4.1.

Таблица 4.1.– Время пуска в зависимости от длительности останова

Время останова, ч	Температурные условия		Время вывода на полную нагрузку, ч
	реактора	турбины	
<8	горячие	горячие	3*
8-120	горячие	холодные	6
>120	холодные	холодные	24

* Ограничения могут иметь место в конце топливного цикла

Проект энергоблока выполнен таким образом, чтобы определенные стандартные отказы во внешней энергосети (короткие замыкания, колебания нагрузки, падение напряжения и т.д.) не влияли на работу энергоблока с сохранением устойчивой связи между АЭС и энергосетью. В случае более серьезных отказов в энергосети имеется возможность снижения мощности энергоблока до уровня собственных нужд и их устойчивая эксплуатация на этом уровне нагрузки в течение времени не менее 45 минут до восстановления связей с энергосетью [1].

4.1 Нормальная эксплуатация

Все проектные условия работы РУ в составе АЭС разделены на четыре категории:

- категория 1 – нормальная эксплуатация;
- категория 2 – условия отказов;
- категория 3 – постулируемые аварии класса 1;
- категория 4 – постулируемые аварии класса 2.

Перечень проектных режимов работы РУ в составе АЭС при нормальной эксплуатации (категория 1) приведен в таблице 1.6.1.

Таблица 4.2. Перечень режимов нормальной эксплуатации (категория 1)

Наименование режима	Количество циклов	Примечание
1 Уплотнение оборудования	190	-
2 Заполнение оборудования рабочей средой	190	-
3 Гидравлические испытания первого контура: - на плотность; - на прочность	190 40	-
4 Гидравлические испытания второго контура: - на плотность; - на прочность	140 40	-
5 Опробование пассивной части САОЗ	72	-
6 Разогрев реактора из «холодного состояния» до температуры «горячего состояния»	280	Включает пуски из «холодного состояния» после режимов категорий 2, 3 и 4
7 Пуски из «горячего состояния» до $N_{ном}$	3000	Включает пуски из «горячего состояния» после режимов категорий 2, 3 и 4

8 Стационарный режим (с учетом изменения частоты в сети в интервале 49,0 - 50,5 Гц), в том числе колебания мощности $\pm 1\% N_{\text{НОМ}}$ со скоростью $1\% N_{\text{НОМ}}/\text{с}$	Неограниченно	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню. Допускается работа на двух или трех ГЦНА
9 Изменение мощности энергоблока не менее $\pm 2\% N_{\text{НОМ}}$ и не более $\pm 5\% N_{\text{НОМ}}$ (режим поддержания частоты в сети) со скоростью $1\% N_{\text{НОМ}}/\text{с}$	$7 \cdot 10^6$	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню
10 Изменение мощности энергоблока со скоростью не менее $1\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$ и не более $5\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$ при отклонении от текущего значения не более $\pm 10\% N_{\text{НОМ}}$	$5 \cdot 10^6$	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню
11 Изменение мощности энергоблока по планируемому (диспетчерский график) и не планируемому изменению нагрузки со скоростью не более $5\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$ в диапазоне от $50\% N_{\text{НОМ}}$ до $100\% N_{\text{НОМ}}$	15000	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню
12 Изменение мощности энергоблока в диапазоне от $50\% N_{\text{НОМ}}$ до $100\% N_{\text{НОМ}}$ при аварийных ситуациях в энергосистеме - увеличение мощности со скоростью $5\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$ и дальнейшее снижение мощности со скоростью $20\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$	100	-
13 Изменение мощности энергоблока на $\pm 10\% N_{\text{НОМ}}$ со скоростью $5\% N_{\text{НОМ}}/\text{с}$: - изменение мощности на $-10\% N_{\text{НОМ}}$; - изменение мощности на $+10\% N_{\text{НОМ}}$	1000 1000	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню
14 Изменение мощности энергоблока на $\pm 20\% N_{\text{НОМ}}$ со скоростью $10\% N_{\text{НОМ}}/\text{мин}$: - изменение мощности на $-20\% N_{\text{НОМ}}$; - изменение мощности на $+20\% N_{\text{НОМ}}$	65 65	Цикл означает изменение мощности и возврат к исходному уровню
15 Ложное срабатывание АЗ	200	-
16 Ложное срабатывание ускоренной предупредительной защиты (сброс группы ОР СУЗ)	60	Выход на $60\% N_{\text{НОМ}}$
17 Падение органов СУЗ (единичное)	150	Выход на $80\% N_{\text{НОМ}}$ (после устранения дефекта - на $100\% N_{\text{НОМ}}$)
18 Включение ГЦНА в соответствии с регламентом	500	На каждый ГЦНА
19 Плановое отключение ГЦНА после снижения уровня мощности до требуемых пределов	270	На каждый ГЦНА
20 Включение байпаса ПВД	400	-
21 Эксплуатация на выбеге реактивности в конце топливного цикла	60	-

22 Плановые остановки до «горячего состояния» для последующего расхолаживания до «холодного состояния»	180	Не включает остановки до «горячего состояния» после режимов категорий 2, 3 и 4
23 Опробование ИПУ КД	По регламенту	-
24 Опробование ИПУ ПГ	По регламенту	-
25 Расхолаживание реактора от температуры «горячего состояния» до температуры «холодного состояния»	180	Не включает режимы расхолаживания после режимов категорий 2, 3 и 4
26 Испытание защитной оболочки по специальным программам: - испытание спринклеров с водой; - испытание на плотность; - испытание на прочность	1 60 25	-
27 Опорожнение оборудования	190	-
28 Разуплотнение оборудования	190	-
29 Перегрузка топлива и обслуживание ВКУ	60	-
<p>Примечание</p> <p>1 Приведенные выше циклы включают циклы, набранные при ПНР</p> <p>2 В режиме «холодное состояние»:</p> <ul style="list-style-type: none"> - подкритичность реактора не менее 2 % (без учета погруженных в активную зону ОР СУЗ) за счет создания концентрации раствора борной кислоты в теплоносителе первого контура не менее значения стояночной концентрации; - все ОР СУЗ находятся на нижних концевых выключателях; - температура оборудования первого контура не более 60 °С; - сочетание давления и температуры оборудования первого контура удовлетворяет критерию сопротивления хрупкому разрушению; - в работе система отвода остаточных тепловыделений от активной зоны реактора и от бассейна выдержки топлива <p>3 В режиме «горячее состояние»:</p> <ul style="list-style-type: none"> - концентрация борной кислоты в теплоносителе первого контура обеспечивает подкритичность реактора не менее 1 % без учета погруженных в активную зону ПС СУЗ; - давление в первом контуре – 16,2 МПа; - температура первого контура – от 260 до 284°С; - в КД – паровая подушка; - уровень в КД – 5,1 м от нижней точки внутренней образующей нижнего днища КД; - электроснабжение собственных нужд блока осуществляется от энергосистемы; - поддержание температуры теплоносителей первого и второго контуров производится сбросом пара через БРУ-К или БРУ-СН 		

4.2 Условия отказов

Перечень проектных режимов работы РУ в составе АЭС, отнесенных к условиям отказов (категория 2), приведен в таблице 4.3. Проектные режимы категории 2 соответствуют режимам нарушений нормальных условий эксплуатации.

Таблица 4.3. Перечень проектных режимов, отнесенных к условиям отказов (категория 2)

Наименование режима	Количество циклов	Конечное состояние	Примечание
1 Отключение одного из четырех ГЦНА	300	67 % $N_{\text{ном}}$	75 циклов на один ГЦНА
2 Пуск одного ГЦНА при трех работающих, работа в течение трех минут и - после этого - останов	28	30 % $N_{\text{ном}}$	7 циклов на один ГЦНА
3 Отклонение частоты в сети	30	г.с.	-
4 Отключение четырех ГЦНА	30	г.с.	-
5 Отключение турбины:			-
5.1 Сброс нагрузки с $N_{\text{ном}}$ до нагрузки собственных нужд;	130	г.с.	
5.2 Сброс нагрузки с $N_{\text{ном}}$ до холостого хода турбины;	200	г.с.	
5.3 Отключение турбины стопорной арматурой	130	г.с.	
6 Потеря электропитания собственных нужд блока	30	х.с.	-
7 Потеря нормального расхода питательной воды (отключение всех насосов питательной воды)	30	г.с.	-
8 Ложный впрыск в компенсатор давления от системы подпитки – продувки первого контура	5	г.с.	-
9 Нарушения в системе борного регулирования и регулирования объема или ошибка оператора, что увеличивает объем теплоносителя или уменьшает концентрацию бора в первом контуре	30	г.с.	-
10 Увеличение расхода питательной воды из-за повреждения в системе регулирования питательной воды	120	г.с.	-
11 Ложное срабатывание системы аварийной питательной воды	60	На мощности	-
12 Ложное срабатывание СПОТ	60	На мощности	-
13 Ложное срабатывание САВБ	60	г.с.	-
14 Увеличение расхода пара на турбину (вследствие неправильной работы или отказа регулятора давления пара)	130	г.с.	-
15 Непредусмотренное открытие сбросного клапана ПГ (БРУ-А)	2	х.с.	Для каждого клапана
16 Непредусмотренное открытие ИПУ ПГ	2	х.с.	Для каждого клапана

17 Непредусмотренное открытие байпасного клапана турбины (БРУ-К)	2	г.с.	Для каждого клапана
18 Снижение расхода пара на турбину (вследствие неправильной работы или отказа регулятора давления пара)	130	г.с.	-
19 Ложное закрытие БЗОК	60	г.с.	-
20 Нерегулируемый вывод группы ОР СУЗ из подкритического состояния или пуска на минимально контролируемой мощности, предполагая наиболее неблагоприятные условия по реактивности в активной зоне и системе теплоносителя реактора	20	г.с.	-
21 Нерегулируемый вывод группы ОР СУЗ на определенном уровне мощности (предполагая наиболее неблагоприятные условия по реактивности в активной зоне и первом контуре), что вызывает наиболее тяжелые последствия (исходный уровень мощности между низкой мощностью и полной мощностью)	20	г.с.	-
22 Малые течи из первого контура, компенсируемые системой нормальной подпитки (КВА)	30	х.с.	-
23 Внезапный переход на подпитку первого контура с температурой воды 60 °С	14	На мощности	-
24 Ошибка оператора при подавлении ксеноновых колебаний (перемещение ОР СУЗ, вызывающее максимально возможную деформацию поля энерговыделения)	7	г.с.	-

4.3 Проектные аварии

Перечень проектных режимов работы РУ в составе АЭС, отнесенных к проектным авариям (категория 3 и 4), приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Перечень режимов проектных аварий (категория 3 и 4)

Наименование режима	Количество циклов	Примечание
1 Малые течи с потерей теплоносителя в результате разрыва трубопроводов первого контура ($Dy \leq 100$ мм), некомпенсируемые системой нормальной подпитки	20	-
2 Большие течи теплоносителя в результате разрыва трубопровода первого контура ($Dy > 100$ мм, включая разрыв ГЦТ)	1	-
3 Выброс ОР СУЗ при разрыве чехла привода	7	-
4 Мгновенное заклинивание или разрыв вала ГЦНА	4	один цикл на один ГЦНА
5 Разрыв линии питательной воды ПГ	4	один цикл на один ПГ
6 Спектр разрыва паропровода внутри и вне	4	один цикл на один ПГ

защитной оболочки		
7 Разрыв сборного коллектора острого пара	1	-
8 Течь из первого контура во второй в результате отрыва крышки коллектора первого контура ПГ	4	один цикл на один ПГ
9 Подключение петли без предварительного снижения мощности	4	один цикл на один ГЦНА
10 Непредусмотренное открытие ИПУ КД с последующей непосадкой	3	один для каждого клапана
11 Разрыв трубки ПГ с последующим расхолаживанием со скоростью 60 °С/ч	30	-
Примечание - Во всех режимах категории 3 и 4 блок переводится в «холодное состояние»		

4.4 Эксплуатация АЭС при внешних воздействиях

В проекте энергоблока АЭС анализируются характеристики и приводятся данные по работоспособности важных для безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций, а также технологических систем и элементов в условиях характерных и экстремальных для данной площадки природных воздействий, а также техногенных воздействий.

К природным воздействиям относятся:

- климатические нагрузки (температура, давление, осадки и т.п.);
- нагрузки от ветра и урагана;
- землетрясение; и др.

В составе техногенных воздействий рассматриваются:

- ударная волна;
- падение самолета;
- и т.д.

Нагрузки, учитываемые при проектировании строительных конструкций Белорусской АЭС:

- 1) Постоянные нагрузки:
 - собственный вес;
 - давление грунта и грунтовых вод на заглубленные конструкции.
- 2) Длительные нагрузки, включающие, в частности:
 - усилия от предварительного напряжения (для железобетонной предварительно напряженной внутренней защитной оболочки реакторного отделения);
 - вес стационарного оборудования;
 - вертикальные нагрузки от мостовых и подвесных кранов (с понижающими коэффициентами);
 - давление жидкостей в бассейнах и емкостях;
 - нагрузки от людей (с понижающими коэффициентами);
 - снеговые нагрузки и температурные климатические воздействия (с понижающими коэффициентами);
 - технологические нагрузки при режиме нормальной эксплуатации АЭС, включая соответствующие температурные воздействия;
- 3) Кратковременные нагрузки, включающие, в частности:
 - нагрузки от оборудования в пускоотстановочном, переходном и испытательном режимах, а также при его перестановке или замене;
 - вес людей и материалов в зонах ремонта и обслуживания оборудования; нагрузки от людей (с полными нормативными значениями);

- нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования – погрузчиков, тельферов и пр., а также от мостовых и подвесных кранов (с полным нормативным значением);

- снеговые, климатические температурные, ветровые, гололедные нагрузки (с полными нормативными значениями).

4) Особые воздействия, включающие:

- сейсмические воздействия (МРЗ – 1 раз в 10000 лет);

- нагрузки, возникающие вследствие аварийной работы оборудования;

- экстремальные климатические воздействия (снег, ветер, наружная температура воздуха);

- нагрузки от воздушной ударной волны;

- нагрузка от удара легкого самолета;

- нагрузка от действия торнадо.

Сооружения I категории проектируются в соответствии с ПиН АЭ-5.6 с учетом особых нагрузок с повторяемостью 1 раз в 10000 лет.

Таким образом, безопасность Белорусской АЭС обеспечивается во всех режимах эксплуатации с учетом учитываемых в проекте внутренних и внешних воздействий в соответствии с требованиями нормативно-технической документации Российской Федерации и Республики Беларусь в области использования атомной энергии, а также рекомендации Руководств по безопасности МАГАТЭ.