

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕГРЕВОВ ПАРА ЗА ИСПАРИТЕЛЯМИ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ НАТРИЕВОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

А.И. Бельтюков, П.П. Говоров, А.И. Карпенко

Белоярская АЭС, г. Заречный



В представленной работе обобщены экспериментальные данные результатов исследований процессов выноса влаги из испарительных модулей секционного парогенератора (ПГ) «натрий-вода» энергоблока БН-600 и режимов работы парогенератора с гидродинамической неустойчивостью для различной наработки испарительных модулей. Опытным путем определены оптимальные рабочие области режимных параметров ПГ, обеспечивающие надежную и безопасную эксплуатацию ПГ в течение заданного ресурса.

Обеспечение надежности и работоспособности парогенератора в течение назначенного ресурса является ключевой задачей при разработке и проектировании. На энергоблоке Белоярской АЭС с реактором БН-600 установлены три секционно-модульных ПГ «натрий-вода» ПГН-200М. В состав каждого ПГ входят 8 секций, состоящих из 3-х функциональных модулей, практически одинаковых по конструктивному исполнению, но изготовленных из разных сталей. Испарительные модули (ИМ) выполнены из сталей перлитного класса типа 1Х2М, а основные и промежуточные пароперегреватели (ОП и ПП соответственно) – из жаропрочных нержавеющей сталей аустенитного класса, подверженных хлоридному растрескиванию под напряжением в пароводяной среде (в термически неравновесном потоке). Применение разных конструктивных материалов в ПГ накладывает определенные ограничения на ведение технологических режимов ПГ.

В процессе эксплуатации секционных парогенераторов с натриевым обогревом возникает и развивается гидродинамическая неустойчивость (ГД-неустойчивость) течения пароводяного потока в ИМ, которая может привести к разрушению теплообменных трубок или трубных досок.

Изучению термической неравновесности пароводяного потока применительно к установке с реактором БН-600 на стадии проектирования и изготовления ПГН-200М был посвящен ряд работ, в которых показано, что на выходе из парогенерирующих труб ИМ в перегретом паре существуют капли жидкости. Проектную долговечность ПГ можно обеспечить лишь в случае исключения попадания влаги в модули ОП и ПП, поэтому целями исследований являлись:

- оценка количества выносимой влаги из парогенерирующих трубок ИМ;

- определение наличия влаги в трубопроводах слабоперегретого пара (СПП);
- изучение влияния основных режимных параметров ПГ, влияющих на процесс выноса влаги из ИМ.

Экспериментальное изучение наличия неравновесной влаги на выходе из ИМ в условиях эксплуатации проводилось с помощью термодатного метода, основанного на фиксации пульсаций температуры потока пароводяной среды, обусловленных разностью температур перегретого пара и капель жидкости [1]. Измерения пульсаций температуры потока проводились малоинерционными хромель-копелевыми термодатчиками, установленными на выходе из парогенерирующих трубок одного из ИМ на расстоянии 3 мм от выхода из трубки, и хромель-копелевыми термодатчиками термозондов, установленных в трубопроводах СПП секции с этим ИМ.

Одновременно регистрировались в стационарных режимах работы ИМ основные теплотехнические параметры ИМ и ПГ.

Опыты были проведены для следующих пределов режимных параметров ИМ: давления СПП ($P_{\text{СПП}}$) = 9–13 МПа; массовой скорости пароводяного потока (G) = 180 – 550 кг/м²с; мощности ИМ ($N_{\text{ИМ}}$) = 30–80% номинальной (номинальная мощность ИМ равна 42 МВт).

По результатам исследований определено, что на выходе из трубного пучка существует значительная неравномерность распределения температур СПП. При перегревах СПП более 40°C (измерения по штатной термодатчике на выходе из ИМ) неравномерности достигают ~50°C. Это обусловлено гидравлическими развертками в ИМ по натриевой и пароводяной сторонам. При снижении перегрева до 20°C неравномерности уменьшаются до ~39°C. При этом разность средних температур металла трубок не превышает 3–6°C, что не вызывает значительных напряжений в узлах заделки труб в трубные доски [2,3].

Термодатчик, помещенная в термически неравновесный поток пара, при попадании капли жидкости на ее спай фиксирует снижение температуры. Капля может полностью испариться, частично испариться, а оставшаяся часть срывается потоком движущегося пара.

Для оценки количества выносимой влаги из ИМ была получена зависимость из совместного решения уравнений энергии и неразрывности для потока пара при следующих допущениях: режим течения дисперсный; капли влаги имеют одинаковый диаметр; капля при попадании на спай термодатчика полностью испаряется; температура капли равна температуре насыщения; скольжение фаз отсутствует; профиль температуры по сечению трубного пучка плоский; размах пульсаций температуры пропорционален массе испарившейся капли на спае термодатчика [4]. Предложенная формула для оценки влагосодержания $X_{\text{вл}}$ имеет вид

$$X_{\text{вл}} = 1 - \exp\left(-\frac{C_p \cdot 2A_{\text{max}}^d}{C_p \cdot \Delta t_{\text{не}} + r}\right) \quad (1)$$

где $\Delta t_{\text{не}}$ – перегрев пара за ИМ (разность температур СПП на выходе из ИМ и насыщения), °C; r – теплота парообразования, кДж/кг; C_p – теплоемкость пара кДж/кг°C, $2A_{\text{max}}^d$ – удвоенная амплитуда пульсаций температуры СПП (размах), °C.

По данной формуле с точностью ±15% можно определить количество выносимой влаги из ИМ при условии перегрева пара ($\Delta t_{\text{не}}$) более 25–30°C.

По результатам экспериментального исследования пульсаций температур СПП на выходе из трубного пучка ИМ установлено, что одним из основных параметров, существенно оказывающих влияние на величину пульсаций температуры СПП, является массовая скорость пароводяного потока. Опытные данные по пульсациям темпе-

ратур СПП на выходе из трубок ИМ представлены в табл. 1. Величина пульсаций температур СПП зависит от массовой скорости ($\rho\omega$) – чем больше $\rho\omega$, тем меньше пульсации температур. Для трубки (термопара № 2) при $\rho\omega = 183 \text{ кг/м}^2\text{с}$, $\Delta t_{\text{пе}} = 32^\circ\text{C} - 2 A_{\text{max}}^d = -12^\circ\text{C}$; при $\rho\omega = 518 \text{ кг/м}^2\text{с}$, $\Delta t_{\text{пе}} = 33^\circ\text{C} - 2 A_{\text{max}}^d = 1,5^\circ\text{C}$; при $\rho\omega = 538 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$, $\Delta t_{\text{пе}} = 56^\circ\text{C} - 2 A_{\text{max}}^d = 1,2^\circ\text{C}$.

Таблица 1

Амплитуды пульсаций температуры СПП на выходе трубного пучка

| $P_{\text{спп}}, \text{ МПа}$ | $\rho\omega, \text{ кг/м}^2\text{с}$ | $\Delta t_{\text{пе}}, ^\circ\text{C}$ | Амплитуды пульсаций по трубкам | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|------|-----|------|------|------|
| | | | 2 | 8 | 10 | 15 | 16 | 18 |
| 10,5 | 183 | 32 | 11,7 | 15,3 | 6,0 | 17,4 | 24,8 | 21,0 |
| 10,5 | 375 | 52 | 2,9 | 2,7 | 4,8 | 1,2 | 4,0 | 1,1 |
| 12,6 | 518 | 33 | 1,5 | 1,6 | 3,5 | 1,2 | 0,7 | 1,1 |
| 10,8 | 538 | 50 | 1,3 | 1,5 | 2,3 | 0,7 | 1,0 | 1,8 |
| 13,0 | 538 | 61 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 1,7 | 1,5 | 1,2 |

2–18 – номера термопар над теплообменными трубками.

Влияние массовой скорости на величину (амплитуду) пульсаций температур пара является следствием динамических эффектов, действующих на каплю жидкости в потоке перегретого пара. Увеличение скорости пара относительно скорости жидкости (скольжение между каплей жидкости и потоком пара) приводит к интенсификации теплообмена между каплей жидкости и паром, что вызывает доупаривание капли жидкости в потоке пара [1, 4].

Другим фактором, существенно оказывающим влияние на величину пульсаций температуры СПП, является перегрев пара. Увеличение перегрева пара в ИМ снижает как амплитуды пульсаций температуры пароводяного потока, так и частоту попадания капель на спай термопары, и влагосодержание на выходе из парогенерирующих трубок уменьшается.

Исследования выноса влаги при снижении перегрева пара за ИМ до появления пульсаций температуры СПП на входе в ОП по показаниям термозондов проводились при работе энергоблока на уровне мощности 60% номинальной. Снижение температуры СПП за ИМ проводилось ступенями $t_s + 37$; $t_s + 30$; $t_s + 17^\circ\text{C}$ путем увеличения расхода питательной воды через ПГ (t_s – температура насыщения при заданном давлении).

Термозонды, установленные в трубопроводе СПП на входе в модуль ОП, не зафиксировали пульсаций температуры пара при перегревах 37°C и 30°C . При дальнейшем снижении перегрева СПП до 17°C по показаниям этих термозондов появились незначительные пульсации температуры $\sim 0,5^\circ\text{C}$, что свидетельствовало о выносе влаги из ИМ и попадание ее в трубопровод СПП на входе в ОП. Влагосодержание оценочно составило 0,12%.

На основании проведенных экспериментальных исследований рекомендовано для эксплуатации ПГ поддерживать перегрев пара ($\Delta t_{\text{пе}}$) за ИМ не менее 20°C . Данные рекомендации вошли в эксплуатационные инструкции и технологический регламент эксплуатации энергоблока № 3 Белоярской АЭС.

Как уже отмечалось ранее, одним из основных режимных параметров, оказывающих существенное влияние на доупаривание влаги в трубопроводах СПП, является массовая скорость пароводяного потока. Эксперимент по определению начала заброса влаги в модуль ОП при снижении перегрева проводился при массовых скоростях пароводяного потока $\rho\omega = 554 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

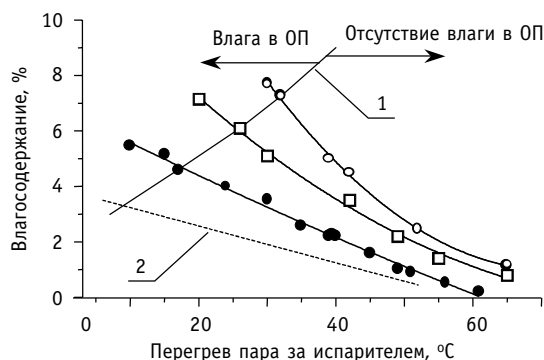


Рис. 1. Зависимость влагосодержания в паре за ИМ от перегрева пара и массовой скорости пароводяного потока:
 ○ $\rho w = 183 \text{ г/м}^2\text{с}$; □ $\rho w = 375 \text{ г/м}^2\text{с}$; ● $\rho w = 550 \text{ г/м}^2\text{с}$;
 1 – граничная кривая отсутствия влаги в модуле ОП;
 2 – расчет влагосодержания при $\rho w = 690 \text{ г/м}^2\text{с}$;

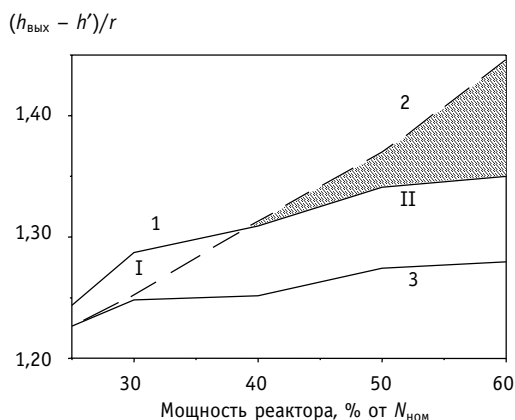


Рис. 2. Граница устойчивости испарителей в пусковом режиме: I, II – области устойчивой работы;
 ■ область неустойчивости; 1 – граничное значение;
 2 – максимально достижимое значение;
 3 – рекомендуемое значение

При увеличении расхода питательной воды до номинального массовая скорость ρw увеличивается до $690 \text{ кг/м}^2\text{с}$, что приводит при исходных перегревах пара к снижению влагосодержания в потоке пара. Экстраполяция экспериментальных данных по наличию влаги в трубопроводе на входе в модуль ОП показала, что при номинальных расходах питательной воды через ПГ перегрев пара $\Delta t_{\text{пе}}$ на выходе из ИМ может быть ниже 20°C . Данные, полученные по результатам измерений пульсаций в трубопроводах ОП, и расчетные данные, определенные по формуле (1) для номинального расхода питательной воды, приведены на рис. 2.

В итоге получена граничная кривая наличия влаги на входе в ОП в зависимости от перегрева пара за ИМ и массовой скорости пароводяного потока. Как видно из рис. 2, для номинальных расходов питательной воды через ПГ ($\rho w = 690 \text{ кг/м}^2\text{с}$) минимальное значение перегрева за ИМ составляет $\sim 10^\circ\text{C}$, что гарантирует отсутствие заброса влаги в модуль ОП.

В процессе эксплуатации энергоблока БН-600 в ИМ ПГ были отмечены случаи возникновения

неустойчивости в пусковом режиме как при малых, так и при больших выходных паросодержаниях [5].

Исходные данные, полученные при эксплуатации ПГ энергоблока БН-600, указывали на наличие возмущающих причин, устранение или учет которых позволяет организовать надежную эксплуатацию ПГ и предотвратить ситуации с повреждением теплообменных трубок, приводящие к течи воды в натрий с соответствующими аварийными последствиями. Необходимо было установить критерии и количественные параметры для определения границ гидродинамической неустойчивости в области значений выходной относительной энтальпии потока больших 1, разработать и внедрить рекомендации по предотвращению неустойчивости в ИМ секционных ПГ на действующем промышленном энергоблоке.

По результатам анализа всех переходных режимов энергоблока (пуска, останова и подключения теплоотводящей петли), имевших место в 1994–1998 гг., была выполнена обработка опытных данных по границе гидродинамической неустойчивости для испарителей, проработавших 95–107 тыс. ч, и сделано сравнение этих данных с результатами расчета границы области неустойчивости по методике [5, 6].

Во время ряда пусков блока при работе на частичных нагрузках в испарителях, с длительностью эксплуатации 80 тыс. ч и более, наблюдались самопроизвольные межмодульные колебания расхода воды на входе, которые возникали при работе испарителей в режиме генерации перегретого пара при изменении рабочих параметров в диапазоне: массовая скорость 80–575 кг/(м²с), средний тепловой поток 35–250 кВт/м², давление перегретого пара 6,5–12,5 МПа и входная температура воды 158–192°C. Наблюдались следующие основные явления в режимах с неустойчивостью:

- колебания расхода воды на входе в ИМ происходили с четко выраженной периодичностью, с фазовым сдвигом относительно друг друга (в соседних модулях расход изменялся в противофазе, между первой и второй парой модулей с небольшим смещением), их форма близка к синусоиде;
- период колебаний имел один порядок со временем транспорта частиц жидкости через ИМ;
- суммарный расход воды через половину ПГ и положение регулирующей арматуры во время колебаний оставались постоянными;
- колебания расхода воды не вызывали соответствующих изменений давления и температуры СПП на выходе из ИМ;
- выходная относительная энтальпия потока составляла величину 1,17–1,40, что соответствовало перегреву пара на выходе из ИМ 45–140°C.

Приведенные признаки межмодульных колебаний расхода в ИМ ПГ указывают на то, что в определенных режимах работы энергоблока ИМ попадают в область гидродинамической неустойчивости потока при больших значениях относительной энтальпии (неустойчивость плотностных волн). При увеличении мощности ПГ, расхода натрия или уменьшении давления за ИМ во всех идентичных ИМ половины ПГ, параметры которых достигли границы неустойчивости, начинаются самопроизвольные колебания расхода воды и устанавливаются автоколебания со значительной амплитудой. Фазовое смещение колебаний расхода в модулях с неустойчивостью потока обеспечивает постоянство суммарного расхода через половину ПГ и перепада давления между входным и выходным коллекторами.

В результате анализа пусковых режимов ПГ был сделан вывод о том, что действовавший на тот момент времени регламент пуска не обеспечивал устойчивую работу ИМ в этом режиме эксплуатации. В определенных диапазонах изменения мощности ИМ имели запас до границы области гидродинамической неустойчивости, недостаточный для обеспечения устойчивой работы ИМ при выполнении технологических операций.

Была установлена граница области гидродинамической неустойчивости для ИМ с наработкой 95–107 тыс. ч, которая определялась по параметрам ИМ в момент возникновения или прекращения колебаний расхода воды. При этом штатными средствами системы контроля фиксировались: температура и расход воды на входе в ИМ, давление и температура пара на выходе из ИМ, температуры натрия в перемычках между ИМ и ОП (ПП) и температура натрия на выходе из ИМ.

Был проведен ряд экспериментальных исследований по определению границы области гидродинамической неустойчивости в ИМ с различной продолжительностью эксплуатации, на мощности энергоблока 60% номинальной. По результатам экспериментов разработана методика прогнозирования области неустойчивости с учетом состояния теплообменной поверхности и приведена оценка изменения состояния теплообменной поверхности ИМ в процессе эксплуатации.

В условиях эксплуатации натурального объекта получение экспериментальных данных по гидродинамической неустойчивости в широком диапазоне изменения параметров ПГ, достаточном для создания расчетной методики, затруднено и практически

ки невозможно, т.к. главной задачей АЭС является обеспечение безопасной и надежной работы энергоблока с целью получения максимально возможной выработки электроэнергии. Поэтому за основу методики расчета границ устойчивости с учетом состояния теплообменной поверхности были взяты эмпирические зависимости Юнала [6], полученные на стендах с натриевым обогревом.

По результатам обработки опытных данных и проведенных расчетов выполнен анализ устойчивости ИМ, построены карты устойчивости ИМ ПГ и разработаны рекомендации по повышению устойчивости ИМ в пусковом режиме. Поскольку устойчивость ИМ существенно изменяется с длительностью эксплуатации, то в расчетах наработка испарителей принималась равной разрешенному на данный момент времени ресурсу испарителей 105 тыс. ч.

Расчеты проводились по параметрам ИМ в диапазоне от 15 до 75% номинальной мощности секции ПГ при температуре питательной воды на входе в ПГ 160°C. Указанный диапазон мощности ИМ соответствует работе энергоблока на мощности 18–60% номинальной. Расход натрия в этом диапазоне составляет 70% номинального, а при подключении модулей ПП (на мощности энергоблока 18% номинальной) кратковременно увеличивается до номинального значения.

Результаты анализа устойчивости ИМ при различных тепловых нагрузках позволили разработать рекомендации по оптимизации пускового режима ПГ при работе ИМ в режиме генерации перегретого пара до мощности энергоблока 60% номинальной.

Разработанные рекомендации включены в технологическую документацию и заключаются в поддержании параметров ИМ, выходной температуры и давления пара ниже значений, при которых возникает ГД- неустойчивость, а именно:

- на уровне мощности энергоблока 18% номинальной – 370–375°C при давлении 9–10 МПа;
- в диапазоне изменения мощности энергоблока 25–40% номинальной – 380–385 °C при давлении 10 – 11 МПа;
- на уровнях мощности энергоблока 40–60% номинальной – 385–395°C при давлении 11,5–12,5 МПа.

Поддержание параметров ИМ на указанных уровнях обеспечивает работу ИМ в области устойчивости I типа примерно до мощности энергоблока, равной 38% номинальной (рис. 2), и дает достаточный, для обеспечения устойчивой работы испарителей, запас на более высоких уровнях мощности.

При возникновении гидродинамической неустойчивости в ИМ в переходных режимах подавление колебаний расхода воды осуществляется повышением давления пара за ИМ, а в случае невозможности подъема давления по техническим причинам – снижением температуры СПП путем увеличения расхода воды.

Минимально допустимая температура пара на выходе ИМ, при которой обеспечивается полное испарение (до основных пароперегревателей) содержащейся в перегретом паре неравновесной влаги, составляет величину $t_{\text{доп}} = (t_s + 20)^\circ\text{C}$. Обычный запас по перегреву пара, с учетом тепловой и гидравлической разверок секций парогенераторов, составляет 60–80°C при минимальном давлении пара за ИМ – 9 МПа.

На основании проведенных исследований получены границы предельно допустимых параметров ИМ ПГ во всех эксплуатационных режимах, представленные на рис. 3.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены основные параметры испарителя, влияющие на вынос влаги из трубного пучка: массовая скорость пароводяного потока; удельный тепловой поток в зоне доупаривания влаги; температура питательной воды; температура натрия на входе в ИМ; давление и величина перегрева слабоперегретого пара.

2. Пульсации температур пароводяного потока не зафиксированы в трубопроводе СПП на выходе из ИМ при перегревах пара выше 40°C.

3. Экспериментально установлено, что при снижении перегрева СПП ($\Delta t_{\text{пе}}$) до 17°C при массовой скорости $\rho\omega = 554 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$ наблюдается вынос влаги из ИМ и попадание ее в трубопровод СПП на входе в ОП.

4. Экспериментальными исследованиями и проведенными расчетами определена граничная кривая отсутствия попадания влаги в модули ОП. Для номинального расхода питательной воды через ПГ ($\rho\omega = 690 \text{ кг/(м}^2\text{с)}$) получена минимальная величина перегрева пара ($\Delta t_{\text{пе}}$) за ИМ, равная 10°C.

5. Проведены эксперименты по определению условий возникновения гидродинамической неустойчивости в ИМ ПГ и получены опытные данные в области значений выходной относительной энтальпии потока более 1 для ИМ с различной наработкой.

6. Разработана методика расчета границ области неустойчивости при больших значениях выходной относительной энтальпии с учетом состояния теплообменной поверхности трубок прямооточных парогенераторов, позволяющая проводить прогнозные оценки по изменению границы области гидродинамической неустойчивости в зависимости от времени эксплуатации.

7. Проведен анализ режимов работы ПГ и разработаны рекомендации по предотвращению попадания влаги в модули ОП и режимов с неустойчивостью потока, заключающиеся в ограничении минимальной и максимальной температуры СПП на выходе из ИМ в зависимости от уровня мощности, расходов воды через ИМ и величины выходного давления пара.

8. Рекомендации по режимам работы ИМ внедрены на Белоярской АЭС непосредственно в производственные инструкции по эксплуатации энергоблока и ПГ, что позволило повысить в значительной степени надежность и безопасность эксплуатации как ПГ, так и энергоблока в целом.

Литература

1. Бельтюков А.И., Грачев Н.С., Джусов Ю.П., Карпенко А.И., Кириллов П.П., Смирнов М.В., Шейнкман А. Г. Исследование выноса неравновесной влаги в перегретом паре на выходе из испарителя прямооточного парогенератора энергоблока БН-600/Теплофизика и гидродинамика процессов кипения и конденсации: Материалы Всесоюзной конф. (Рига, 1982). – Рига: Риж. политехнический институт, 1986. – Т. IV. – Ч. 3. – С. 101-107.
2. Смирнов М.В., Титов В.Ф., Корнеев В.И., Шейнкман А.Г., Бельтюков А.И., Карпенко А.И., Грачев Н.С. Теплофизические исследования прямооточного парогенератора ПГН-200М энергоблока БН-600/ Опыт разработки и эксплуатации парогенераторов быстрых реакторов: Сб. докл. семинара стран-членов СЭВ (18-21 мая 1982 г). – Димитровград: НИИАР, 1982. – С. 355-367.
3. Цыканов В.А., Бай В.Ф., Кондратьев В.И. и др. Результаты ресурсных испытаний и экспериментальных исследований крупномасштабных моделей парогенераторов на установке БОР-60: Сб. докл. семинара стран-членов СЭВ «Опыт разработки и эксплуатации парогенераторов быстрых реакторов». – Димитровград, 1982. – С. 64-81.
4. Турчин Н.М., Юрьев Ю.С., Грачев Н.С. и др. Расчетно-экспериментальные исследования процессов выноса и испарения капель влаги в перегретом паре: Отчет ФЭИ,ТФ-1187, 1979 г.

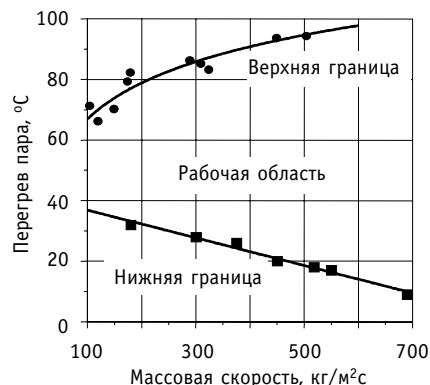


Рис. 3. Границы предельно допустимых значений перегревов пара в режимах эксплуатации ПГ: ■ опытные данные по выносу влаги из ИМ; ● опытные данные по ГД-неустойчивости ИМ

5. Бельтюков А.И., Говоров П.П. Оценка развития гидродинамической неустойчивости в испарителях прямоточного секционного парогенератора с натриевым обогревом в процессе его эксплуатации / Сб. науч. трудов 6-й научно-технической конференции, посвященной 35-летию Белоярской АЭС. – Заречный, 1999. – Ч. 3. – С. 67-75.

6. Юнал Х. Колебания типа волн плотности в трубе противоточного одноходового парогенератора, обогреваемого жидким натрием // Теплопередача. – 1981. – Т. 103. – № 3. – С. 97-105.

Поступила в редакцию 14.02.2005

The method has been developed and the facility manufactured to measure irradiated fuel decay heat directly in the irradiated fuel cooling pond. The important advantage is that the facility has been implemented using the standard equipment and the operations of the irradiated fuel permutation are conducted using the standard means and technologies, thereby providing for the design safety of the work fulfilment. For the first time decay heat of numerous irradiated fuel sub-assemblies of various types has been directly measured.

УДК 621.039.526

Improvement of the Efficiency and the Economics of the Fuel Utilization at the Beloyarsk NPP BN600 Reactor \ G.V. Babenko, A.V. Gavrilov, V.A. Zhyoltyshev, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 1 table.

Better efficiency and cost advantages of the fuel utilization at the BN600 reactor are offered by increasing fuel burn-up step by step and upgrading the core.

УДК 621.039.526

Irradiation of Experimental MOX Fuel in the BN600 Reactor \ M.V. Bakanov, G.V. Babenko, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, B.A. Vasiliev, O.V. Mishin, T.A. Klimashina, M.R. Farakshin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 3 tables. – References, 3 titles.

The design features of the experimental MOX fuel sub-assemblies, their specific location in the BN600 reactor core, the conditions and the main results of the experimental MOX fuel irradiation in the BN600 reactor are reported.

УДК 621.039.526

The Calculate of Temperature Conditions of the BN-600 Sub-assemblies into Gaseous Medium \ V.V. Golovin, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 1 table, 2 illustrations.

The possibility of estimated modelling of the heat-up temperature conditions of the BN-600 spent sub-assemblies elements during transportation of them into gaseous medium is showed in article. The estimated modelling of the BN-600 spent sub-assemblies heat-up into gaseous medium with different values residual heat release of the spent sub-assemblies permits to substantiate and optimise the safety procedures of post-irradiation handling with that sub-assemblies.

УДК 532.552

Hydrodynamic Instability in the BN600 Power Unit Steam Generators and its Diagnosis \ P.P. Govorov, A.A. Kuznetsov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 4 pages, 2 illustrations.

The article considers the hydrodynamic instability in the once-through steam generators of the BN600 power unit under the transients (startup, shutdown). This process is dangerous because there is a probability of the hydrodynamic instability spread over the entire circuit. This would cause the heating coolant outlet temperature fluctuations and transfer of the temperature perturbations to the primary circuit. Two methods of diagnosing such a process are proposed. On the basis of the covariance analysis method the software which is now under industrial operation has been written for the Beloyarsk NPP data reduction system named Uran.

УДК 621.039.526

Determination of the Allowable Limits of the Steam Superheating Downstream the Evaporators under the Sodium Steam Generator Operating Conditions \ A.I. Beltyukov, P.P. Govorov, A.I. Karpenko; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 8 pages, 1 table, 3 illustrations.

The paper summarizes the experimental results of the research into the processes of moisture entrainment from the modular water-sodium steam generator evaporator stages of the BN600 power unit and steam generator operating conditions characterizing by the hydrodynamic instability for various running time accumulated by the evaporator stages. By test the optimum operating ranges of the steam generator operational parameters providing for reliable and safe operation of the steam generator within a given lifetime were determined.

УДК 532.552

Improvement of the BN600 Power Unit Sodium Steam Generator Transients \ P.P. Govorov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2005. – 5 pages, 3 illustrations. – References, 9 titles.