



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Проведене дослідження показало, що застосування запропонованого регулятора в системі стабілізації потужності різання фрезерного верстата забезпечує прийнятну якість перехідних процесів, що виникають при зміні збурень, і стабілізацію потужності в ustalених режимах на заданому рівні без похибки. Стандартні ланки, що входять до структурної схеми рис. 1, можуть бути реалізовані на операційних підсилювачах. Простота технічної реалізації обумовлює низьку вартість регуляторів, їх застосування на легких фрезерних верстатах забезпечуватиме підвищення продуктивності верстатів на 10 – 20 % і не потребуватиме значних капіталовкладень.

### References

1. Shaparev N.K. Raschet avtomatyzirovannykh elektroprivodov system upravlenyya metalloobrabotkoy. – K.: Lybyd', 1992. – 272 s.;
2. Zakutnyy A.S. Metodyka synteza neyrosetevoy systemy stabylyzatsyy moshchnosty rezanyya // Elektromashynobuduvannya ta elektroobladnannya: Mizhvid. nauk.-tekhn. zbirnyk. – K.: Tekhnika. – 2001. – Vyp. 56. – S. 10–15.;
3. Vodychev V.A., Hulyy M.V., Mukhammed M.A. Prymenenye fazzy-rehulyatora v elektromekhanicheskoy systeme avtomatyzatsyy metalloobrabotky // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu „Kharkivs'kyu politekhnichnyy instytut”. – Kharkiv: NTU „KhPI”, 2005. – # 45. – S. 504 – 505.;
4. Spravochnyk tekhnoloha – mashynostroytelya. V 2-kh t. T.2/ Pod red. A.H. Kosylovoy, R.K. Meshcheryakova. – M.: Mashynostroenye, 1986. – 496 s.

УДК 621.039.56:681.5

# АКСИАЛЬНЫЙ ОФСЕТ КАК МЕРА УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКОВОДНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ПРИ СУТОЧНОМ МАНЕВРЕ МОЩНОСТЬЮ.

Никольский М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет, Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: [10.15673/2312-3125.20/2015.36962](https://doi.org/10.15673/2312-3125.20/2015.36962)

### Аннотация

Требованиями, предъявляемыми при эксплуатации энергоблока в маневренном режиме, являются высокая надежность и безопасность энергоблока, которые зависят от устойчивости реактора при переходе с одного уровня мощности на другой. Количественной мерой устойчивости реактора является аксиальный офсет.

Двухзонная модель реактора позволила контролировать изменение нейтронно-физических и технологических параметров по высоте ВВЭР-1000. Идентифицирована модель борного регулирования, которая отличается от известных тем, что ввод борной кислоты в теплоноситель вводится монотонно.

Показано, что изменение температуры на входе в активную зону реактора наносит неконтролируемое возмущение, которое влияет на аксиальный офсет и, как следствие, на устойчивость реактора. Для обеспечения устойчивости реактора предложен компромисно-комбинированный метод регулирования, который отличается от известных тем, что температура теплоносителя на входе в АКЗ реактора поддерживается постоянной за счет изменения давления пара в парогенераторе вследствие изменения положения регулирующих клапанов турбины.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

На основе метода регулирования разработана усовершенствованная система регулирования мощности энергоблока. Особенностью системы является метод управления температурным режимом теплоносителя, что позволило разработать программу изменения мощности ВВЭР-1000 с постоянной входной температурой теплоносителя, характеризующуюся минимальной поврежденностью оболочек при минимальном перемещении регулирующей группы органов СУЗ. Проведено сопоставление предлагаемой программы регулирования с той, что сегодня используется при управлении мощностью энергоблока.

### Abstract

Requirements for the power operation while maneuvering are high reliability and power security, which depend on the reactor stability during the transition from one power level to another. A quantitative measure of the stability of the reactor is an axial offset. Dual-zone reactor model allows to control the change of neutron-physical and technological parameters in height of WWER-1000. Identified boron control model differs from the known one by the monotonously boric acid input into the coolant. It is shown that the temperature change at the inlet of the reactor core causes uncontrolled disturbance which affects the axial offset and, consequently, the reactor stability. To ensure the reactor stability a compromise-combined method of regulation was suggested, which differs from the known ones by that the coolant temperature at the reactor core inlet is maintained constant by changing the steam pressure in the steam generator due to changes in the position of the turbine control valves. An advanced system of power control unit was developed and was based on the method of regulation. A feature of the system is the method of coolant temperature control, which allowed to develop a program of power changes in WWER-1000 with a constant inlet water temperature, characterized by minimal damage to the shell with minimal movement of the regulating group of control rods. A comparison of the proposed regulation program with one that currently used in power control unit was done.

### Ключевые слова

Управление офсетом, энергоблок атомной станции, метод регулирования, имитационная модель, многозонная модель реактора.

Рассматриваемая задача актуальна при переводе АЭС с ВВЭР-1000 из эксплуатации в базовой части графика электрической нагрузки энергосистемы в полупиковую. Хотя переменный режим эксплуатации реакторной установки (РУ) с ВВЭР-1000 до сих пор не применялся и проектом предусматривается эксплуатация ВВЭР-1000 в базовом режиме. Однако оборудование первого контура ВВЭР-1000 рассчитано на возможность эксплуатации АЭС в режиме регулирования частоты и мощности в энергосистеме, при этом регулировочный диапазон нагрузки находится в пределах 30–100 % от номинальной мощности; за срок службы реакторная установка допускается 10000 циклов набора и снижения нагрузки в пределах регулировочного диапазона.

Таким образом, целью статьи является сопоставление программ регулирования изменения мощности энергоблока: с постоянной температурой входа теплоносителя в активную зону  $t_{вх}=\text{const}$  и постоянным давлением рабочего тела во втором контуре  $p_{II}=\text{const}$ . Для этого необходимо проанализировать изменения аксиального офсета в маневренных режимах для программ регулирования, которые применяются в практике эксплуатации АЭС с легководным реактором под давлением.

Анализ свойств легководного реактора с точки зрения наносимых возмущений и их влияния на устойчивость энергоблока показал, что в маневренном режиме возмущения определяются температурным и мощностным эффектами реактивности и ее изменением вызванное отравлением нестационарным ксеноном. Для безопасной эксплуатации энергоблока с легководным реактором в маневренном режиме необходимо чтобы в поддерживалось равномерное энерговыделения в активной зоне (а. з.). [1]

Все внешние и внутренние возмущения, наносимые на реактор компенсируются регулирующей группой органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ). Однако, из-за конструктивных особенностей, компенсировать возмущения, возникшие в нижней половине реактора, без влияния на энерговыделение в верхней половине реактора — невозможно. Таким образом, возмущения, возникающие в нижней половине реактора, невозможно компенсировать, следовательно, в маневренных режимах практически невозможно гарантировать нахождение реактора в устойчивом состоянии. В дальнейшем для анализа будем рассматривать реактор ВВЭР-1000. Реакторы такой конструкции получают некомпенсируемое возмущение на изменение температуры теплоносителя на входе в а.з.. [2]



**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
 ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Нестационарное отравление а.з. реактора вносит положительную обратную связь в любое отклонение нейтронного потока. Поскольку эффект реактивности по температуре теплоносителя относится к быстрым эффектам, а отравление – к медленным эффектам, совпадающим по знаку с изменением нейтронного потока за счет данного эффекта реактивности и усиливающим его за счет положительной обратной связи, контроль энерговыделения в а.з. при маневрировании мощностью РУ можно обеспечить выбором такого температурного режима теплоносителя, которому соответствует максимальная аксиальная стабильность поля энерговыделения.

Количественной мерой равномерности энерговыделения по высоте а. з. реактора, а следовательно и устойчивости реактора, является - аксиальный офсет (АО).

Аксиальная стабильность поля энерговыделения описывается выражением [3]:

$$AO = \frac{Q_v - Q_n}{Q_{a.z.}}, \quad (1)$$

где  $Q_v$ ,  $Q_n$ ,  $Q_{a.z.}$  – соответственно мощность верхней, нижней половины а. з. и мощность всей а. з.

Запишем значения мощностей, входящие в (1), через достаточно малые отклонения от соответствующих стационарных значений:

$$AO = AO_0 + \Delta AO; Q_v = Q_{v,0} + \Delta Q_v; Q_n = Q_{n,0} + \Delta Q_n; Q_{a.z.} = Q_{a.z.,0} + \Delta Q_{a.z.}, \quad (2)$$

где  $AO_0$ ,  $Q_{v,0}$ ,  $Q_{n,0}$ ,  $Q_{a.z.,0}$  – стационарные значения соответственно аксиального офсета, мощности верхней, нижней половины а. з. и мощности всей а. з.;

$\Delta AO$ ,  $\Delta Q_v$ ,  $\Delta Q_n$ ,  $\Delta Q_{a.z.}$  – достаточно малые (для линеаризации выражения, записанного в отклонениях) отклонения от стационарных значений соответственно аксиального офсета, мощности верхней, нижней половины а. з. и мощности всей а. з..

Для малых отклонений мощности верхней и нижней половины а. з. при малом отклонении (в результате маневрирования мощностью РУ) средней температуры теплоносителя  $\Delta \bar{T}$  в соответствующей половине а. з. справедливы выражения

$$\Delta Q_v = \frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}} \cdot \Delta \bar{T}_v; \Delta Q_n = \frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}} \cdot \Delta \bar{T}_n, \quad (3)$$

где  $\Delta \bar{T}_v$ ,  $\Delta \bar{T}_n$  – малое отклонение средней температуры теплоносителя в верхней и нижней половине а. з., соответственно;

$\Delta Q_v$ ,  $\Delta Q_n$  – малое отклонение мощности верхней и нижней половины а. з. при малом отклонении средней температуры теплоносителя  $\Delta \bar{T}_v$ ,  $\Delta \bar{T}_n$  соответственно;

$\frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}}$  – отношение отклонения мощности РУ к отклонению средней температуры теплоносителя в а. з., определяемое как

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}} = \frac{\Delta \rho / \Delta \bar{T}}{\Delta \rho / \Delta Q} = \frac{k_T}{k_N}, \quad (4)$$

где  $k_T$ ,  $k_N$  – температурный и мощностный коэффициент реактивности  $\rho$ , соответственно.

После подстановки выражений (2)–(4) в (1) и линеаризации получим выражение для малого отклонения аксиального офсета при малом отклонении мощности РУ:

$$\Delta AO = \frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}} \cdot N_{a.z.,0}^{-1} \cdot [(1 - AO_0) \cdot \Delta \bar{T}_v - (1 + AO_0) \cdot \Delta \bar{T}_n] \quad (5)$$

В случае справедливости допущения

$$AO_0 \ll 1 \quad (6)$$

выражение (5) упрощается:

$$\Delta AO = \frac{\Delta Q}{\Delta \bar{T}} \cdot N_{a.z.,0}^{-1} \cdot [\Delta \bar{T}_v - \Delta \bar{T}_n] \quad (7)$$



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Из (7) следует критерий эффективности температурного режима теплоносителя с точки зрения стабильности аксиального оффсета в ходе маневрирования мощностью РУ по какой-либо программе регулирования:

$$\min \left| \sum_{i=1}^m (\Delta \bar{T}_в - \Delta \bar{T}_н) \right| \quad (8)$$

где  $i$  – номер шага по мощности (малого изменения мощности);  $m$  – количество шагов по мощности в каком-либо направлении при маневре мощностью РУ.

Использование критерия (8) позволяет обоснованно выбирать температурный режим теплоносителя, позволяющий обеспечить максимальную стабильность поля энерговыделения при маневрировании мощностью РУ [3]. Изменение температурного режима определяет мощность энергоблока. Изменение мощности энергоблока с ВВЭР-1000 осуществляется по так называемым статическим программам регулирования, которые представляют собой зависимость технологических параметров энергоблока от мощности в установившихся режимах.

Известны следующие программы регулирования мощности энергоблока с ВВЭР-1000, и возможные их комбинации. Каждая из основных программ регулирования имеет свои достоинства и недостатки с точки зрения изменения АО во время маневра мощностью, рассмотрим каждую в диапазоне мощностей от 100% до 80% (рис. 1).

1. Программа регулирования с постоянной температурой теплоносителя на входе в а. з. реактора ( $t_{вх}=\text{const}$ ) [4]. В этой программе регулирования при переходе с одного уровня мощности на другой температурный (ТЭР) и мощностной эффекты реактивности (МЭР) возникают только в верхней половине реактора. Это связано с изменением средней температуры теплоносителя ( $t_{sr}$ ), температуры теплоносителя на выходе ( $t_{вых}$ ) и постоянством температуры теплоносителя на входе в а. з. реактора. Причем при уменьшении мощности,  $t_{вых}$  и  $t_{sr}$  уменьшаются (рис. 1) и ТЭР и МЭР будет иметь положительный знак. Таким образом, энерговыделение верхней половины реактора будет больше энерговыделения нижней половины реактора. Такое изменение энерговыделения, а следовательно, и величины АО, легко компенсируется изменением положения регулирующей группы ОР СУЗ. Также к достоинствам этой программы регулирования можно отнести то, что из-за поддержания постоянной  $t_{вх}$ , в нижней половине а. з. реактора отсутствует изменение ТЭР, а следовательно нижняя половина а. з. остается устойчивой на всем протяжении маневра мощностью, возникновение ксеноновых колебаний, вызванное изменением ТЭР отсутствует, изменение энерговыделения в верхней половине а. з. реактора компенсируются регулирующей группой ОР СУЗ, а следовательно обеспечивается постоянство и управляемость АО и устойчивое состояние реактора.
2. Программа регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя в первом контуре ( $t_{sr}=\text{const}$ ).

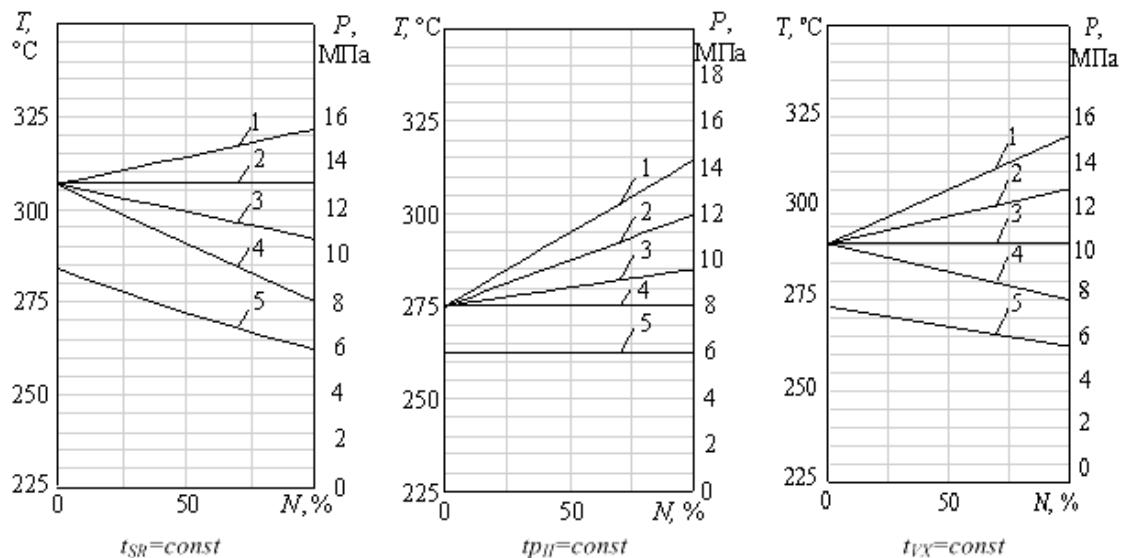


Рис. 1 Характеристики РУ с ВВЭР-1000 при различных программах регулирования.

1 – температура теплоносителя на выходе из АКЗ,  $t_{вых}$ ; 2 – средняя температура теплоносителя в АКЗ,  $t_{sr}$ ; 3 – температура теплоносителя на входе в АКЗ,  $t_{вх}$ ; 4 – температура насыщенного пара во втором контуре,  $t_s$ ; 5 – давление пара во втором контуре,  $p_{II}$



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В этой программе регулирования (рис. 1) при переходе с одного уровня мощности на другой ТЭР и МЭР возникают в верхней и нижней половинах реактора, что связано с изменением  $t_{vx}$  и  $t_{vux}$ . При снижении уровня мощности  $t_{vux}$  уменьшается, а следовательно ТЭР в верхней половине реактора будет иметь положительный знак, а  $t_{vx}$  увеличивается и ТЭР в нижней половине реактора будет иметь отрицательный знак. Так как мощность снижается, МЭР будет иметь положительный знак. Следовательно, произойдет неодинаковое изменение энерговыделения по высоте а. з. реактора которое будет усиленно при возвращении прежнего уровня мощности, что приведет к возникновению ксеноновых колебаний. Так как все ОР СУЗ имеют одинаковую эффективность их воздействие на энерговыделение в верхней половине реактора, не сможет ликвидировать ксеноновые так как одновременно невозможно воздействовать ОР СУЗ на нижнюю часть реактора без воздействия на верхнюю из-за конструктивных особенностей.

Таким образом, существенным недостатком этой программы регулирования является нестабильность и неуправляемость АО, а следовательно и нахождение реактора в неустойчивом состоянии во время и после изменения уровня мощности.

3. Программа регулирования с постоянным давлением пара второго контура ( $p_{II}=\text{const}$ ). В этой программе регулирования (рис. 1) уменьшаются  $t_{vx}$ ,  $t_{sr}$  и  $t_{vux}$ . Таким образом ТЭР по высоте всей а. з. реактора имеет положительный знак, но в верхней половине реактора этот эффект реактивности проявляется сильнее, чем в нижней из-за большей разницы изменения температуры теплоносителя. МЭР также имеет положительный знак. Таким образом, энерговыделение в верхней половине реактора будет больше энерговыделения в нижней половине. Для компенсации ТЭР необходимо циклическое воздействие на регулируемую группу ОР СУЗ, что может привести к колебаниям величины АО и последующей возможной потере устойчивости. Кроме того, температурные напряжения в оболочках ТВЭЛов повышены из-за большего количества перемещений ОР СУЗ во время проведения маневра мощностью.

Важным параметром, который необходимо учитывать при эксплуатации энергоблоков АЭС в маневренном режиме является глубина и частота перемещений регулирующей группы ОР СУЗ, так как вследствие большого количества перемещений ОР СУЗ происходят знакопеременные циклические напряжения в оболочках ТВЭЛов, которые могут привести к разрушению оболочек ТВЭЛ из-за накопления поврежденности. Поэтому сокращение количества перемещений ОР СУЗ приведет к сохранению долговечности оболочек ТВЭЛ и следовательно возможности эксплуатации в режиме суточного или недельного цикла нагружения.

При эксплуатации энергоблоков с реактором ВВЭР-1000 в основном применяется программа регулирования с  $p_{II}=\text{const}$ . Это связано с тем, что энергоблоки преимущественно эксплуатируются в базовом режиме. В ряде случаев при моделировании рассматриваются комбинации двух программ регулирования. Разгрузку до 75-80% от номинала осуществляют по программе регулирования  $t_{sr}=\text{const}$  и далее более глубокую разгрузку по программе  $p_{II}=\text{const}$ . Особенно хорошие результаты моделирования такой комбинации выполняется, если рассматривать реактор как точечную модель с сосредоточенными параметрами. Однако, с точки зрения устойчивости реактора для расчета величины АО, как меры устойчивости, необходимо использовать как минимум двучечные модели.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод, что для маневренного режима с точки зрения устойчивости реактора наиболее благоприятной является программа регулирования с  $t_{vx}=\text{const}$  в интервале изменения мощности реактора от 80 до 100 %.

Взята за основу программа регулирования с  $t_{vx}=\text{const}$  в интервале изменения мощности реактора от 80 до 100 % позволила предложить альтернативный алгоритм суточного маневра мощностью а. з. (компромиссно-комбинированный метод регулирования мощности). Пусть энергоблок работает на номинальной мощности  $N_{ном}$ , ксеноновые колебания подавлены при помощи перемещения регулирующей группы. Первоначальное снижение (до 90 %) мощности реакторной установки (РУ) осуществляется вводом борной кислоты заданной концентрации  $C(H_3BO_3)$ , поддерживая при этом неизменной температуру теплоносителя на входе в реактор  $T_{vx}=\text{const}$  за счет повышения давления в главном паровом коллекторе (ГПК)  $P_{ГПК}$ . Вводом рабочей группы поддерживается оптимальный мгновенный аксиальный офсет (АО) как гарантия невозникновения ксеноновых колебаний.

В дальнейшем снижение мощности происходит за счет отравления. Оптимальный мгновенный АО удерживается за счет изменения положения рабочей группы. Приблизительно через 2–3 ч мощность реактора  $N_{РУ}$  достигнет 80% и вводом «чистого дистиллята» будет стабилизирована. После прохождения максимума «йодной ямы» мощность РУ частично восстановится за счет разотравления.

Для восстановления номинальной мощности  $N_{ном}$  РУ вводится «чистый дистиллят» в контур с одновременным снижением давления в ГПК  $P_{ГПК}$ , что позволяет сохранить постоянной температуру входа  $T_{vx}=\text{const}$ . Регулирующая группа ОР СУЗ извлекается из а. з. для поддержания оптимального мгновенного АО. После достижения номинального уровня мощности автоматический регулятор поддерживает его на заданном уровне.



## 2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Подавление возникающих ксеноновых колебаний осуществляется перемещением регулирующей группы. Алгоритм программы регулирования с  $t_{vx}=\text{const}$  приведен на (рис. 2).

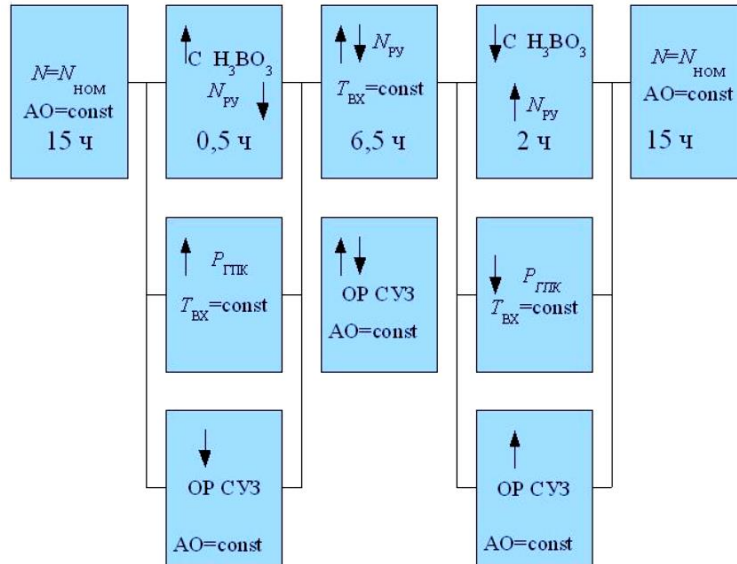
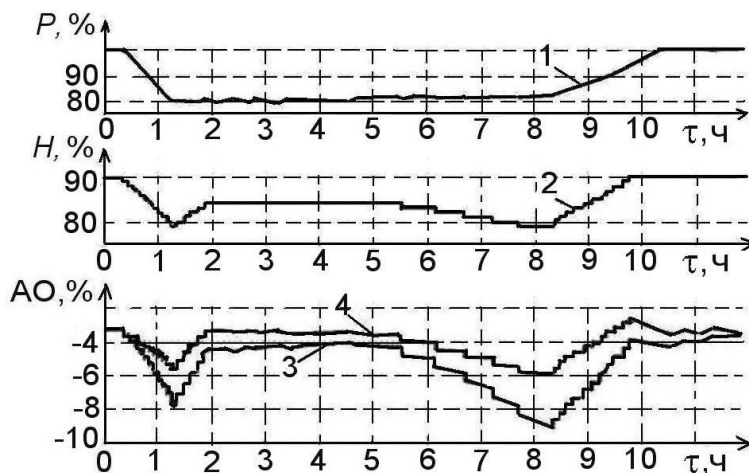


Рис. 2. Алгоритм суточного маневра мощностью ВВЭР-1000 при  $t_{vx}=\text{const}$

Сравним эффективность двух алгоритмов суточного маневра мощностью энергоблока с ВВЭР-1000: предлагаемого алгоритма (альтернативного) и алгоритма, проходившего испытания на Хмельницкой АЭС 18.04.2006 г. (апробированного). [5]

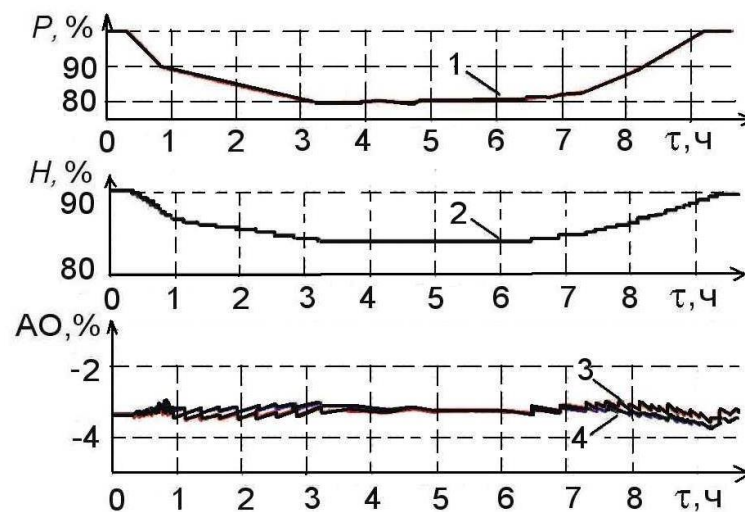
Как известно, мгновенный АО соответствует текущему распределению концентрации ксенона, а равновесный АО отвечает равновесному распределению концентрации ксенона. Мощность реактора  $P(\tau)$ , положение регулирующей группы стержней  $H(\tau)$ , мгновенный и равновесный  $AO(\tau)$ , рассчитанные в зависимости от времени  $\tau$  с помощью программы ИР, для апробированного и альтернативного алгоритма показаны соответственно на рис. 3 и 4. [5]

Верхняя регламентная граница положения регулирующих стержней для ВВЭР-1000 – 90 % от низа а. з. как правило, на номинальной мощности операторы поддерживают именно такое положение регулирующей группы ОР СУЗ. Поэтому для рассматриваемых алгоритмов, показанных на рисунках 3–4, маневр начинается при  $H = 90\%$  от низа а. з..



1 – мощность реактора  $P$ , %; 2 – положение регулирующей группы стержней  $H$ , %; 3, 4 – соответственно мгновенный и равновесный  $AO$ , %

Рис. 3. Мощность  $P$ , положение ОР СУЗ, мгновенный и равновесный  $AO$  в зависимости от  $\tau$ , ч для апробированного алгоритма

**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

1 – мощность реактора  $P$ , %; 2 – положение регулирующей группы стержней  $H$ , %; 3, 4 – соответственно мгновенный и равновесный АО, %

Рис. 4. Мощность РУ, положение ОР СУЗ, мгновенный и равновесный АО в зависимости от  $\tau$ , ч для альтернативного алгоритма суточного маневра мощностью

Нижнее положение регулирующих стержней для апробированного алгоритма –  $H = 78\%$ , тогда как для альтернативного –  $H = 84\%$  – см. кривые (2), рисунки 3–4. Таким образом, для альтернативного алгоритма в два раза уменьшается амплитуда необходимого движения регулирующей группы ОР СУЗ. [6]

Для апробированного алгоритма, в отличие от альтернативного, характерна значительная дивергенция мгновенного и равновесного АО. Амплитуда изменения АО в ходе маневра для апробированного алгоритма примерно в 10 раз больше, чем для альтернативного, что является предвестником проблем со стабилизацией поля энерговыделения после окончания маневра – см. кривые (3), (4) на рисунках 3–4.

**Выводы:**

1. Проведен сопоставление двух алгоритмов изменения мощности реакторной установки на основе анализа изменения аксиального офсета. Постоянство аксиального офсета во время проведения маневра мощностью доказывает устойчивость реакторной установки. Анализ показал, что метод регулирования мощности энергоустановки, в котором постоянная температура теплоносителя 1-го контура на входе в активную зону реактора поддерживается постоянной за счет изменения давления пара во втором контуре, за счет перемещения клапанов турбины устойчив. Поддержание постоянной температуры теплоносителя на входе в активную зону реактора позволило стабилизировать изменения температуры теплоносителя в нижней части, т.е. изменение мощности нижней половины активной зоны не осуществляется.;
2. При осуществлении суточного маневра энергоблоком, который происходит по компромиссно-комбинированному методу регулирования, аксиальный офсет не изменяется, что обеспечивает устойчивость реактора на протяжении суточного маневра мощностью.

**Литература**

1. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit / M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov // Nuclear Engineering and Design. – 2009. – Vol. 239, № 12. – P. 3021–3026.
2. Метод оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла ВВЭР-1000 в различных режимах нагружения / М.В. Максимов, С.Н. Пелих, О.В. Маслов, В.Е. Баскаков // Атомная энергия. – 2010. – Т. 108, Вып. 5. – С. 294–299.
3. Pelykh, S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. – Vol. 241, № 8. – P. 2956–2963.
4. Пат. 100070 Україна, МПК G 21 C 7/00. Спосіб управління ядерною енергетичною установкою з реактором водяного типу при зміні потужності реактора або зовнішнього навантаження / Максимов М.В., Баскаков В.Е, Пелих С.М., Цисельська Т.О.; заявник та патентовласник Максимов М.В., Баскаков В.Е, Пелих С.М., Цисельська Т.О. – № а201102326; заявл. 28.02.2011; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21/2012.

**2 АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

5. Pelykh, S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode / S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 242–245.
6. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2012. – Вип. 1(38). – С. 99–106.

**References**

1. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit / M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov // Nuclear Engineering and Design. – 2009. –Vol. 239, № 12. – P. 3021–3026.;
2. Metod otsenki ekspluatatsionnogo resursa obolochki tvela VVER-1000 v razlichnykh rezhimakh nagruzheniya / M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov, V.E. Baskakov // Atomnaya energiya. – 2010. – Т. 108, Vyip. 5. – С. 294–299.;
3. Pelykh, S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. – 2011. –Vol. 241, № 8. – P. 2956–2963.;
4. Pat. 100070 Ukrayina, МРК G 21 C 7/00. Sposib upravlinnya yadernoyu energetychnoyu ustanovkoyu z reaktorom vodyanogo ty`pu pry` zmini potuzhnosti reaktora abo zovnishn`ogo navantazheniya / Maksy`mov M.V., Baskakov V.E, Pely`x S.M., Sy`sel`s`ka T.O.; zayavny`k ta patentovlasny`k Maksy`mov M.V., Baskakov V.E, Pely`x S.M., Sy`sel`s`ka T.O. – # a201102326; zayavl. 28.02.2011; opubl. 12.11.2012, Byul. # 21/2012.;
5. Pelykh, S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode / S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Nuclear Physics and Atomic Energy. – 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 242–245.;
6. Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Pr. Odes. politekhn. un-tu. – Odesa, 2012. – Vyp. 1(38). – S. 99–106.

УДК 658.5.011.16

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НАТУРАЛЬНОГО УКСУСА

Муратов В. Г.<sup>1</sup><sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI: 10.15673/2312-3125.20/2015.36963

**Аннотация**

Изложены предложения, а также результаты их реализации и испытаний на действующем оборудовании для повышения эффективности автоматизированного процесса производства натурального уксуса.

**Abstract**

Offers, and also results of their realization and tests on the operative equipment for increase of efficiency of the automated process of production of natural vinegar are stated.

**Ключевые слова**

Управление, регулирование, реактор, уксус, культуральная жидкость, аэрация, бактерии, струйный насос, дозатор.