

УДК 621.165:681.3

*И.Н. БАБАЕВ*, канд. техн. наук; ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
*В.Ю. РОХЛЕНКО*, канд. техн. наук; инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
*С.Д. ГЕРАСИМОВ*, инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
*Т.Я. ЖОРНИЦКАЯ*, инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
*В.Н. АГЕЕВА*, инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков

## **УПРАВЛЕНИЕ ПАРОВПУСКНЫМИ ОРГАНАМИ ПОСЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПЕРЕГРЕВА НА ТУРБИНАХ АЭС В РЕЖИМАХ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗГРУЗОК**

Розглянуті особливості штатної системи регулювання турбін потужністю 1000 МВт для АЕС щодо можливостей реалізації ними команд проти аварійної автоматики енергосистеми. Запропоновані шляхи модернізації системи в напрямку виконання імпульсних розвантажень у відповідності до потреб енергосистеми. Наведені розраховані на електронній моделі турбіни криві зміни потужності турбіни у часі в залежності від команд енергосистеми.

There have been considered the features of the standard control system of 1000 MW turbines for NPP from the view point of the realization of the commands of the anti-emergency automatics of the power system. The ways of the system modernization for the impulse unloadings realization as per the power system requirements have been proposed. There have been presented the calculated curves of the turbine power change from the time depending on the power system commands.

### **1 Штатная система регулирования**

Отличительной особенностью блоков АЭС является выполнение промежуточного промперегрева пара в компактных устройствах (сепараторах-промперегревателях – СПП), расположенных рядом с турбиной. Объем пара, содержащийся в камере, состоящей из СПП и связывающих СПП с турбиной паропроводов, значительно уменьшен по сравнению с системой промежуточного перегрева блоков на органическом топливе: постоянная времени камеры парового объема не превышает 3...5 с. Благодаря этому стало возможным применение паровпускных органов промперегрева (обычно заслонок) с двухпозиционным гидравлическим способом управления вместо пропорционального.

Схема с двухпозиционным гидравлическим управлением заслонками реализована на всех турбинах ОАО «Турбоатом» мощностью 1000, 750, 500 и 240 МВт. Во всех режимах работы блоков (кроме сбросов нагрузки до холостого хода) заслонки полностью открыты, после сбросов в течение 1 мин совершают несколько перемещений на полный ход до обеспаривания СПП, после чего турбина переходит на поддержание холостого хода клапанами ВД при открытых заслонках.

Однако возможности использования штатной схемы для реализации импульсных разгрузок потребовали дополнительных исследований, результаты которых изложены ниже.

На упрощенной расчетной модели блока с системой регулирования турбины, учитывающей:

- мощность ЦВД турбины в зависимости от положения клапанов ВД;
- мощность ЦСД в зависимости от давления пара перед заслонками и положения заслонок;
- давление пара перед заслонками в зависимости от положения клапанов ВД, заслонок и динамических характеристик паровой камеры СПП;

– динамические характеристики системы регулирования (запаздывание и время перемещения клапанов ВД и заслонок на закрытие и открытие);

– произведен расчет переходных процессов изменения вырабатываемой мощности при различных видах возмущений от автоматики энергосистемы.

Характерные переходные процессы представлены на рисунках 1 и 2.

На основании анализа переходных процессов могут быть сделаны выводы:

а) быстрое снижение нагрузки требует формирования «форсирующего импульса» для закрытия всех клапанов ВД и заслонок НД с максимальной скоростью;

б) выдержка парозапорных органов в закрытом состоянии определяет глубину разгрузки;

в) восстановление мощности после импульсной разгрузки (ИР) до исходной или ограниченной мощности определяется характером открытия клапанов и заслонок;

г) невозможна разгрузка турбины до любой, заданной командой из энергосистемы, величины, что объясняется следующими факторами:

Положение регулирующих заслонок зависит от давления в гидравлической линии управления. Под действием «форсирующего импульса» происходит полное опорожнение протяженной гидравлической линии управления золотниками сервомоторов регулирующих заслонок низкого давления (СМ РЗ НД). Для последующего открытия сервомоторов РЗ НД и нагружения турбины после ИР требуется время  $\sim (0,3...0,4 \text{ с})$  на заполнение объема этой гидравлической линии управления, что приводит к соответствующему запаздыванию открытия заслонок. За это время мощность турбины успевает снизиться до нуля независимо от заданной командой из устройств противоаварийной автоматики величины разгрузки;

д) кратковременные открытия и последующие закрытия регулирующих заслонок, применяемые в алгоритме сброса нагрузки, приводят к неоднократным колебаниям мощности, что недопустимо, поскольку может привести к нарушению устойчивости энергосистемы;

е) однократное полное открытие регулирующих заслонок приводит к значительному перерегулированию при восстановлении по мощности.

Таким образом, штатная гидравлическая часть системы регулирования позволяет реализовать два режима ИР, каждый из которых удовлетворяет лишь частично требованиям энергосистемной автоматики:

а) разгрузку до «нуля» с требуемой максимальной скоростью снижения мощности путем одновременного закрытия всех регулирующих клапанов (РК) и РЗ с помощью форсирующего импульса с замедленным восстановлением мощности (рис. 1);

б) разгрузку до любого заданного промежуточного значения мощности без закрытия РЗ, со сниженной скоростью разгрузки и восстановления мощности (рис. 2).

## **2 Система регулирования для выполнения требований ИР**

Для расширения возможностей реализации режимов, задаваемых противоаварийной автоматикой энергосистемы, (а также улучшения характеристик динамических процессов изменения частоты при сбросах нагрузки) предлагается выполнить систему регулирования турбины К-1000 нового поколения, доработанную следующим образом:

– реализовать индивидуальное электрогидравлическое управление сервомоторами НД в режимах ИР и сброса нагрузки, для чего установить на каждый сервомотор НД индивидуальный электрогидравлический преобразователь. Это

позволит осуществлять импульсные разгрузки турбины путем выборочного закрытия регулирующих заслонок одного, двух, трех ЦНД, в зависимости от требуемой величины разгрузки;

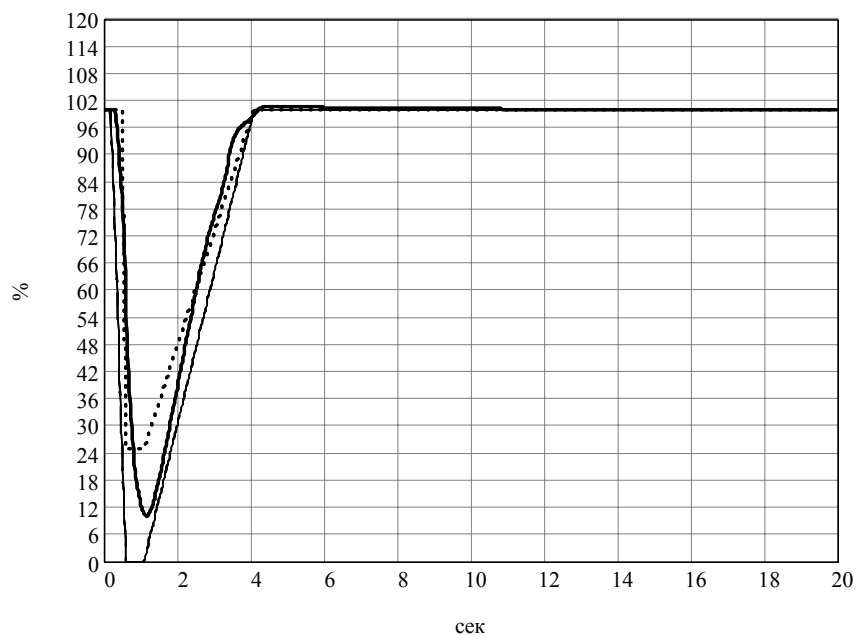


Рис. 1. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке с закрытием заслонок промперегрева для штатной системы регулирования (скорость разгрузки  $N_{т}$  в секунду – максимальная)

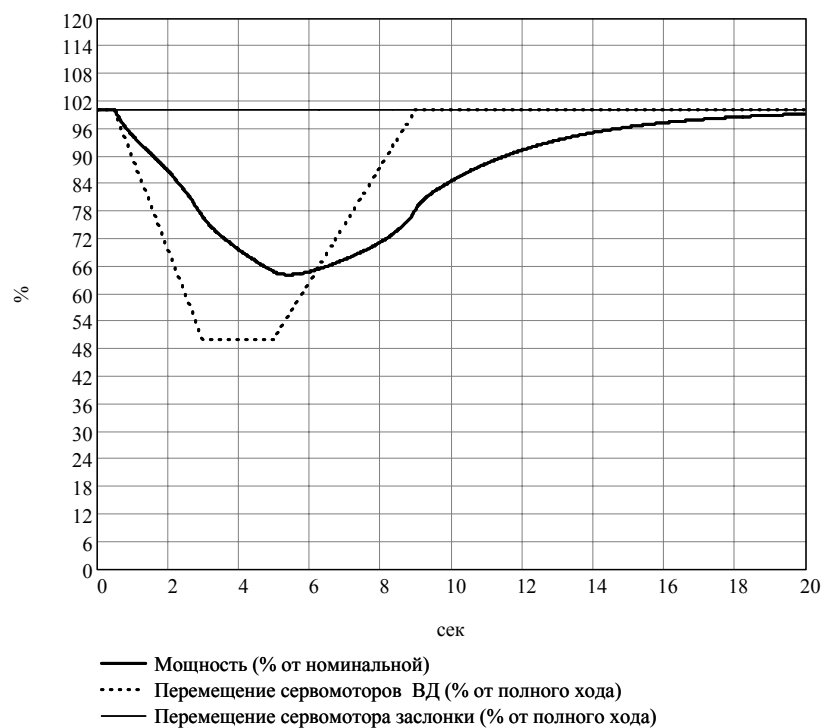


Рис. 2. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке без закрытия заслонок промперегрева для штатной системы регулирования

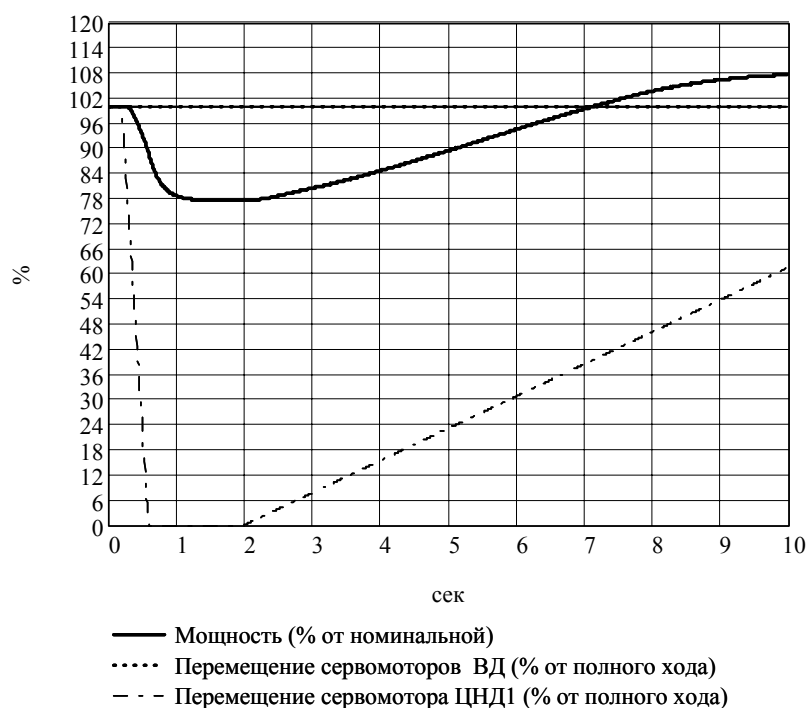


Рис. 3. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке закрытием ЦНД1 для модернизированной системы регулирования

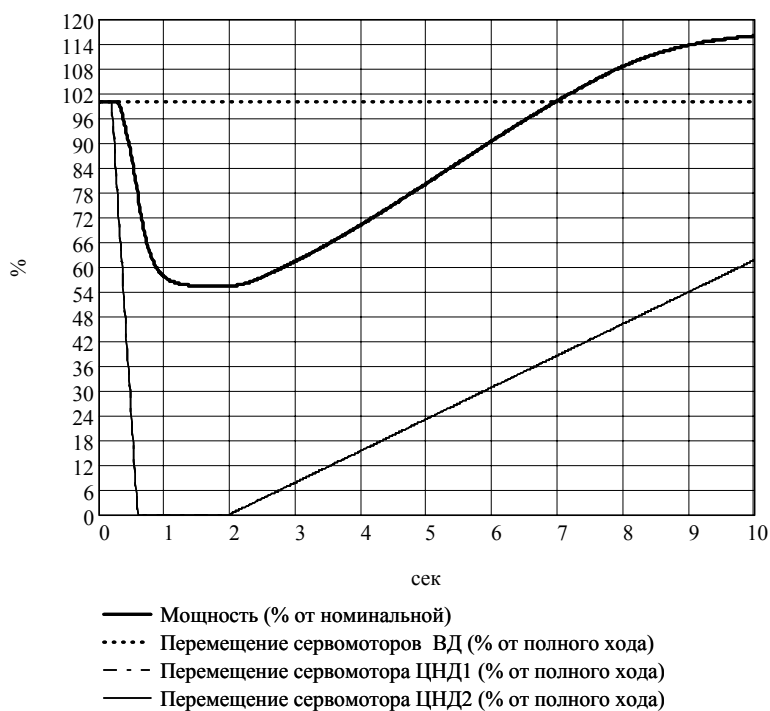


Рис. 4. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке закрытием ЦНД1 и ЦНД2 для модернизированной системы регулирования

– обеспечить пропорциональное управление сервомоторами РЗ НД, для чего установить на индивидуальных сервомоторах РЗ датчики положения. Это позволит выполнять последующее после импульсной разгрузки нагружение с любой программируемой скоростью. При этом аналогично решается задача плавного программируемого снижения частоты вращения при сбросах нагрузки.

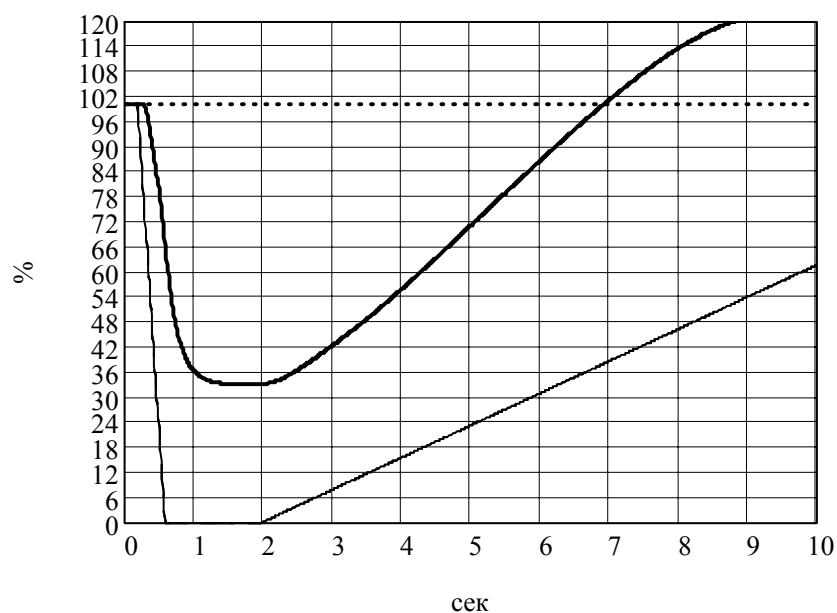


Рис. 5. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке закрытием ЦНД1, ЦНД2 и ЦНД3 для модернизированной системы регулирования

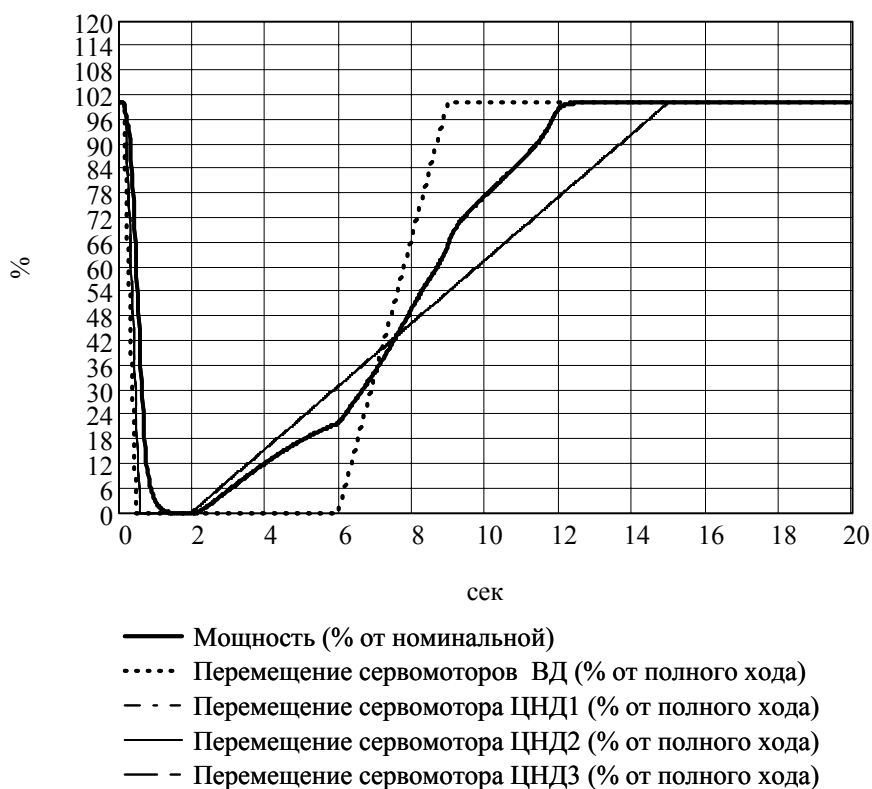


Рис. 6. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке закрытием ЦВД, ЦНД1, ЦНД2 и ЦНД3 для модернизированной системы регулирования

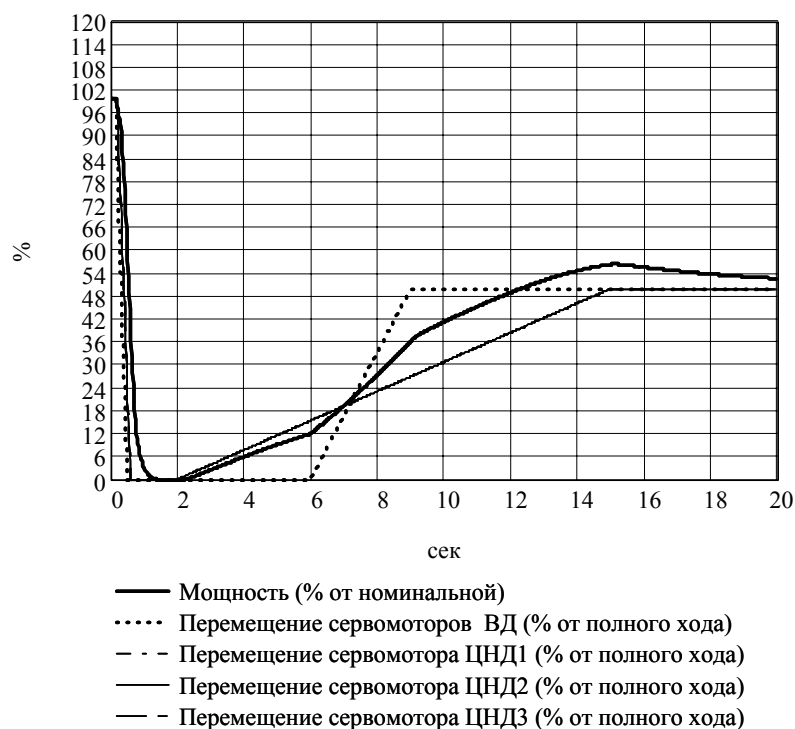


Рис. 7. Расчетное изменение мощности турбины при импульсной разгрузке закрытием ЦВД, ЦНД1, ЦНД2 и ЦНД3 с последующим ограничением мощности для модернизированной системы регулирования

Расчетные переходные процессы при импульсных разгрузках для схемы с электрогидравлическим управлением заслонками НД приведены на рисунках 3...7.

Расчеты переходных процессов выполнены приближенно, на модели турбины, не учитывающей наличие паровых перемычек между цилиндрами низкого давления по регенерации.

### 3 Выводы

3.1 Турбины для АЭС со штатными системами регулирования, предусматривающими гидравлическое двухпозиционное управление заслонками промперегрева, ограничены в возможностях реализации импульсных разгрузок.

3.2 Замена гидравлического двухпозиционного способа управления заслонками пропорциональным электрогидравлическим способом расширяет возможности турбин в реализации импульсных разгрузок. Одновременно может быть уменьшена колебательность заслонок при выходе турбины на холостой ход после сброса нагрузки.

3.3 При индивидуальном управлении каждой из заслонок своим ЭГП (электрогидравлическим преобразователем) возможно повысить точность импульсных разгрузок путем разгрузки различного количества работающих ЦНД (одного, двух, трех).

© Бабаев И.Н., Рохленко В.Ю., Герасимов С.Д., Жорницкая Т.Я., Агеева В.Н., 2010  
 Поступила в редколлегию 16.11.09