

УДК 621.175-52

*Г.И. КАНЮК*, д-р техн. наук; проф. УИПА, г. Харьков

*А.Р. МИСЬКО*, ассистент УИПА, г. Харьков

*И.П. ЛАПТИНОВ*, инженер-технолог «УкрКранЭнерго», г. Харьков

*Д.Д. СТЕБЛЯНКО*, ассистент УИПА, г. Харьков

## **ПРИНЦИПЫ И МОДЕЛИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Сформульовано завдання створення енергозберігаючої системи автоматичного керування режимами роботи конденсаторів парових турбін. Розроблена загальна математична модель стаціонарного режиму роботи конденсатора. Сформований алгоритм еталонної програми функціонування конденсатора при заданих значеннях витрат пари і конденсату.

The task of creation of the energysaving system of automatic control the modes of operations of condensers of steam-turbines is formulated. The general mathematical model of the stationary mode of operations of condenser is developed. The algorithm of the standard program of functioning of condenser is formed at the set values of charges of steam and runback.

В работе [1] отмечено, что в настоящее время практически исчерпаны резервы повышения экономичности паротурбинных электростанций за счет повышения начальных параметров, усовершенствования систем регенеративного подогрева питательной воды и промежуточного перегрева пара. Вместе с тем, обострение проблем в топливно-энергетическом комплексе и ухудшение экологической ситуации диктуют необходимость системного подхода к решению проблем повышения экономичности и экологических характеристик ТЭС и АЭС.

В связи с этим, в энергетической области большое внимание стало уделяться низкопотенциальным комплексам электростанций как структурных единиц энергоблоков, оказывающих непосредственное влияние на экономичность их эксплуатации за счет влияния на конечные параметры пара и на расход электроэнергии для собственных нужд. По данным Запорожской АЭС недовыработка электроэнергии из-за плохих условий теплообмена в конденсаторах ежегодно составляет порядка 1,5 млрд. кВт·ч [2].

Поэтому обеспечение оптимальных режимов работы конденсационных установок, минимизация всех видов энергетических потерь в них представляет собой важную и актуальную научно-техническую проблему.

Целью исследования является создание энергосберегающих систем автоматического управления режимами работы систем низкопотенциального комплекса, в частности, конденсаторов паровых турбин.

Следуя общим принципам энергосберегающего управления технологическими объектами, изложенными в [3], конденсатор, как объект управления, обеспечивающий конденсацию отработанного в турбине пара, представим следующим образом (рис. 1).

Вектор нерегулируемых входных параметров  $\vec{X}_{\text{вх}}^{\text{нерег}}$  включает номинальные для определения режима работы значения массового расхода ( $G_{\text{п}}^{\text{вх}}$ ), давления ( $P_{\text{п}}^{\text{вх}}$ ) и температуры ( $t_{\text{п}}^{\text{вх}}$ ) пара, входящего в конденсатор из последней ступени турбины.

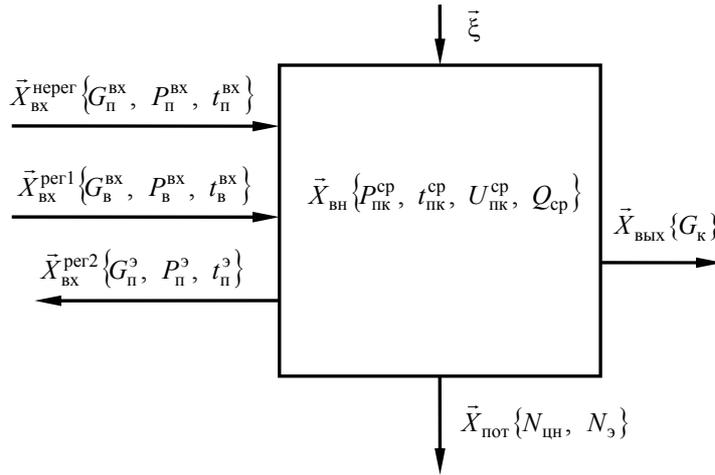


Рис. 1. Конденсатор, как объект управления

представлен средними значениями давления ( $P_{пк}^{cp}$ ), температуры ( $t_{пк}^{cp}$ ) и скорости циркуляции пара ( $U_{пк}^{cp}$ ) в паровом пространстве конденсатора, а также средним значением количества теплоты ( $Q_{cp}$ ), отдаваемого паром охлаждающей воде через стенки трубных пучков.

Вектор выходных параметров  $\vec{X}_{\text{вых}}$  представляет собой значение массового расхода образующегося конденсата ( $G_K$ ).

Вектор потерь  $\vec{X}_{\text{пот}}$  – значения мощностей, потребляемых циркуляционным насосом ( $N_{\text{цн}}$ ) и эжекторами ( $N_э$ ).

Из моделей отдельных рабочих процессов и элементов конденсатора может быть составлена общая математическая модель стационарного режима работы конденсатора.

$$\begin{aligned}
 G_{\text{п}}^{\text{вх}} &= G_K + G_{\text{п}}^{\text{э}}; \\
 G_{\text{п}}^{\text{э}} &= C_{\text{пэ}}^{\text{х}} \cdot X_{\text{рз}}^{\text{э}} + C_{\text{пэ}}^{\text{рпк}} \cdot P_{\text{пк}}^{\text{cp}}; \\
 t_{\text{пн}}^{\text{cp}} &= C_{t_{\text{рн}}} \cdot P_{\text{пк}}^{\text{cp}} + C'_{t_{\text{рн}}}; \\
 q &= \alpha_{\text{п}}^{\text{cp}} \cdot (t_{\text{пн}}^{\text{cp}} - t_{\text{ст}}^{\text{cp}}); \\
 q &= (t_{\text{ст}}^{\text{cp}} - t_{\text{ст}}^{\text{вх}}) / \sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i); \\
 q &= \alpha_{\text{в}}^{\text{cp}} \cdot (t_{\text{ст}}^{\text{cp}} - t_{\text{в}}); \\
 \alpha_{\text{п}}^{\text{cp}} &= C_{\alpha_{\text{п}}}^{\text{тн}} \cdot t_{\text{пн}}^{\text{cp}} + C_{\alpha_{\text{п}}}^{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}}^{\text{cp}}; \\
 \alpha_{\text{в}}^{\text{cp}} &= C_{\alpha_{\text{в}}}^{\text{г}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot Q_{\text{в}}; \\
 G_K &= C_{G_K}^q \cdot q; \\
 N_{\text{в}} &= Q_{\text{в}} \cdot P_{\text{в}} = C_{\text{NX}}^{\text{цт}} \cdot X_{\text{рз}}^{\text{цн}} + C_{\text{NQ}}^{\text{цт}} \cdot Q_{\text{в}}; \\
 N_{\text{цн}}^{\text{потр}} &= N_{\text{в}} / \eta_{\text{цн}} = C_{\text{NX}}^{\text{цт}} \cdot X_{\text{рз}}^{\text{цн}} + C_{\text{NQ}}^{\text{цн}} \cdot n_{\text{цн}}; \\
 Q_{\text{в}} &= C_{Q_{\text{в}}}^{\text{xpз}} \cdot X_{\text{рз}}^{\text{цн}} + C_{Q_{\text{в}}}^{\text{п}} \cdot n_{\text{цн}}; \\
 t_{\text{пк}}^{\text{cp}} \cdot (C_{\text{рп}}^{\text{вх}} \cdot G_{\text{п}}^{\text{вх}} + C_{\text{р.конд}} \cdot G_K + C_{\text{рп}}^{\text{к}} \cdot G_{\text{п}}^{\text{э}}) &= (C_{\text{рп}}^{\text{вх}} \cdot G_{\text{п}}^{\text{вх}} \cdot t_{\text{п}}^{\text{вх}} + C_{\text{р.конд}} \cdot G_K \cdot t_{\text{конд}}^{\text{cp}} + C_{\text{рп}}^{\text{к}} \cdot G_{\text{пэ}} \cdot t_{\text{с}}) - q \cdot A_K.
 \end{aligned}$$

Векторы регулируемых параметров  $\vec{X}_{\text{вх}}^{\text{пер1}}$  и  $\vec{X}_{\text{вх}}^{\text{пер2}}$  – соответствующие значения параметров охлаждающей воды ( $G_{\text{в}}^{\text{вх}}, P_{\text{в}}^{\text{вх}}, t_{\text{в}}^{\text{вх}}$ ) и пара, откачиваемого эжекторами ( $G_{\text{п}}^{\text{э}}, P_{\text{п}}^{\text{э}}, t_{\text{п}}^{\text{э}}$ ).

При этом вектор параметров, по которым может непосредственно осуществляться управление  $\vec{X}_{\text{упр}} \{G_{\text{в}}^{\text{вх}}, G_{\text{п}}^{\text{э}}\}$ .

Вектор внутренних параметров  $\vec{X}_{\text{вн}}$  может быть

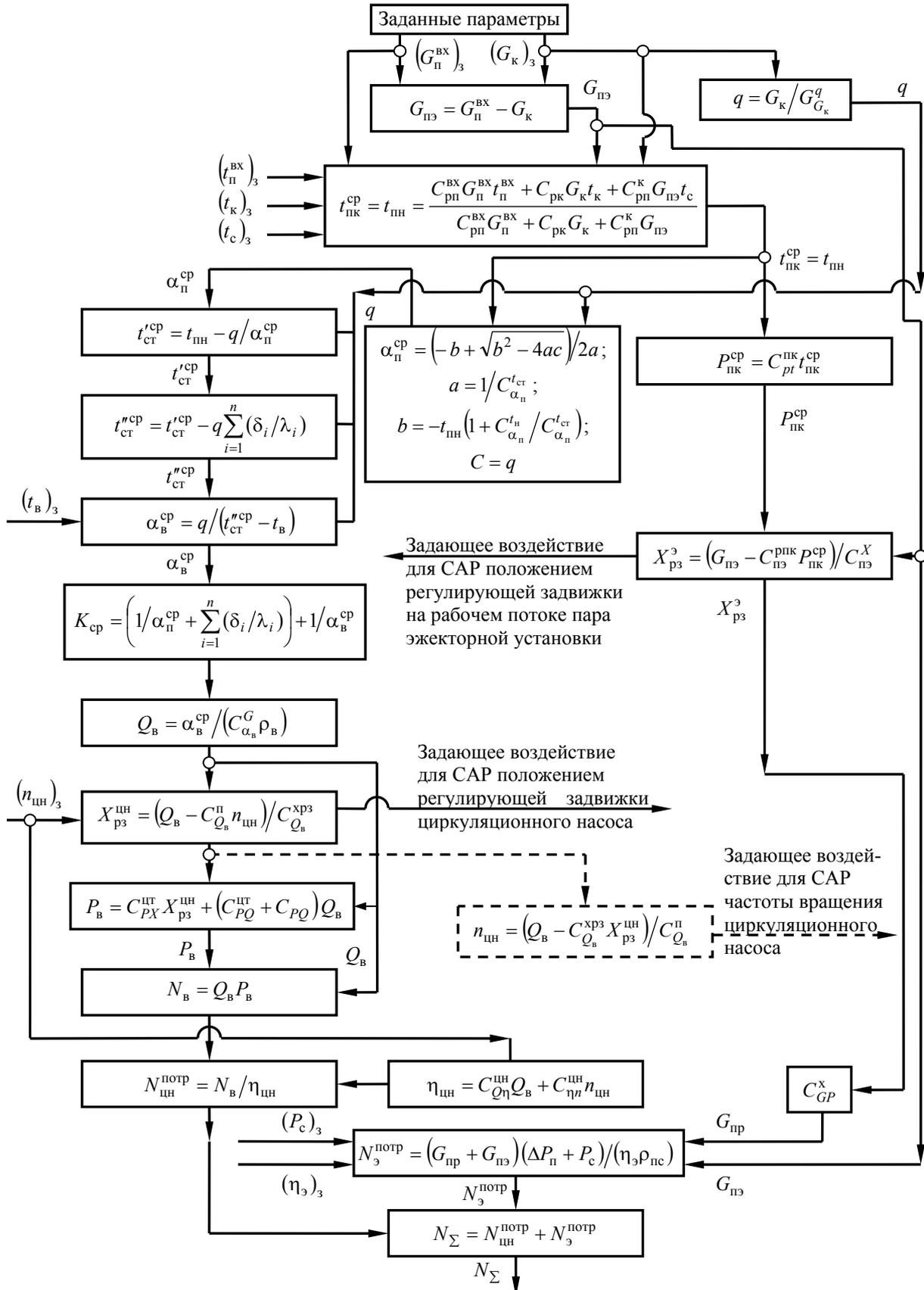


Рис. 2. Алгоритм формирования заданной программы работы конденсатора и задающих воздействий для САР расходов эжектируемого пара и охлаждающей воды

На основании общей математической модели конденсатора может быть сформирован алгоритм эталонной программы функционирования конденсационной установки при заданных значениях расходов пара  $(G_{\text{п}}^{\text{вх}})_3$  и конденсата  $(G_{\text{к}})_3$  (рис. 2).

Эта программа может формировать рациональные задающие воздействия для системы автоматического регулирования (САР) положением регулирующей задвижки на рабочем потоке пара эжекторной установки, задвижки циркуляционного насоса и привода циркуляционного насоса.

В направлении решения указанной проблемы проведены теоретические исследования и получены следующие основные результаты.

1. Сформулирована задача создания энергосберегающей системы автоматического управления режимами работы конденсаторов паровых турбин, обеспечивающей заданное соотношение расходов поступающего пара и конденсата при минимальных затратах мощности эжекторной установки и циркуляционного насоса.

2. Разработана математическая модель рабочих процессов конденсатора, учитывающая процессы теплообмена и конденсации пара, работы парозежекторной установки и циркуляционного насоса.

3. Разработана общая функциональная схема энергосберегающей САУ (системы автоматического управления) режимами работы конденсатора с использованием эталонной модели объекта и модели отклонений основных параметров от заданных значений.

4. Разработан алгоритм формирования заданной программы работы конденсатора и задающих воздействий для САР расходов эжектируемого пара и охлаждающей воды.

5. Предложена структура энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора с использованием эталонной модели, формирующей заданный режим работы и модели отклонений, обеспечивающей коррекцию задающих воздействий для САР расходов пара и охлаждающей воды при отклонениях от заданного режима.

Дальнейшие задачи в этом направлении заключаются в следующем:

– подбор и аппроксимация экспериментальных характеристик рабочих процессов и элементов конденсационной установки, необходимых для замыкания и конкретизации разработанной математической модели;

– получение функции мощности энергетических потерь, затрачиваемых на функционирование конденсатора (мощность, потребляемая эжекторной установкой и циркуляционным насосом) и исследование ее на экстремум (минимум);

– конкретизация предложенной общей структуры энергосберегающей САУ режимами работы конденсатора, доведение ее до возможности практического исследования и повышения технико-экономических характеристик энергоблоков.

**Список литературы:** 1. *Муравьев В.И.* Разработка и анализ технических решений по рационализации конденсационных систем низкопотенциального комплекса ТЭС и АЭС: монография / В.И. Муравьев, Д.В. Михайский, М.И. Суханов и др. – Харьков: ХУВС, 2010. – 122 с. 2. *Артюх С.Ф.* Анализ резервов энергосбережения и возможностей повышения технико-экономической эффективности насосных установок низкопотенциального комплекса (НПК) тепловых и атомных электростанций / С.Ф. Артюх, И.Г. Шелепов, Г.И. Канюк и др. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 57'2005. – Харьков. – С. 32-42. 3. *Канюк Г.И.* Общие принципы энергосберегающего управления технологическими объектами / Г.И. Канюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 4/3 (46). – С. 42-44.

© Канюк Г.И., Мисько А.Р., Лаптинов И.П., Стеблянко Д.Д., 2011  
Поступила в редколлегию 11.02.11