

УДК 621.313.12.001.57

**Конущбаєва Т.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗНЕВОДНЕННЯ ВОЛОГОЇ ПАРИ ДЛЯ ЕНЕРГОБЛОКУ ВВЕР-1000

У наш час атомна енергетика розвивається високими темпами, вона відіграє революційну роль у науково-технічному прогресі. Немає ніякої серйозної альтернативи ядерній енергетиці. Поки ще не введено технічно ефективні й економічно вигідні шляхи використання невичерпних запасів сонячної енергії. Що стосується органічного палива, то його запаси швидко закінчуються і знаходяться на межі повного виснаження. Під час спалювання в топках теплових електростанцій кам'яного вугілля, нафти чи газу споживається багато кисню, викидається в атмосферу значна кількість пилу, сажі й сірчистого газу. Органічне паливо доводиться добувати у важкодоступних районах, що підвищує їх вартість.

Ядерна ж енергетика має велику енергоємність, тобто обсяг необхідного ядерного палива на одиницю потужності в кілька десятків тисяч разів менший, ніж органічного. Частка вироблення електроенергії атомними електростанціями в Україні становить майже 50%.

На всіх енергоблоках України (окрім ЧАЕС типу реактора РБМК-1000) установлені водо-водяні реактори, у яких звичайна хімічно знесолена вода слугує водночас і сповільнювачем нейтронів, і теплоносієм, що відводить тепло, яке виділяється під час розподілу ядер урану в працюючому реакторі.

Система технічного водопостачання забезпечує охолодження конденсаторів турбін, допоміжного устаткування турбогенераторів, теплообмінного устаткування реакторної установки й устаткування інших допоміжних систем, заповнення дисбалансних вод станції і втрат.

**Ключові слова:** сепаратор-пароперегрівник, регулювання, математична модель, перехідний процес, технічні засоби автоматизації.

**Постановка проблеми.** Чотири сепаратори-пароперегрівники СПП-1000 з комплектувальним устаткуванням призначені для забезпечення припустимої вологості в останніх ступенях турбіни й підвищення ККД шляхом осушки та наступного двоступеневого перегріву пари, що надходить після циліндра високого тиску турбіни К-1000-60/3000, який працює на насиченій парі атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами ВВЕР-1000.

Вимоги, пропонувані до СПП: сепарат і конденсат гріючої пари повинні виводитися зі СПП та накопичуватися в проміжних сепарато- й конденсатозбірниках, щоб уникнути закидання води в турбіну або її розгону; проміжних збірників вологи має підтримуватися рівень, щоб уникнути проскакування пари; для підтримки процесу теплообміну необхідне видалення з апаратів газів, що не конденсуються; необхідний захист від неприпустимого підвищення тиску.

Сепарато- й конденсатозбірники, що поставляються в комплекті зі СПП-1000, є проміжними ємкостями для відводу сепарату й конденсату зі СПП-1000. Підтримка рівнів у сепарато- й конденсатозбірниках здійснюється регулюючими клапанами.

Для захисту корпусу апаратів під час експлуатації від підвищення тиску встановлені мембранні запобіжні пристрої.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження з СПП проводяться досить давно. Сьогорішні експлуатація проходить дуже добре, що підтверджують АЕС.

Дослідження СПП проводились у роботах, зазначених далі.

Так, математична модель СПП розглянута в роботі В.А. Демченко [1, с. 162–175]. У посібнику [2, с. 132–136] і праці М.А. Стириковича [3, с. 179–184] показані основні характеристики СПП.

Опис СПП поданий у роботі А.С. Ключова [4].

**Постановка завдання. Мета статті** – вивчення автоматизованої системи управління процесом зневоднення вологої пари для енергоблоку ВВЕР-1000.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Волога пара із циліндра високого тиску турбіни надходить через вхідний патрубок Ду-1200 у вхідну кільцеву камеру, з якої розподіляється по вхідних колекторах сепаратора. Пара з вхідного колектора, направляючись униз через сепаратор, проходить між направляючими лопатками й надходить на жалюзі, де відбувається осадження крапель вологи. Осушена пара проходить через дірчастий лист у вихідний короб. Частина вологи випадає також на стінках і направляючих лопатках у вхідному колекторі і стікає на зливальну підлогу й далі в

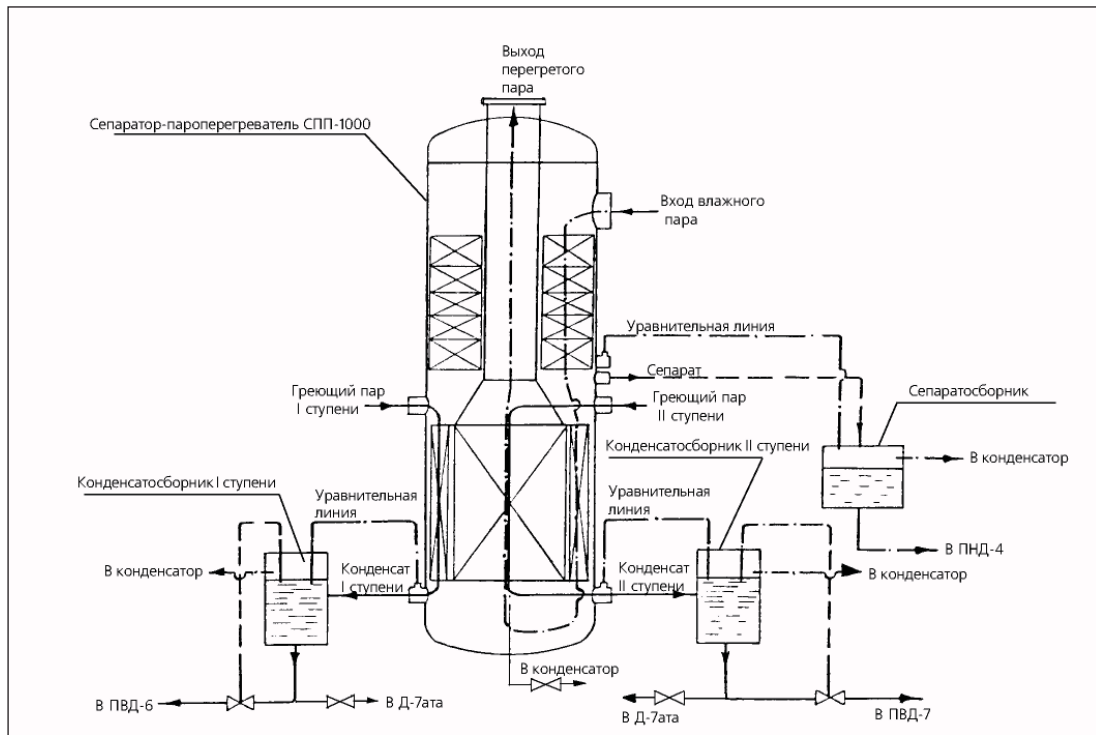


Рис. 1. Теплова схема включення СПП-1000

кільцевий колектор. Інша частина вологи осаджується на жалюзі, з яких стікає в зливальні лотки. Зі зливальних лотків волога потрапляє в зливальну стійку й далі в кільцевий колектор. Із внутрішнього кільцевого колектора відсепарована волога відводиться з нижньої частини сепаратора двома трубами Ду-200 в сепаратозбірник.

Осушений у сепараторі пар надходить у міжтрубний простір 1 ступеня пароперегрівника, де відбувається його остаточна осушка й частковий перегрів. Вийшовши з 1 ступеня, пар розвертається в нижнім еліптичним днищі на 180 градусів і надходить у 2 ступінь пароперегрівника, де відбувається його остаточний перегрів. Із 2 ступеня сухий перегрітий пар через верхню горловину СПП по центральній трубці Ду-1200 приділяється зі СПП-1000 й направляється в циліндр низького тиску турбіни. Гріючою парою для 1 ступеня пароперегрівника слугує пара 1 добору циліндра високого тиску турбіни при тиску  $26,55 \text{ кгс/см}^2$  і температурі  $228,1^\circ\text{C}$ . Гріюча пара підходить до підводячих камер 1 ступеня, розташованих на корпусі апарату. З камер пар, що підводять, по трубах  $32 \times 3$  розподіляється по касетах, де конденсується, віддаючи тепло парі, що перегрівается. Конденсат із касет трубами  $32 \times 3$  збирається у дві камери, що відводять, 1 ступеня, з яких надходить у конденсатозбірник 1 ступеня (КС-1). Камери, що відводять, 1 ступеня й конденсатозбірник КС-1 з'єднані зрівняльною лінією по паровому простору.

Гріючою парою для 2 ступеня пароперегрівника слугує гостра пара тиском  $57,2 \text{ кгс/см}^2$  і температурою  $272,3^\circ\text{C}$ . Гріюча пара підходить до двох камер 2 ступеня, з яких по трубах  $32 \times 3$  розподіляється по касетах. Конденсат із касет трубами  $32 \times 3$  збирається у дві камери, що відводять, 2 ступеня, з яких надходить у конденсатозбірник 2 ступеня (КС-2). Камери, що відводять, 2 ступеня й конденсатозбірник КС-2 з'єднані зрівняльною лінією по паровому простору. Для доступу у внутрішні порожнини СПП-1000, огляду та ремонту його внутрішніх поверхонь є три люки-лази Ду-400.

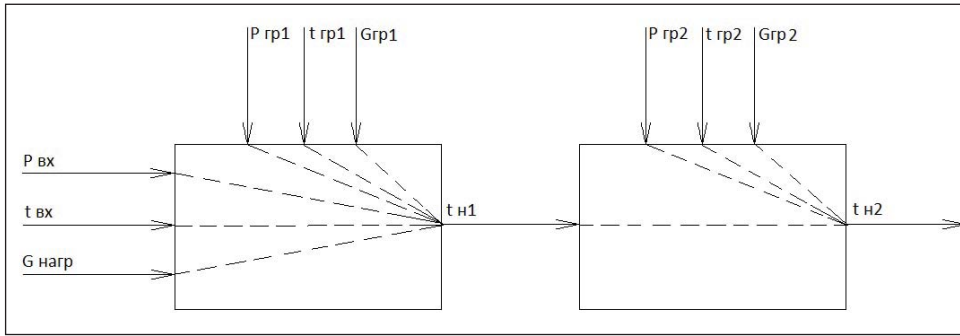
Перед створенням математичної моделі СПП-1000 приймемо такі допущення: пара насичена; втратами қвтр нехтуємо; параметри об'єкта лінійні, зосередженні.

Накопичення енергії в цьому теплообміннику відбувається в трубній системі (стінці, через яку відбувається теплообмін) і парі. Наш сепаратор-пароперегрівник має в складі два теплообмінники, й відповідно для цього потрібно два гріючі теплові потоки.

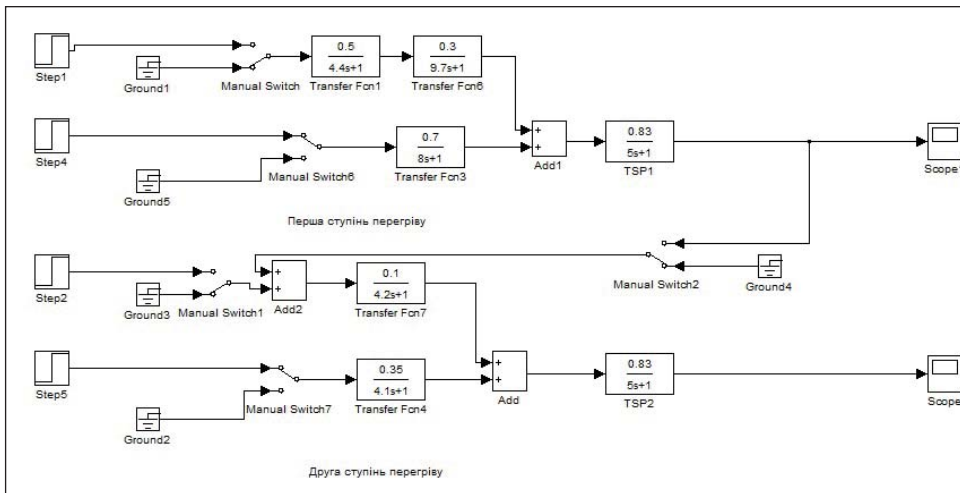
Складемо параметричну схему двоступінчатого перегріву пари в СПП-1000.

Також побудовано структурну схему математичної моделі СПП-1000 з включенням каналів керування, зображену на рис. 3.

Отримані криві розгону по каналах керування впливів, тобто гріюча пара першого ступеня

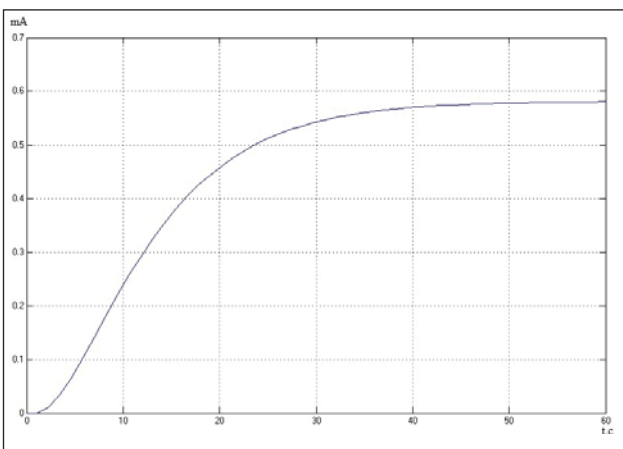


**Рис. 2. Параметрична схема двоступінчатого перегріву пари в СПП-1000**  
де  $P_{вх}$  – тиск вологої пари на вході в СПП-1000;  $t_{вх}$  – температура вологої пари на вході в СПП-1000;  $G_{вх}$  – витрата вологої пари на вході в СПП-1000;  $P_{гр1}$  – тиск грючої пари першого ступеня перегріву;  $t_{гр1}$  – температура грючої пари першого ступеня перегріву;  $G_{гр1}$  – витрата грючої пари першого ступеня перегріву;  $t_{н1}$  – температура пари на виході з першого ступеня перегріву;  $P_{гр2}$  – тиск грючої пари другого ступеня перегріву;  $t_{гр2}$  – температура грючої пари другого ступеня перегріву;  $G_{гр2}$  – витрата грючої пари другого ступеня перегріву;  $t_{н2}$  – температура пари після другого ступеня перегріву (на виході із СПП).

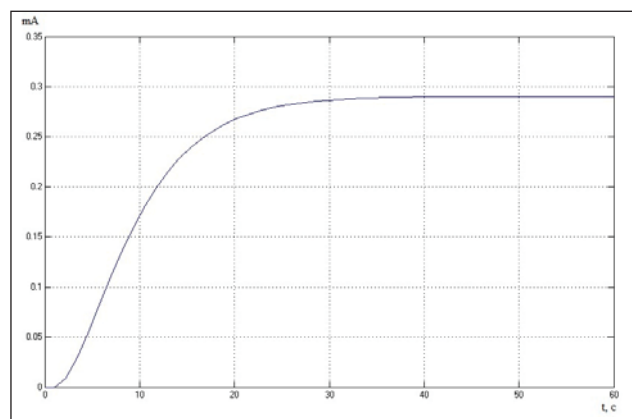


**Рис. 3. Структурна схема математичної моделі СПП-1000 з включенням каналів керування**

перегріву (рис. 4) та грюча пара другого ступеня перегріву (рис. 5).



**Рис. 4. Крива розгону об'єкта по каналу «навантаження – температура пари, що нагрівається після 1-го ступеня»**



**Рис. 5. Крива розгону об'єкта по каналу «навантаження – температура пари, що нагрівається після 2-ого ступеня»**

Для отримання кривих розгону по каналах збурення включимо схему так.

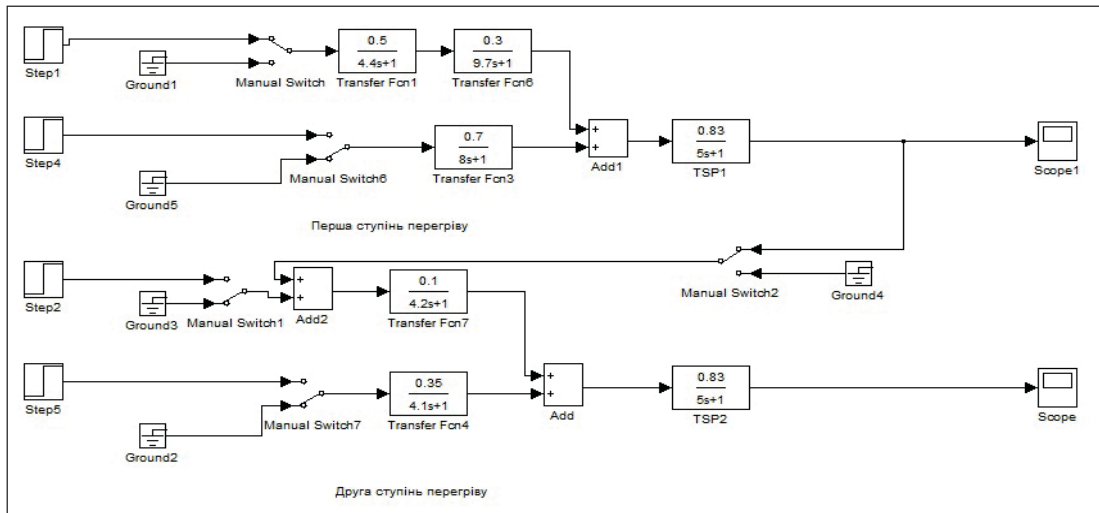


Рис. 6. Структурна схема математичної моделі СПП-1000 з включенням каналів збурення

Отримані такі криві розгону.

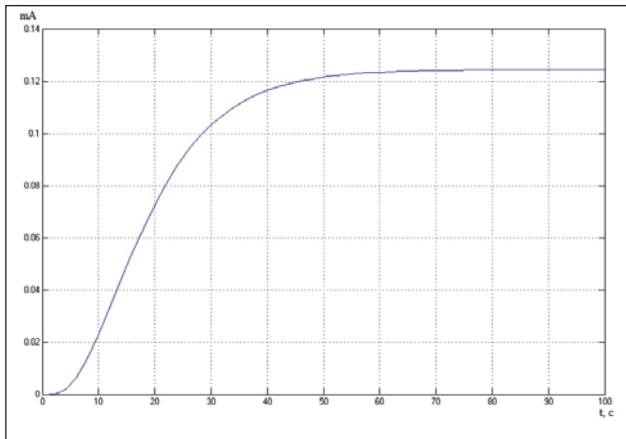


Рис. 7. Крива розгону по каналу збурення на перший ступінь перегріву

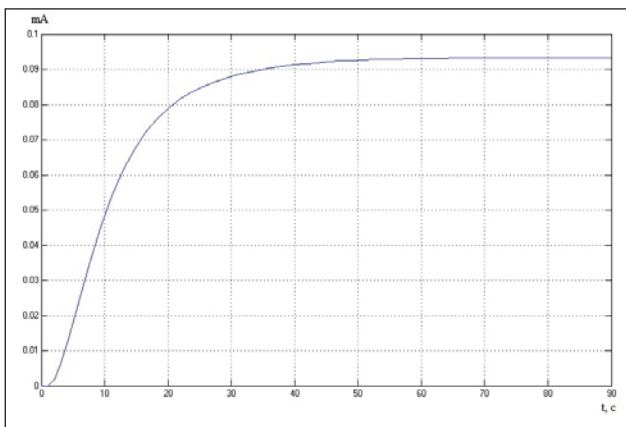


Рис. 8. Крива розгону по каналу збурення на другий ступінь перегріву

Складемо структурну схему регулювання температури пари на виході з перегрівачів першого і другого ступенів (рис. 9).

Оскільки діапазон коливання температури перегрітої пари на виходах з теплообмінників дорівнює  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , поставимо ці межі коливання на схемі.

На виході ми маємо уніфікований сигнал 0...5 мА, діапазон вимірювання ТСПУ дорівнює 0–300 $^{\circ}\text{C}$ . Отже, 1 $^{\circ}\text{C}$  спільномірний із сигналом  $\approx 0,0167$  мА.

Розглянемо перехідний процес регулювання температури пари на виході з першого ступеня перегріву (рис. 10).

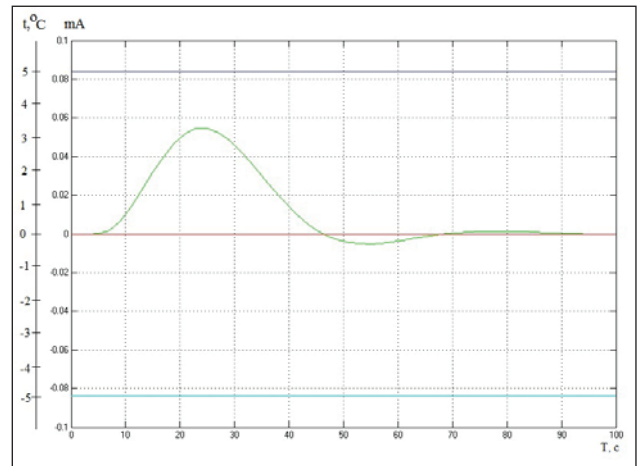


Рис. 10. Перехідний процес регулювання температури пари, що нагрівається після першого ступеня перегріву

Тепер розглянемо перехідний процес регулювання температури пари на виході з другого ступеня перегріву, тобто на виході із СПП (рис. 11).

Отже, з перехідного процесу видно, що температура пари на виході з СПП-1000 регулюється в допустимих межах. У циліндр низького тиску надійде достатньо осушена й перегріта пара з температурою  $250 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

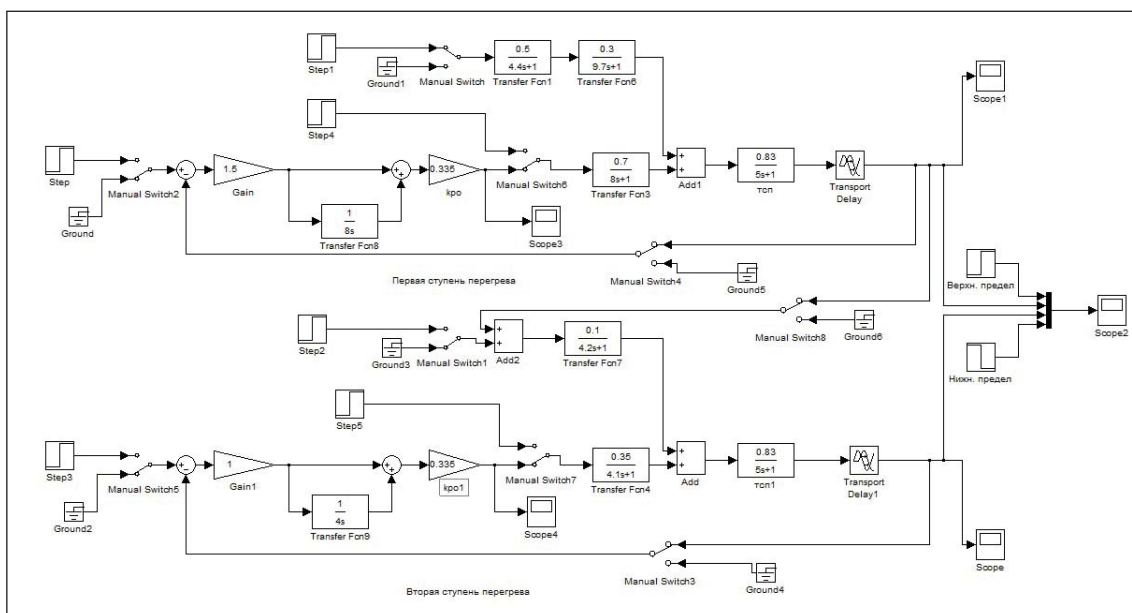


Рис. 9. Структурна схема АСР для моделювання на ЕОМ

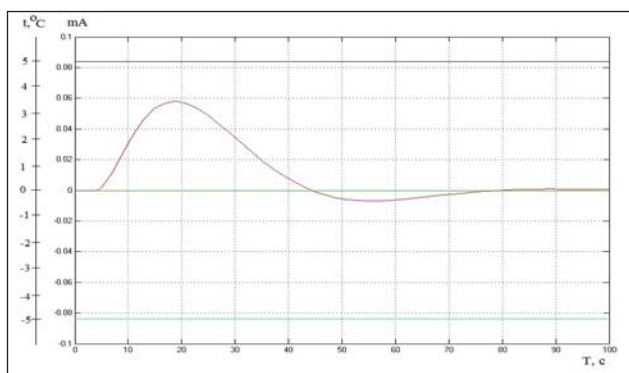


Рис. 11. Перехідний процес регулювання температури пари, що нагрівається після другого ступеня перегріву

Отже, з перехідного процесу видно, що температура пари на виході з СПП-1000 регулюється в допустимих межах. У циліндр низького тиску надійде достатньо осушена й перегріта пара з температурою  $250 \pm 5^\circ\text{C}$ .

**Висновки.** Розроблена математична модель осушення та перегріву пари, досліджені динамічні характеристики, знайдені передатні функції. У програмноупакеті Simulink побудована структурна схема АСР процесу сепарації-пароперегріву. Отримані перехідні процеси регулювання вихідної температури пара після першого перегрівника, а також на виході із СПП.

#### Список літератури:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и Тес. Одесса, 2001. С. 162–175.
2. ЮУАЕС УТЦ. Пособие обучаемого НСТЦ, ВИУТ, НСЭЦ, система промежуточного перегрева пара. Южноукраинск, 2004. С. 132–136.
3. Стырикович М.А. Теплообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций. Москва, 1982. С. 179–184.
4. Клюев А.С. Настройка средств автоматизации автоматических систем регулирования. Москва, 1981.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ВЛАЖНОГО ПАРА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-1000

В настоящее время атомная энергетика развивается высокими темпами, она играет революционную роль в научно-техническом прогрессе. Нет никакой серьезной альтернативы ядерной энергетике. Пока еще не введены технически эффективные и экономически выгодные пути использования неисчерпаемых запасов солнечной энергии. Что касается органического топлива, то его запасы быстро заканчиваются и находятся на грани полного истощения. При сжигании в топках тепловых электростанций каменного угля, нефти или газа потребляется много кислорода, выбрасывается в атмосферу значительное количество пыли, сажи и сернистого газа. Органическое топливо приходится добывать в труднодоступных районах, что повышает их стоимость.



*Ядерная же энергетика имеет большую энергоёмкость, то есть объем необходимого ядерного топлива на единицу мощности в несколько десятков тысяч раз меньше, чем органического. Доля выработки электроэнергии атомными электростанциями в Украине составляет почти 50%.*

*На всех энергоблоках Украины (кроме ЧАЭС типа реактора РБМК-1000) установлены водо-водяные реакторы, в которых обычная химически обессоленная вода служит одновременно и замедлителем нейтронов, и теплоносителем, отводит тепло, выделяемое при делении ядер урана в работающем реакторе.*

*Система технического водоснабжения обеспечивает охлаждение конденсаторов турбин, вспомогательного оборудования турбогенераторов, теплообменного оборудования реакторной установки и оборудование других вспомогательных систем, заполнение дисбалластных вод станции и потерь.*

**Ключевые слова:** *сепаратор-пароперегреватель, регулирование, математическая модель, переходный процесс, технические средства автоматизации.*

## **AUTOMATED SYSTEM OF THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF THE REVERSING OF HYDROGEN POWDER FOR VVER-1000 VEGETABLES**

*Nowadays, nuclear energy is developing at a high pace, it plays a revolutionary role in scientific and technological progress. There is no serious alternative to nuclear power. The introduction of technically efficient and cost-effective ways of using inexhaustible solar energy reserves is still not feasible. Regarding organic fuel, its stocks quickly expire and are on the verge of complete exhaustion. When combustion in combustion plants of thermal power plants coal, oil or gas consumes a lot of oxygen, is emitted into the atmosphere a significant amount of dust, soot and sulfur dioxide. Organic fuel has to be extracted from hard-to-reach areas, which increases their cost.*

*Nuclear energy has a high energy intensity, that is, the amount of nuclear fuel needed per unit of power is several tens of thousands times less than organic. The share of electricity generation in nuclear power plants in Ukraine is almost 50%.*

*Water-water reactors are installed at all power units of Ukraine (except for the ChNPP type of the RBMK-1000 reactor), in which the usual chemically desalinated water serves simultaneously and a neutron retarder and a heat carrier that diverts the heat emitted during the distribution of uranium nuclei in a working reactor.*

*The system of technical water supply provides cooling of turbine condensers, auxiliary equipment of turbogenerators, heat exchange equipment of the reactor plant and equipment of other auxiliary systems, filling of imbalanced water stations and losses.*

**Key words:** *steam-superheater separator; regulation, mathematical model, transient technical means of automation.*