

УДК 621.039.534

**Конциур В.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## РОЗРАХУНОК І ВИБІР РЕГУЛЮЮЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ РІВНЯ ДРЕНАЖУ В ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ЕНЕРГОБЛОКУ 1000 МВт ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС

У статті об'єктом проектування є технологічна ділянка групи ПНТ, що входить у другий контур енергоблоку АЕС. Проведено розрахунок і вибір регулюючого органу для підтримки дренажу в групі підігрівачів низького тиску енергоблоку 1000 МВт Запорізької АЕС. У тепловій схемі атомної електростанції з реактором типу ВВЕР-1000 застосовується система регенерації низького тиску, яка призначена для регенеративного підігрівання основного конденсату турбоустановки паром, що частково відпрацювала в проточній частині ЦНТ турбіни. Застосування ПНТ підвищує ККД установки й суттєво впливає на безпеку та надійність АЕС.

**Ключові слова:** АЕС, система регенерації низького тиску, підігрівач низького тиску, дренаж, регулюючий орган, виконавчий механізм.

**Постановка проблеми.** У тепловій схемі атомної електростанції з реактором типу ВВЕР-1000 застосовується система регенерації низького тиску, яка призначена для регенеративного підігрівання основного конденсату турбоустановки паром, що частково відпрацювала в проточній частині ЦНТ турбіни. Застосування підігрівачів низького тиску (далі – ПНТ) підвищує ККД установки й суттєво впливає на безпеку та надійність АЕС.

Підігрів основного конденсату в ПНТ здійснюється через поверхню трубної системи.

У реакторній установці використовуються регенеративні підігрівачі поверхневого типу, тобто такі, в яких гріюче середовище (пар відбору турбіни) відокремлене від середовища, що нагрівається (вода конденсатно-живильного тракту). Пар конденсується в ПНТ у вигляді води, так званий дренаж, відводиться на попередній по ходу ПНТ. З першого після конденсатора підігрівача дренаж зливається в конденсатор. Така схема отримала назву «каскадний злив дренажів».

Під час автоматизації процесу регулювання рівня в ПНТ одним із найважливіших параметрів є рівень конденсату (дренажу) гріючої пари. Підвищення рівня конденсату в ПНТ може зумовити затоплення змійовиків і, як наслідок, потрапляння вологи в турбіну, що призведе до аварії з пошкодженням лопаток турбіни. Зниження рівня призводить до оголення змійовиків та, отже, до запарювання ПНТ, підвищення в ньому тиску, що може зумовити розрив з'єднувальних труб. Контроль рівня конденсату забезпечує безаварійну роботу всього блоку. Крім того, великий запас води в кор-

пусі підігрівача може викликати її скипання й аварійну занедбаність пароводяної суміші в парову турбіну, якщо при різкому зниженні навантаження турбіни недостатньо швидко закриють зворотні клапани на паропроводі відбору.

Однією з ланок системи автоматичного регулювання рівня дренажу в групі ПНТ є дросельний регулюючий орган, що приводиться в дію виконавчим механізмом.

**Постановка завдання.** Тому метою статті є розрахунок і вибір регулюючого органу для підтримки дренажу в групі ПНТ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Опис і принцип роботи об'єкта автоматизації. У регенеративних підігрівачах відбувається нагрів конденсату й поживної води паром, що надходить із нерегульованих відборів турбіни. У підігрівачі, розташовані далі по ходу поживної води, пара надходить від відборів турбіни з більш високим тиском, що й забезпечує поступове підігрівання води в міру її просування від конденсатора до парогенератора. Дренаж (конденсат) гріючої пари або відводиться самопливно в паровий простір попереднього по ходу води підігрівача, або подається насосом у поживну лінію.

ПНТ є вертикальним кожухотрубним циліндричним апаратом зварної конструкції, відповідно до рисунка 1. Вертикальні підігрівачі найбільш зручні під час компонування обладнання в машинному залі. Крім того, конденсуюча пара утворює плівку на теплообмінній поверхні, якщо вона вертикальна, то полегшується відведення плівки конденсату, що підвищує коефіцієнт теплопередачі й зменшує теплообмінну поверхню.

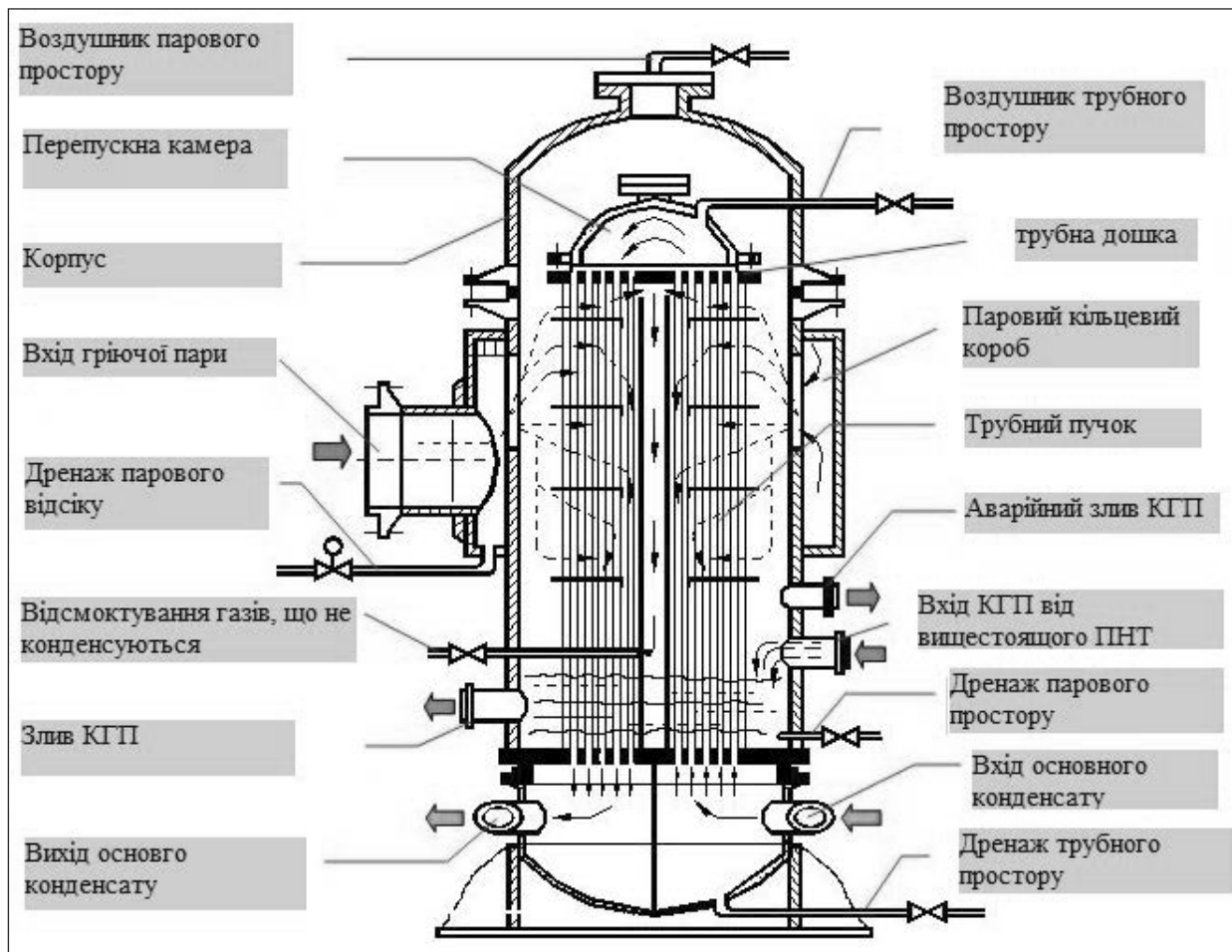


Рис. 1. Підігрівач низького тиску

Для компенсації температурних подовжень трубної системи перепускна камера виконана «плаваючою». З метою забезпечення рівномірного підведення пари до трубного пучка на корпусі кожного апарату встановлений кільцевий короб (зовнішній кожух). Пара до трубного пучка підводиться рівномірно по кільцевому коробу й через отвори у внутрішній сітківці по колу подається в кільцевий проміжок між трубою системою та корпусом.

Для організації спрямованого руху пари в трубному пучку останній на 3/4 довжини кола по всій висоті поміщений у кожух. Основними вузлами підігрівача є корпус, трубний пучок, знімна кришка, розподільна й перепускна камери. Підігрівачі виконані двоходовими по основному конденсату. Трубний пучок підігрівача є єдиним конструктивним вузлом, що складається з каркаса (двох трубних дощок), центральної труби та перегородок, які слугують для дистанціювання теплообмінних труб зі сплаву МНЖ.

Грійоча пара подається в трубну систему ПНТ по всій її висоті з боку другого ходу основного

конденсату й рухається паралельними потоками в бік облаштування відсмоктування газів, що не конденсуються, омиваючи трубний пучок. Підведення та відведення основного конденсату виконане в нижній частині підігрівача. Підведення грійочної пари та відведення конденсату бічні. Для виходу повітря з корпусу в разі заповнення його водою у верхній кришці газового люка передбачений штуцер із повітряним вентилям. Вихід повітря в разі заповнення трубної системи здійснюється по трубі, виведеній у нижній частині корпусу. Для видалення газів, що не конденсуються, передбачений спеціальний пристрій, виконаний у вигляді двох каналів прямокутного перерізу, розташованих з боку першого ходу трубного пучка по всій його висоті. Пароповітряна суміш відсисається з кожного відсіку трубної системи через перфоровані стінки каналів.

Сукупність виконавчого механізму й регулюючого органу називається виконавчим пристроєм. Від правильного вибору та розрахунку виконавчого пристрою залежить якість роботи системи регулювання.

Виконавчий механізм перетворює вихідний сигнал регулятора в переміщення регулюючого органу. Додатково за допомогою ВМ вирішуються й інші завдання управління: пуск й зупинка самого технологічного процесу, а також різних машин і механізмів по ходу процесу. Такий пристрій зазвичай складається з виконавчого двигуна, передавального або перетворювального вузла (наприклад, редуктора), а також систем захисту, контролю та сигналізації положення вихідного елемента, блокування й відключення. Передавальна функція (далі – ПФ) ВМ входить у ПФ регулятора, тому ВМ повинен володіти достатніми швидкодією й точністю, щоб здійснювати переміщення РО з якомога меншим спотворенням закону регулювання. Виконавчі механізми бувають електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані. Перевагою електричних ВМ є можливість дистанційного керування і простота конструкції. Вони, у свою чергу, поділяються на електродвигунні й електромагнітні (соленоїдні).

Регулюючий орган здійснює безпосередній контакт і взаємодію з технологічним середовищем, речовиною, матеріалом або теплоносієм і покликаний змінювати через свою виконавчу частину кількісні або якісні характеристики речовини чи матеріалу; регулюючі органи найбільш часто представлені у вигляді трубопровідної арматури, стрижнів, позиціонують у робочій зоні установки, механічно пов'язаних вузлів і компонентів, що взаємодіють один із одним у процесі протікання технологічних процесів. Регулюючими органами можуть бути різного роду дросельні заслінки, клапани, засувки, шибери, здатні робити зміну кількості робочої речовини, що надходить в об'єкт управління.

Система автоматичного регулювання рівня дренажу в групі ПНТ здійснюється за допомогою дросельного регулюючого органу, що приводиться в дію виконавчим механізмом для підтримки рівня дренажу в заданих межах.

За характером своєї дії дросельний регулюючий орган є місцевим гідравлічним опором, коефіцієнт опору якого залежить від ступеня відкриття. Потік середовища, що проходить через регулюючий орган, витрачає частину енергії на подолання його опору. Унаслідок цього витрата цього середовища змінюється відповідним чином. Як дросельні регулюючі органи застосовують клапани, поворотні заслінки, шибери, золотники тощо.

Розрізняють два види характеристик регулюючих органів: витратні й конструктивні. Вони можуть бути побудовані в абсолютних або від-

носних величинах. Витратна характеристика – це залежність величини витрати середовища від ступеня відкриття регулюючого органу. Конструктивна характеристика являє собою залежність прохідного перетину регулюючого органу від ступеня його відкриття.

Промисловістю випускаються регулюючі органи з трьома видами конструктивних характеристик: лінійними, параболічними та логарифмічними.

Вибір і розрахунок регулюючого органу може здійснюватися як для наявної системи, так і для спроектованої. У першому випадку регулюючий орган розраховується так, щоб за максимальної витрати витрата тиску в ньому відповідала б надлишковому тиску середовища, створюваному побудником витрати, а форма робочої характеристики була близька до заданої. У другому випадку вибір і розрахунок регулюючого органу проводиться одночасно з гідравлічним розрахунком мережі й визначенням початкового тиску середовища, отже, щоб утрата напору при максимальному відкритті була мінімальною, а форма робочої характеристики близька до заданої.

#### Розрахунок регулюючого органу

Початкові дані:

Середовище .....конденсат;  
 Максимальна об'ємна витрата  $Q_{max}$ ....202 м<sup>3</sup>/год;  
 Перепад тисків при макс. розрахунковій витраті  $\Delta P_{ро}$ .....5,75 кгс/см<sup>2</sup>;  
 Температура  $\theta$  .....156,3°С;  
 Густина .....982,6 кг/м<sup>3</sup>;  
 Абсолютний тиск до РО  $P_{1e}$ .....6,3 кг/см<sup>2</sup>;  
 Абсолютний тиск насичених парів  $P_{н90^{\circ}C}$ .....0,4 кгс/см<sup>2</sup>;  
 Кінематична в'язкість при 90°С / 90°С.....0,00328 см<sup>2</sup>/с.

Визначаємо максимальну пропускну здатність:  
 $K_{vmax} = Q_{max} \sqrt{\rho / \Delta P_{ро}} = 73 \text{ м}^3 / 20 \text{ д}$ . (1)

Попередньо за каталогом вибираємо двосідельний РО, який має  $D_y = 150 \text{ мм}$ ;  $K_{vy=90} = 1,2 K_{vmax} = 108 \text{ м}^2 / \text{год}$ .  
 Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = 3530 \frac{Q_{max}}{V D_y} = 2,2 * 10^6. \quad (2)$$

Так як  $Re > 2000$ , то вплив в'язкості на витрату не враховується й обраний РО перевіряється на можливість виникнення кавітації.

Визначаємо коефіцієнт опору РО:

$$\xi = \frac{25,4 * 3,14^2 * 10^4}{9^2 * 90^2} = \frac{25,4 * F^2}{K^2 V_y} = 3,8. \quad (3)$$

Знаходимо коефіцієнт кавітації  $K_c = 0,58$ .

Визначаємо перепад тисків, за яких виникає кавітація:

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c(P_1 - P_n) = 0,58(6,3 - 0,4) = 3,42 \text{ кгс/см}^2. \quad (4)$$

Заданий перепад тисків  $\Delta P_{\text{ро}}$  більший за  $\Delta P_{\text{кав}}$ , отже, обраний РО буде працювати в кавітаційному режимі й не забезпечить задану витрату рідини.

Якщо за умовами технологічного процесу неможливо знизити  $\Delta P_{\text{ро}}$  до  $\Delta P_{\text{кав}}$  або збільшити  $\Delta P_{\text{кав}}$  до  $\Delta P_{\text{ро}}$ , то необхідно вибрати найближчий більший РО, для якого знову визначається  $\xi$ ,  $K_c$  і  $\Delta P_{\text{кав}}$ . У цьому випадку вибираємо РО з умовним проходом  $D_u = 2000$  мм;  $K_{vu} = 140 = 1,2 K_{vmax} = 160 \text{ м}^3/\text{год}$ , для котрого

$$\xi = \frac{25,4 * 3,14^2 * 15^4}{9^2 * 160^2} = \frac{25,4 * F^2}{K^2 V_y} = 6,1. \quad (5)$$

Визначаємо коефіцієнт кавітації, що відповідає максимальній витраті  $K_{cmax} = 0,52$ .

$$\Delta P_{\text{кавmax}} = K_{cmax}(P_1 - P_n) = 0,52(6,3 - 0,4) = 3,1 \text{ кгс/см}^2. \quad (6)$$

Визначаємо мінімальну пропускну здатність:

$$K_{vmax} = Q_{max} \sqrt{\frac{A}{P_{\text{кавmax}}}} = 202 \sqrt{\frac{0,75}{3,1}} = 99,5 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7)$$

Так як  $1,2 K_{vmax} = 99,5 * 1,2 = 119,4 \text{ м}^3/\text{год}$  менше  $K_{vu} = 140 \text{ м}^3/\text{год}$ , то обраний РО забезпечить задану максимальну витрату в умовах кавітації й вибір РО за пропускну здатністю вважається закінченим.

Побудова пропускну характеристики для РО:

$$Q'_{max} = Q_{max} \frac{K_{vu}}{K_{vmax}} = 202 \frac{160}{99,5} = 324,8 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (8)$$

Визначаємо межі пропускну характеристик:

$$\mu_{max} = \frac{202}{328} = 0,62;$$

$$Q_{min} = 0,3 Q_{max} = 0,3 * 202 = 60,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (9)$$

$$\mu_{min} = \frac{60,6}{328} = 0,2 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (10)$$

Вибираємо лінійну характеристику, тому що перепад тиску на РО значно більший, ніж перепад тиску на лінії ( $n=0$ ).

На рисунку 2 показана лінійна характеристика РО.

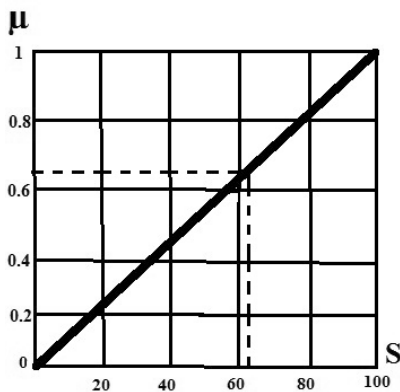


Рис. 2. Лінійна характеристика РО

$$K_{ro} \text{ (для лінійної)} = \frac{202 - 60,6}{(0,6 - 0,2) * 100\%} = 3,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} / \% \text{ходу} = 0,975 \frac{\text{кгс}}{\text{с}} / \% \text{ходу}.$$

$$K_{ro} \text{ (для рівнопроцентної)} =$$

$$\frac{202 - 60,6}{(0,9 - 0,56) * 100\%} = 4,1 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} / \% \text{ходу} = 1,15 \frac{\text{кгс}}{\text{с}} / \% \text{ходу}.$$

### Підбір, призначення, конструктивне виконання і принцип роботи регулюючого клапана для регулювання рівня в групі ПНТ

У результаті розрахунків вибрано клапан моделі Т-149 БС. Клапан Т-149 БС регулюючий поворотного типу призначений для роботи в теплових схемах блоків АЕС із реактором типу ВВЕР. Клапан застосовується як регулюючий орган для регулювання рівня конденсату пара в підігрівачах високого й низького тисків системи регенерації. Зовнішній вигляд представлений на рисунку 3.

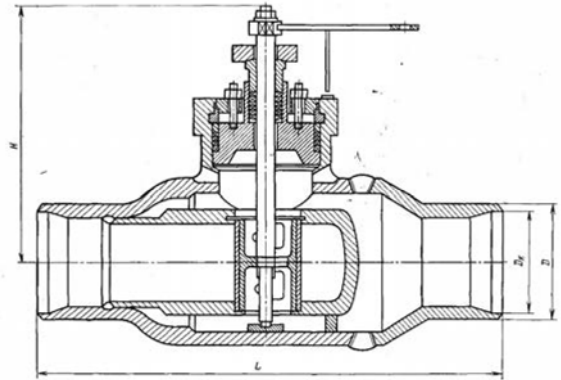


Рис. 3. Клапан Т-149 БС регулюючий поворотного типу

Основні технічні характеристики:

- 1) прохід умовний: 200 мм;
- 2) обертаючий момент: 500 Н м;
- 3) максимальний прохідний перетин: 200 см<sup>2</sup>;
- 4) коефіцієнт витрати: 0,65;
- 5) пропускну здатність: 654 т/год.

Основні вузли й деталі клапанів: зварений корпус з увареним усередину розподільним ковпаком, у якому укріплена нерухома гільза з розташованим у ній золотником, який обертається. Золотник укріплений на шпindelі, один кінець якого спирається для центрування на п'яту, а інший – через сальникове ущільнення виведений назовні. Управляються клапани виконавчим механізмом типу МЕО через важіль.

Клапан працює так: конденсат через вхідний патрубок надходить у розподільний ковпак; під час обертання золотника відносно нерухомої гільзи відбувається зміна площі прохідного перетину

вікон, розташованих на бічних поверхнях гільзи й золотника, відповідно, зміна витрати середовища через клапан. Конденсат з внутрішньої порожнини золотника через відкриті торці надходить у вихідний патрубок клапана й потім у трубопровід.

**Висновки.** Розглянуто технологічний об'єкт регулювання, такий як група ПНТ, що застосо-

вується на АЕС із реактором ВВЕР-1000. Також розглянуто принцип роботи підігрівача низького тиску, основні види характеристик регулюючих органів.

У результаті роботи проведений розрахунок і вибраний регулюючий орган для підтримки дренажу в групі підігрівачів низького тиску.

### Список літератури:

1. Преображенський В.П. Теплотехнічні вимірювання та прилади: підручник для вузів за фахом «Автоматизація теплоенергетичних процесів». 3-е вид., перероб. Москва: Енергія, 1978. 700 с.
2. Демченко В.А. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація безперервних технологічних процесів» для студентів спеціальності 7.09.250. Одеса: ОДПУ, 2000. 89 с.
3. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса: Асторпринт, 2001. 385 с.
4. Васильченко О.Г. Арматура енергетична для АЕС і ТЕС: каталог-довідник про енергетичну арматуру вироблюваної підприємством. Київ, 1986. 49 с.

### РАСЧЕТ И ВЫБОР РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УРОВНЯ ДРЕНАЖА В ГРУППЕ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКА 1000МВт ЗАПОРЖСКОЙ АЭС

*В статье объектом проектирования является технологический участок группы ПНД, которая входит во второй контур энергоблока АЭС. Произведены расчет и выбор регулирующего органа для поддержки дренажа в группе подогревателей низкого давления энергоблока 1000 МВт Запорожской АЭС. В тепловой схеме атомной электростанции с реактором типа ВВЕР-1000 применяется система регенерации низкого давления, предназначенная для регенеративного подогревания основного конденсата турбоустановки парой, которая частично отработала в проточной части ЦНД турбины. Применение ПНД повышает КПД установки и существенно влияет на безопасность и надежность АЭС.*

**Ключевые слова:** система регенерации низкого давления, АЭС, подогреватель низкого давления, дренаж, регулирующий орган, исполнительный механизм.

### CALCULATION AND CHOICE OF REGULATIVE ORGAN FOR SUPPORT OF LEVEL OF DRAINAGE IN THE GROUP OF HEATERS OF LP OF POWER UNIT OF 1000 MW OF ZAPORIZHIA NUCLEAR POWER PLANT

*The object of the design is the technological area of the group of low pressure heater, which is included in the second circuit of the NPP power unit. Calculation and choice of regulative organ for support of level of drainage in the group of heaters of LP of power unit of of the 1000 MW unit of the Zaporizhzhya NPP. In the thermal scheme of a nuclear power plant with a WWER-1000 reactor, a low-pressure regeneration system is used, what is intended for the regenerative heating of basic runback of the second contour by a pair that partly worked in running part of cylinders of LP of turbine.. The use of a low pressure heater increases the efficiency of the installation and significantly affects the safety and reliability of the NPP.*

**Key words:** system of regeneration of LP, NPP, heater of LP, drainage, regulative an organ, executive mechanism.