



УДК 681.518

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕДУКЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ПАРΟΣНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ



### MATHEMATICAL MODEL OF A STEAM REDUCTION AND COOLING UNIT IN STEAM SUPPLY SYSTEMS OF OIL REFINING PRODUCTION

**Матвейкин Валерий Григорьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
информационные процессы и управление,  
Тамбовский государственный  
технический университет

**Дмитриевский Борис Сергеевич**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры  
информационные процессы и управление,  
Тамбовский государственный  
технический университет

**Василевский Константин Сергеевич**

аспирант,  
Тамбовский государственный  
технический университет  
kvasilevskii@yandex.ru

**Толстошеин Сергей Серафимович**

кандидат технических наук,  
генеральный директор,  
ООО «Системы моделирования»  
stolstoshein@yandex.ru

**Аннотация.** В статье проанализирована конструкция редуционно-охладительной установки, используемой на нефтеперерабатывающих заводах в системе обеспечения паром технологических объектов. Для уменьшения энергозатрат производства, при реализации современных алгоритмов управления, необходимо математическое описание процессов. С этой целью редуционно-охладительная установка рассмотрена как объект управления, предложена ее математическая модель.

**Ключевые слова:** редуционно-охладительная установка, пароснабжение, давление пара, температура пара, расход пара, математическая модель.

**Matveykin Valery Grigoryevich**

Doctor of technical Sciences, Professor,  
Head of the Department  
Information processes and management,  
Tambov state technical university

**Dmitrievsky Boris Sergeevich**

Doctor of technical Sciences, Professor,  
Professor of the Department  
Information processes and management,  
Tambov state technical university

**Vasilevsky Konstantin Sergeevich**

Graduate student,  
Tambov state technical university  
kvasilevskii@yandex.ru

**Tolstoshein Sergey Serafimovich**

Candidate of technical Sciences,  
Manager,  
LLC «Modeling systems»  
stolstoshein@yandex.ru

**Annotation.** The article provides an analysis of the steam reduction and cooling unit, which is used in oil refineries in steam supply systems. Mathematical model of the process is required to reduce the energy consumption of production by implementing modern control algorithms.

**Keywords:** steam reduction and cooling unit, steam pressure, steam temperature, steam flow, mathematical model.

**Р**едуционно-охладительные установки (РОУ) применяются прежде всего на нефтеперерабатывающих предприятиях для снижения (редуцирования) давления и снижения температуры пара до необходимых параметров. РОУ обычно применяются для растопки котлов, резервирования производственных отборов турбин в схемах энергоблоков среднего и низкого давления, отпуска пара в промышленные отборы, на собственные нужды электростанций и при отсутствии других источников пара требуемых параметров. Температура и давление пара на выходе РОУ не зависят от того, насколько стабильно работает источник, и имеют постоянные характеристики. РОУ предназначены для снижения показателей температуры и давления пара до значений, необходимых потребителю.

Конструкция РОУ достаточно проста, в упрощенном варианте РОУ состоит из управляемого клапана подачи пара и клапана подачи воды в камеру смешения.

Алгоритм работы РОУ: по паропроводу острый пар через запорную задвижку поступает к дроссельнорегулирующему клапану, в котором осуществляется первая ступень снижения давления (дросселирования) пара.

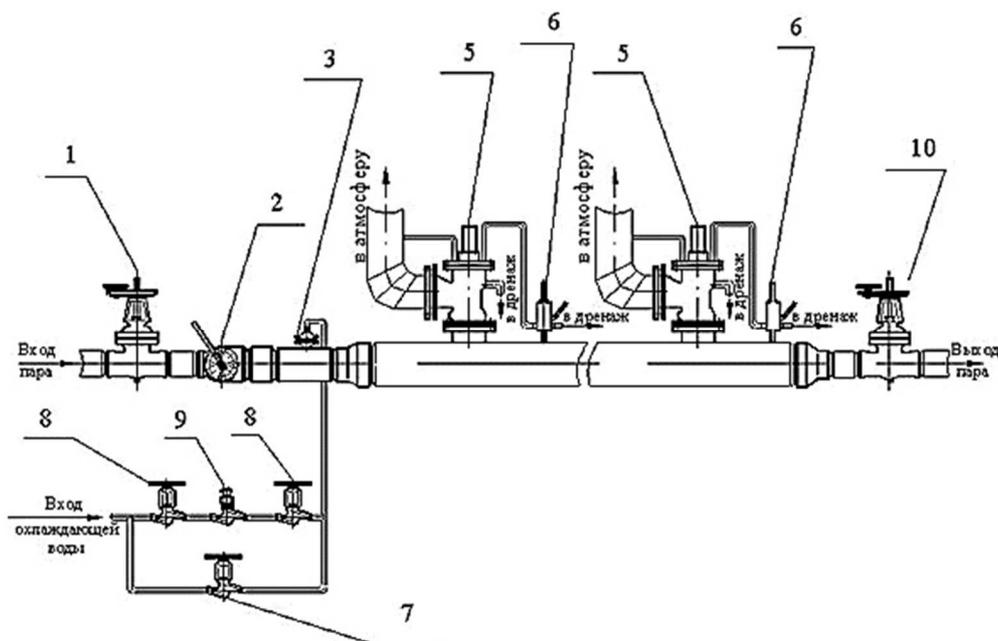


Снижение температуры острого пара производится впрыском охлаждающей воды в поток пара через специальную трубку в дроссельно-охладительной решетке узла шумоглушителя или через сопло в охладитель пара. Охлаждающая вода, испаряясь, охлаждает его до заданной температуры.

Заданное значение температуры и давления пара на выходе поддерживается регуляторами путем управления дроссельно-регулирующими клапанами паровой и водяной магистрали.

Для ручного регулирования температуры пара предусмотрен клапан, регулирующий игольчатый с ручным приводом [1].

Общая схема РОУ представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Схема РОУ:

- 1 – задвижка, 2 – клапан регулирующий (пар),
- 3 – ОП или узел шумоглушителя с дроссельно-охладительной решеткой, 5 – клапан предохранительный,
- 6 – клапан импульсный, 7 – вентиль игольчатый, 8 – вентиль запорный,
- 9 – клапан регулирующий (вода), 10 – задвижка

Для анализа установки как объекта управления (ОУ) необходимо составить вектор входных и выходных переменных, а также вектор возмущающих воздействий [2].

Анализа литературных данных и опыт промышленной эксплуатации показывает, что следует в качестве выходных величин выбрать:

- 1) давление пара на выходе –  $P_p$  (МПа);
- 2) температура пара на выходе –  $T_p$  (°С);
- 3) расход пара после установки –  $G_p$  (т/час).

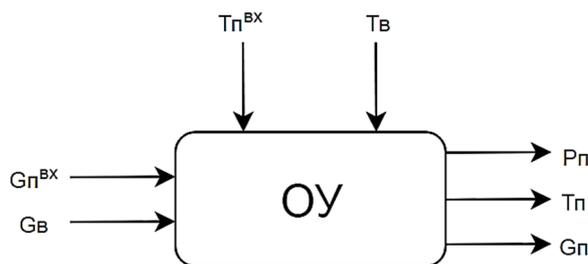
В качестве входных величин выбрать:

- 1) входной расход пара –  $G_{п\text{вх}}$  (т/час);
- 2) расход холодной воды –  $G_{в}$  (т/час).

При этом возмущающими воздействиями являются:

- 1) входная температура пара –  $T_{п\text{вх}}$  (°С);
- 2) температура воды –  $T_{в}$  (°С).

Схема РОУ как объекта управления представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2** – Схема РОУ как объекта управления



Так как РОУ имеет теплоизоляцию, то обмен тепловой энергией с окружающей средой считаем незначительной и не учитываем ее в модели [3]. Обычно для регулирования температуры острого пара в данном аппарате применяется клапан с линейной статической характеристикой.

Опытным путем выяснено:

1. Температура охлаждающей воды поступает в установку из коллектора водопровода. В зависимости от времени года температура воды в коллекторе может принимать значения  $15 \pm 5$  °С.

2. В отдаленных участках магистрали подпитки наблюдается просадка температуры пара. Его температура в отдаленных участках равна  $420 \pm 15$  °С.

Математическая модель данного объекта состоит из математической системы уравнений, описывающие процессы теплообмена и массопереноса, а также ее решение.

Уравнение материального баланса:

$$\frac{dM_n}{d\tau} = G_n^{ex} + G_g - G_n; \tag{1}$$

Уравнение энергетического баланса:

$$\frac{d(M_n C_n T_n)}{d\tau} = G_n^{ex} i_n^{ex} - G_g C_g (T_g^k - T_g^{ex}) - G_g L - G_n C_n (T_n - T_g^k) - (G_g + G_n) i_n; \tag{2}$$

$$i_n^{ex} = f_1(P_n^{ex}, T_n^{ex}); \tag{3}$$

$$T_g^k = f_2(P_n); \tag{4}$$

$$i_n = f_1(P_n, T_n); \tag{5}$$

$$G_n^{ex} = \alpha_1 \sqrt{P_n^{ex} - P_n}; \tag{6}$$

$$G_n = \alpha_2 \sqrt{P_n - P_{maz}}; \tag{7}$$

$$G_g = \alpha_3 \sqrt{P_g - P_n}; \tag{8}$$

$$P_n V_n = \frac{M_n}{M_{mol}} RT_n; \tag{9}$$

где  $i_n^{ex}$  – энтальпия входного пара;  $i_n$  – энтальпия выходного пара;  $M_n$  – масса пара;  $M_{mol}$  – молярная масса пара;  $C_n$  – удельная теплоемкость пара;  $C_g$  – удельная теплоемкость воды;  $T_n$  – температура пара на выходе из установки;  $T_g^{кип}$  – температура кипения воды;  $T_g^{ex}$  – температура водопроводной воды;  $T_n^{ex}$  – температура входного пара;  $G_n^{ex}$  – расход входного пара;  $G_n$  – расход охлажденного пара;  $G_g$  – расход водопроводной воды;  $L$  – удельная теплота парообразования воды.

Предложенная математическая модель может быть использована для поиска оптимальных параметров в технических и технологических разработках.

### Литература

1. Иванец К.Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация / К.Я. Иванец, А.Н. Лейбо. – СПб. : Химия, 1966. – 343 с.
2. Дворецкий С.И. Проектирование автоматизированных систем управления химико-технологическими процессами : Учебное пособие / С.И. Дворецкий, Т.Я. Лазарева. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 1993. – 206 с.
3. Грачев Ю.П. Моделирование и оптимизация тепло – и массообменных процессов / Ю.П. Грачев, А.К. Тубольцев, В.К. Тубольцев. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 216 с.

### References

1. Ivanets K.Ya. Equipment of oil-refineries and its operation / K.Ya. Ivanets, A.N. Leibo. – St. Petersburg : Chemistry, 1966. – 343 p.
2. Dvoretzky S.I. Design of Automated Control Systems for Chemical and Technological Processes : Textbook / S.I. Dvoretzky, T.Ya. Lazareva. – Tambov : TSTU Publishing House, 1993. – 206 p.
3. Grachev Yu.P. Modeling and Optimization of Heat – and Mass Exchange Processes / Yu.P. Grachev, A.K. Tuboltsev, V.K. Tuboltsev. – M. : Light and Food Industry, 1984. – 216 p.