

УДК 620.1-1/-9

**ПАРОГЕНЕРАТОРЫ. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ
STEAM GENERATORS. DEVICE AND PRINCIPLE OF OPERATION**

Е.М. Стельмак

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Stelmak

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk

Аннотация: нормальное функционирование тепловой станции обеспечивает налаженность технологических процессов, таких как обеспечение оборудования водой или паром. Основными средствами генерации рабочего пара служат котлы и парогенераторы. В данной статье будет детально рассмотрено устройство, принцип работы парогенератора, его основные характеристики, преимущества и недостатки и критерии выбора оборудования.

Abstract: the normal functioning of a thermal station ensures the smooth functioning of technological processes, such as the provision of equipment with water or steam. The main means of generating steam are boilers and steam generators. This article will examine in detail the device, the principle of operation of the steam generator, its main characteristics, advantages and disadvantages, and criteria for choosing equipment.

Ключевые слова: парогенератор, теплоноситель, теплопередача, котел-утилизатор.

Keywords: steam generator, coolant, heat transfer, waste heat boiler.

Введение

Самые распространенные на тепловых станциях, на сегодняшний день, парогенерирующие установки – это котел и парогенератор. Без работы парогенерирующих установок полноценная работа любой электростанции была бы невозможной.

Основная часть

Парогенератор – это теплообменный аппарат, имеющий своей задачей за счет теплоносителя преобразовывать приходящую на него воду в уходящий из него пар. Рассмотрим некоторые типы парогенераторов.

Вертикальным называется парогенератор, имеющий вертикальное расположение (рисунок 1). Вход теплоносителя осуществляется в нижней части парогенератора. Теплоноситель проходит теплообменные трубки, пробитая большую температуру. Питательная вода, под действием естественной циркуляции поступает вниз и, взаимодействуя с перегретым теплоносителем, выходит через верхнее отверстие в виде пара. Пустота между каналами теплообменных трубок называется коллектором. Парогенераторы разделяют на одноколлекторные, двухколлекторные, виточные – трубки в виде витков, и ширмовые. Преимущество – меньшая площадь.

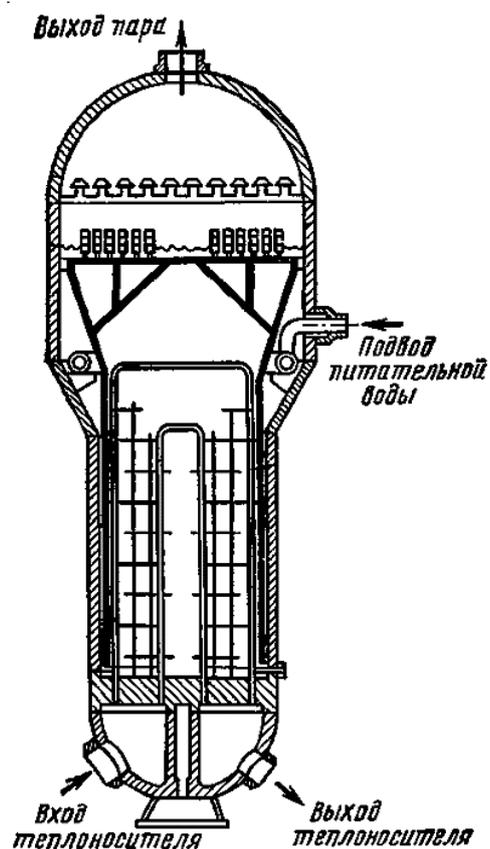


Рисунок 1 – Вертикальный парогенератор [1]

Горизонтальным называется парогенератор, имеющий горизонтальную компоновку (рисунок 2). Вход теплоносителя осуществляется в нижней части парогенератора. Теплоноситель проходит теплообменные трубки, пробитая большую температуру. Преимущество – это больший объем испарения.

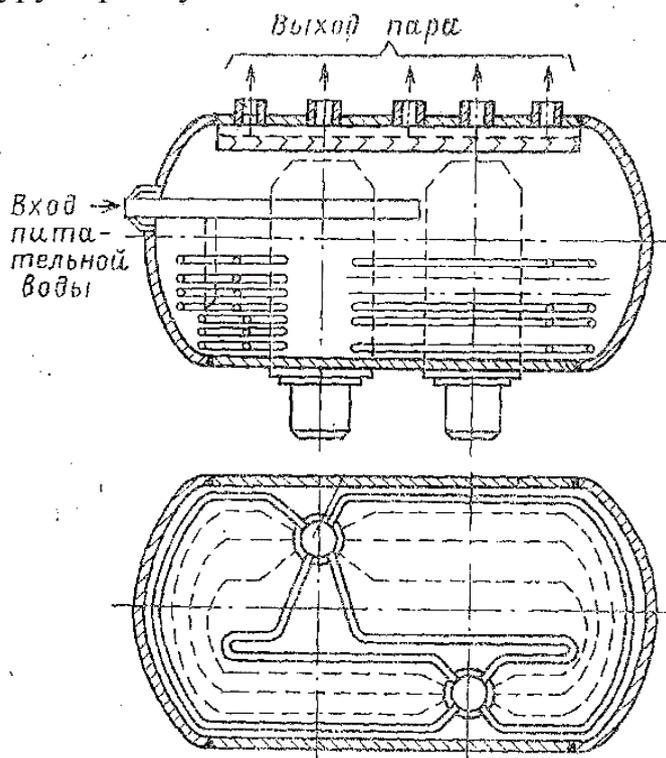


Рисунок 2 – Горизонтальный парогенератор [2]

Прямоточный парогенератор имеет горизонтальное расположение. Парогенератор этого типа имеет большую площадь теплообмена и предварительный подогрев воздуха. Внутри его заполняет специальный змеевик, навитый противоположно направлению потока воды. В этом теплообменнике вода проходит змеевик, по специальным путям, которые обеспечивают лучшую теплопередачу. Условно, этот путь можно разделить на три зоны: зона насыщения, зона парообразования и зона пароперегрева (рисунок 3).

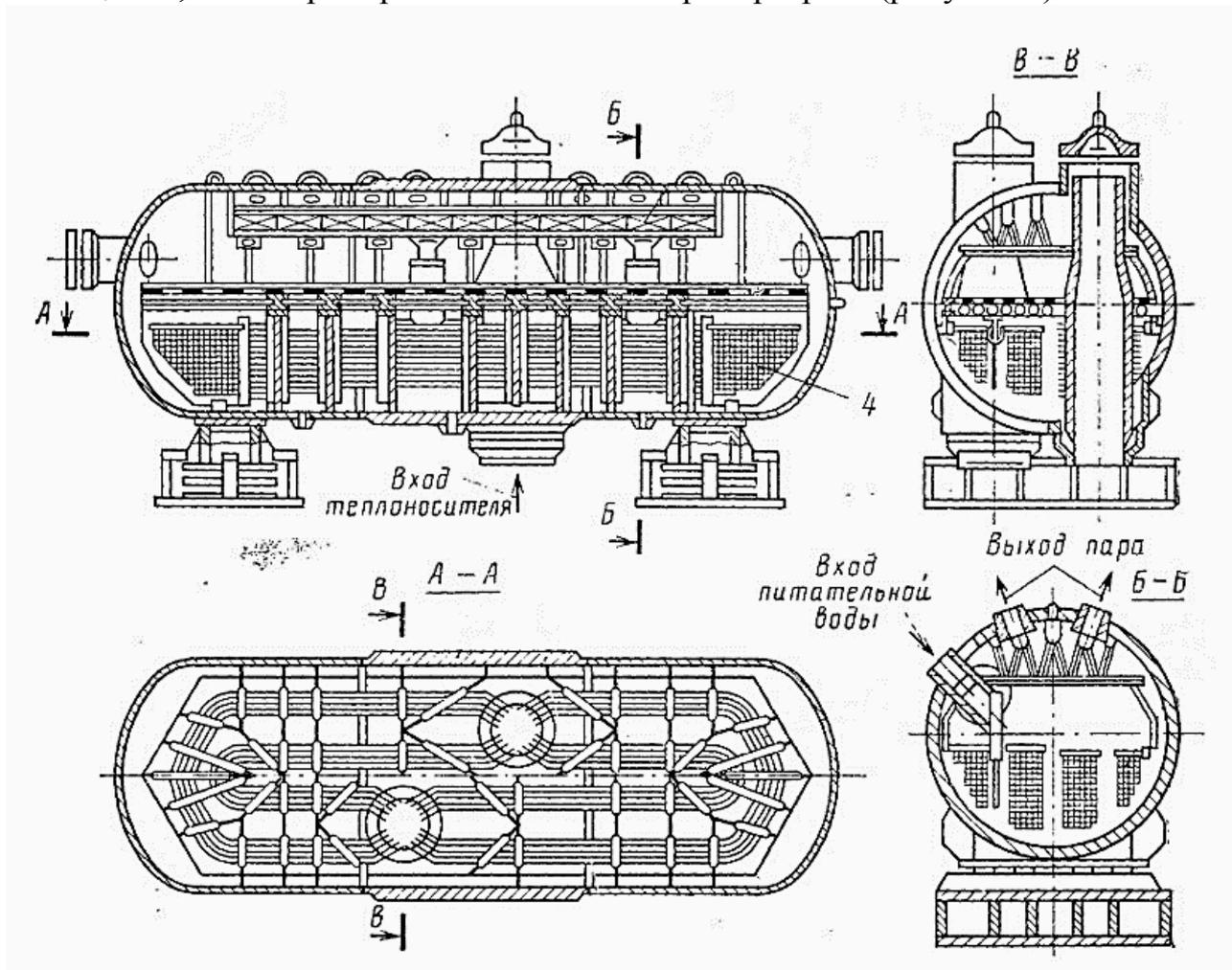


Рисунок 3 – Прямоточный парогенератор [3]

Прямоточный парогенератор имеет горизонтальное расположение. Парогенератор этого типа имеет большую площадь теплообмена и предварительный подогрев воздуха. Внутри его заполняет специальный змеевик, навитый противоположно направлению потока воды. В этом теплообменнике вода проходит змеевик, по специальным путям, которые обеспечивают лучшую теплопередачу. Условно, этот путь можно разделить на три зоны: зона насыщения, зона парообразования и зона пароперегрева. Преимущество – эффективность.

Из недостатков парогенераторов – обязательная водоподготовка. Вода, поступающая на парогенератор должна быть очищена от солей, так как оседающая на теплообменных трубках соль может вызвать появление накипи, и в дальнейшем негодность оборудования.

В таблице 1 представлены основные параметры парогенератора ПВГ-1000, широко применяемого на атомных электрических станциях.

Таблица 1 – Параметры парогенератора [5]

Характеристика	Значение
Тепловая мощность, МВт	750
Паропроизводительность, т/ч	408
Давление пара, МПа	6,27
Температура питательной воды, °С	220
Температура пара на выходе, °С	278,5
Температура теплоносителя на входе, °С	320
Температура теплоносителя на выходе, °С	289,7

Широкое распространение парогенератор нашел в парогазовой установке утилизационного типа. На рисунке 4 представлена принципиальная схема ПГУ утилизационного типа.

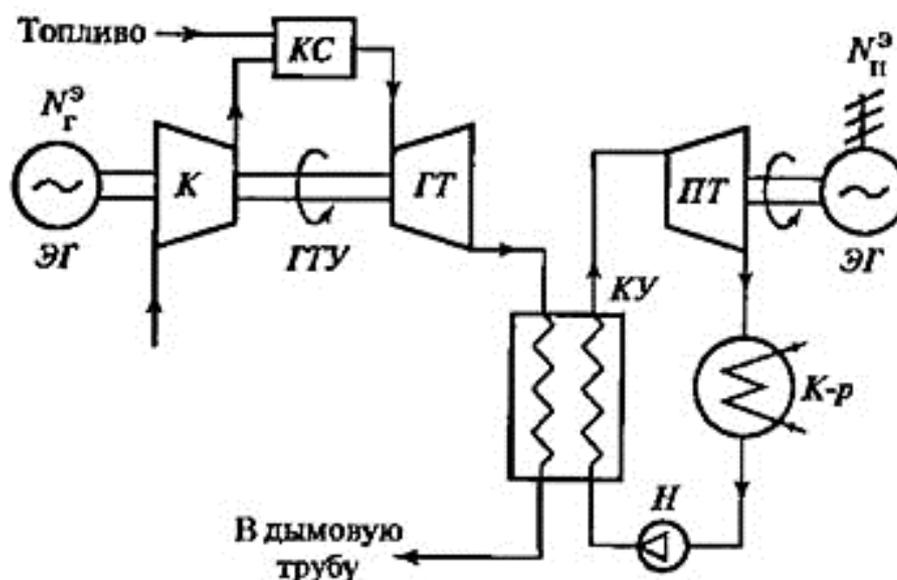


Рисунок 4 – Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [4]

На рисунке 4 представлены следующие элементы: К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; К-р – конденсатор; Н – насос (конденсатный), ЭГ – электрогенератор.

Схема ПГУ состоит из ГТУ, расположенной слева от котла-утилизатора и ПТУ, расположенной справа от котла-утилизатора. Котел-утилизатор, как раз, представляет собой парогенератор простейшего типа.

Принцип работы парогенератора КУ в составе ПГУ: Воздух подается на компрессор, где происходит его сжатие. В камере сгорания топливо сжигается и дымовые газы нагревают воздух. Отработавшие в газовой турбине дымовые газы поступают в котел-утилизатор. Циркуляционным насосом вода доставляется в конденсатор, затем оттуда конденсатным насосом идет на котел-утилизатор. Через стенки трубок котла-утилизатора происходит теплопередача. Тепло газов передается конденсату, который затем испаряется и идет на турбину, вращая ее.

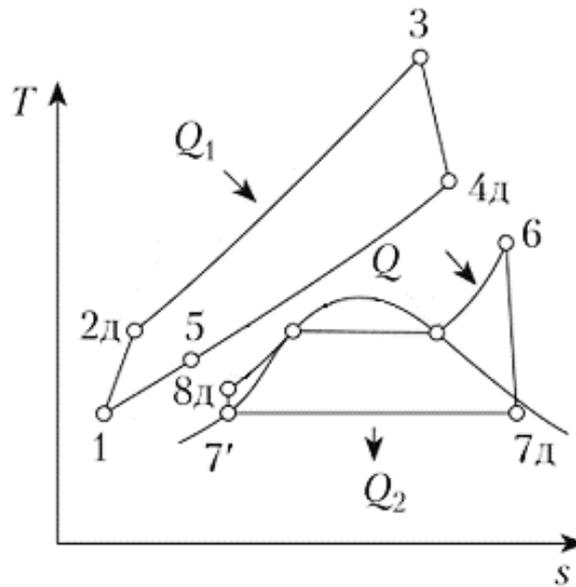


Рисунок 5 – Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [4]

Рассмотрим графическую интерпретацию термодинамических процессов для ПГУ утилизационного типа в TS – диаграмме, приведенной выше на рисунке 5. Обозначим Q_1 за q_1 ГТУ, а Q_2 – q_2 ПТУ, а Q за q_1 ПТУ. Тогда, исходя из принципа работы ПГУ, имеем:

$$Q_{КУ} = Q_{ПТУ}, \tag{1}$$

$$q_{ПТУ} = q_{КУ}^{ПАРА}, \tag{2}$$

$$Q_{КУ} = G_{ГАЗА} \cdot q_{КУ}^{ГАЗА}. \tag{3}$$

где $Q_{КУ}$ – теплота, передаваемая от уходящего газа питательной воде, равна произведению расхода газа на удельную теплоту пара котла-утилизатора.

КПД ПГУ утилизационного типа рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{ЭНЕРГ.} = \eta_{ИСП.ТОПЛ.} = \frac{W_{ГТУ} + W_{ПТУ}}{Q_{ТОПЛ}} \approx 85 \%. \tag{4}$$

Важным критерием выбора парогенератора является подбор и усмотрение оптимальных термодинамических и рабочих параметров тепловой станции.

Заключение

Парогенератор всегда был и остается устройством, обеспечивающим наивысшую эффективность парогенерации, нагрева и сопутствующих им процессов.

Литература

1. Вертикальный парогенератор [Электронный ресурс] / Вертикальный парогенератор. – Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/news/air8869.htm> /. – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Горизонтальный парогенератор [Электронный ресурс] / Горизонтальный парогенератор. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/atomnye-elektricheskie-stancii-i-ih-oborudovanie-22.html> /. – Дата доступа: 03.10.2023.

3. Прямоточный парогенератор [Электронный ресурс] / прямоточный парогенератор. – Режим доступа: https://sinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/100_konstruirovaniye_osnovnogooborudovaniye_aes_burdov_1985/084.htm /. – Дата доступа: 03.10.2023.

4. Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [Электронный ресурс] / Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа. – Режим доступа: https://sinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/100_konstruirovaniye_osnovnogooborudovaniye_aes_burdov_1985/084.htm /. – Дата доступа: 03.10.2023.

5. Параметры парогенератора [Электронный ресурс]/параметры парогенератора. – Режим доступа: https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOROTKIKH/educational_work/Tab/m2.pdf /. – Дата доступа: 03.10.2023.