



Липецкий государственный технический университет

Кафедра химической технологии, экологии и литья

Лекция 5

по дисциплине

Техническая термодинамика

(для студентов специальности ХТ)

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Составитель: к.т.н., доц. Андриянцева С.А.

Липецк 2014

Содержание:

- 1. Обобщенная схема теплоэнергетической установки**
- 2. ЦИКЛЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**
- 3. ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**
- 4. ЦИКЛЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**
- 5. ЦИКЛЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**
- 6. И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**
- 7. ЦИКЛЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**
- 8. ЦИКЛЫ ВОЗДУШНЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Обобщенная схема теплоэнергетической установки (ТЭУ)

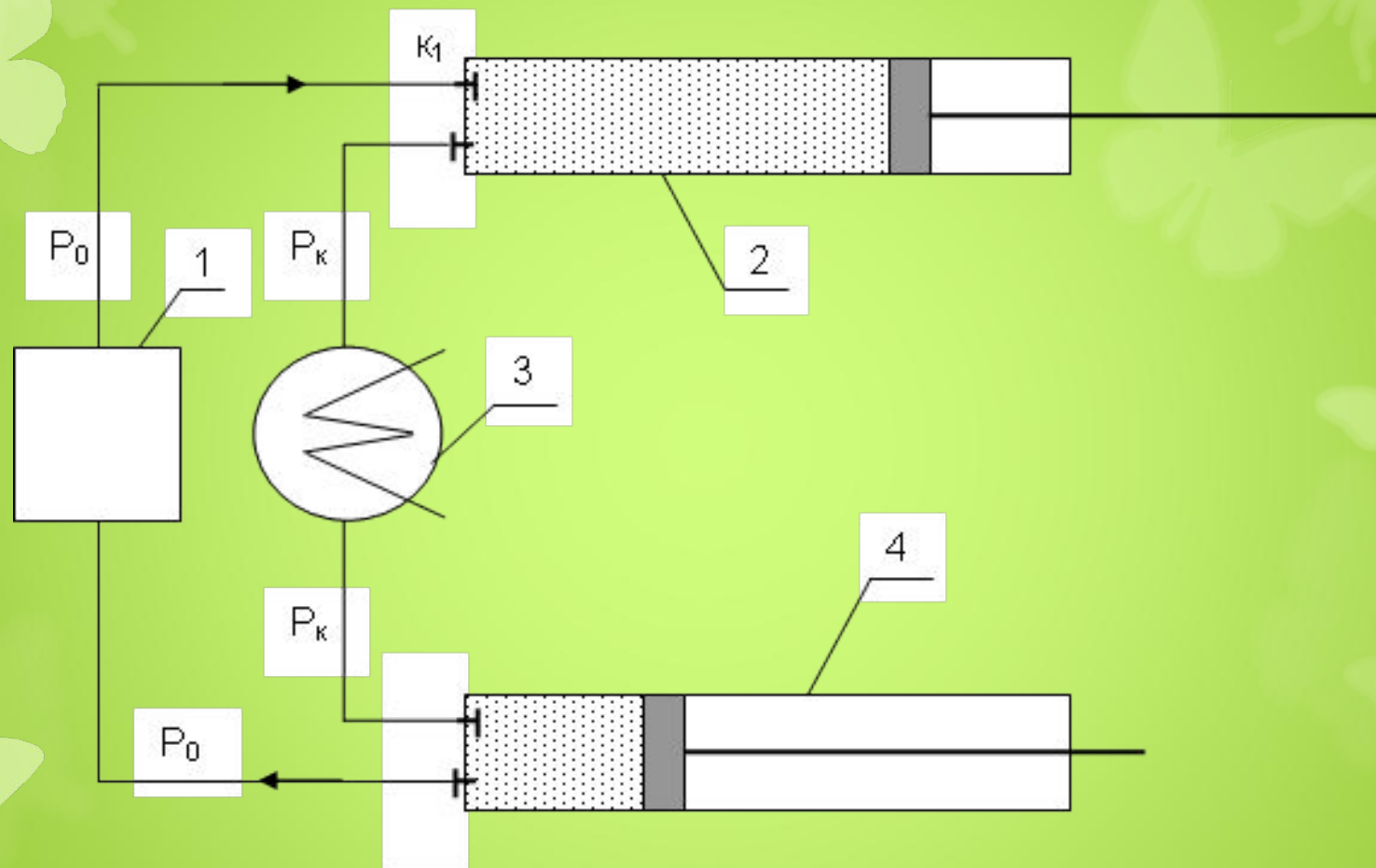


Рис. 1.1. Обобщенная схема теплоэнергетической установки

Работа изменения давления в потоке для адиабатных процессов сжатия

На практике применяют многоступенчатое адиабатное сжатие с промежуточным изобарным охлаждением рабочего тела до начальной температуры (рис.1.19), т.е. добиваются приближения процесса сжатия $1abc$ к изотермическому $1-2$

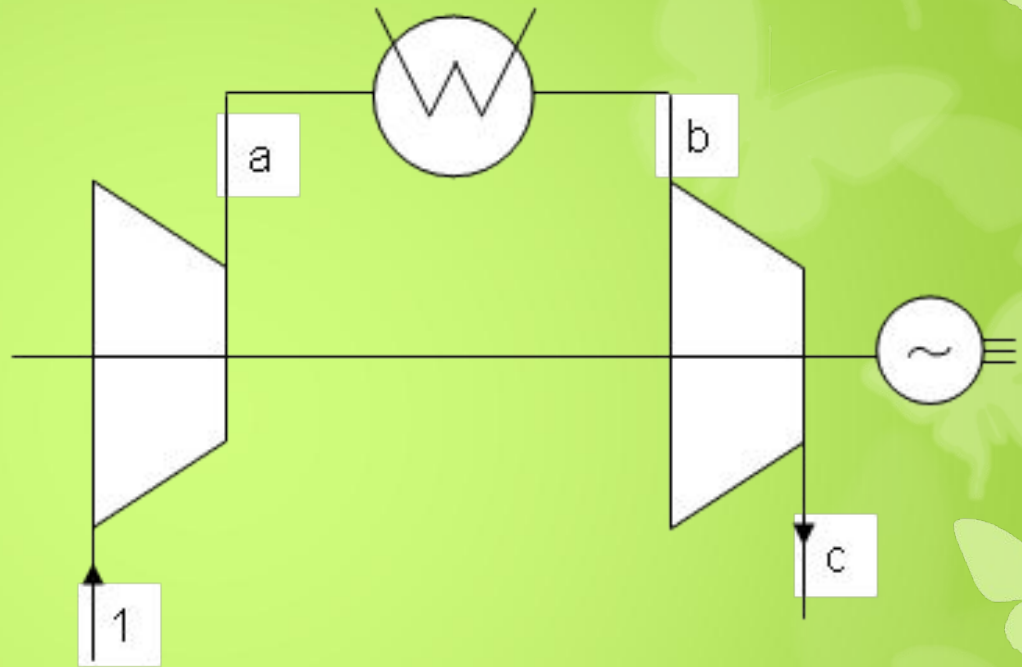


Рис. 1.19. Схема двухступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением воздуха водой

Цикл ПТУ на перегретом паре и сжатии рабочего тела в области жидкости

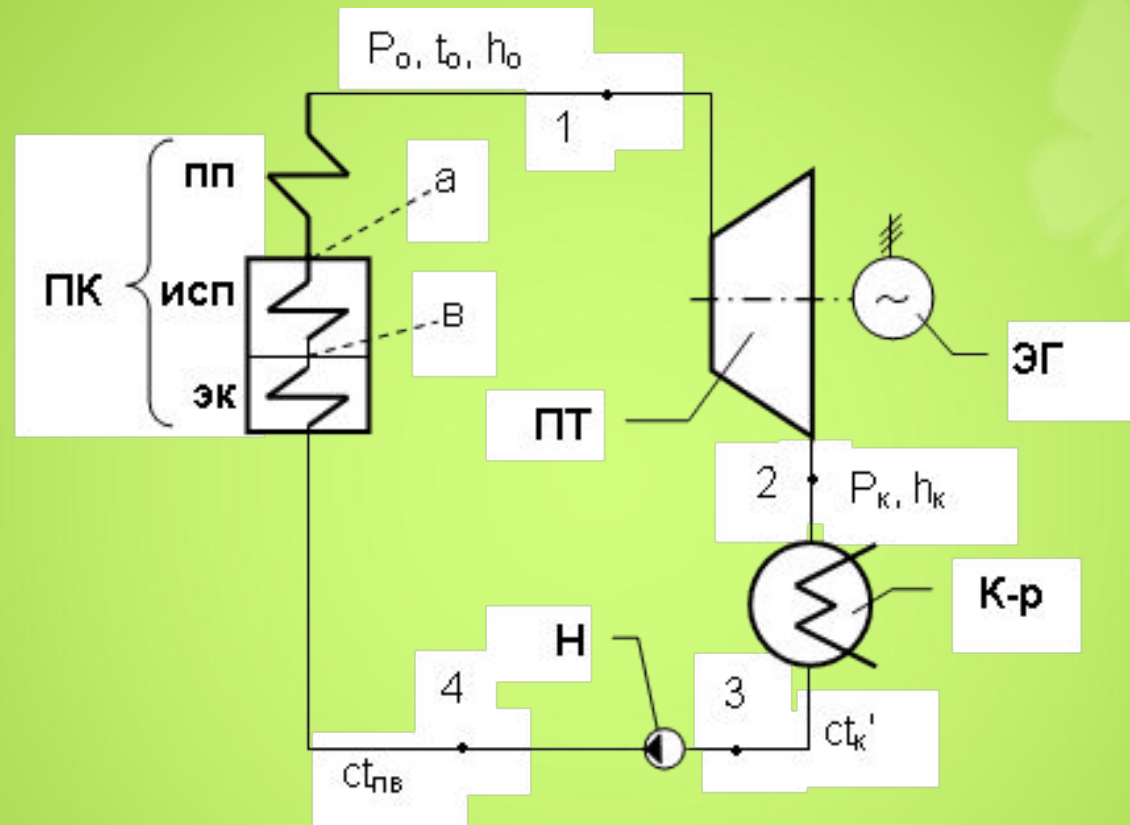


Рис.7.3. Схема ПТУ на перегретом паре и сжатии рабочего тела в жидкой фазе: ПК – паровой котел, ПП – пароперегреватель, ИСП – испарительная поверхность, ЭК – экономайзер; ПТ – паровая турбина; К-р – конденсатор паровой турбины; Н – насос; ЭГ – электрический генератор

Методика расчета цикла простой ПТУ

Расчет обратимого цикла ПТУ

▶ Определение теплоты, подведенной в цикле ПТУ q_1 ($P_o = const$)

$$q_1 = q_{эк} + q_{исп} + q_{пп} = h_o - ct_{пв}, \quad (7.2)$$

где $q_{эк} = ct_o' - ct_{пв}$, $q_{исп} = h_o' - ct_o' = r_o$, $q_{пп} = h_o - h_o'$; r_o – уд. теплота парообразования при P_o .

▶ Определение теплоты, отведенной из цикла ПТУ q_2 ($P_k = const$)

$$q_2 = h_k - ct_k'. \quad (7.3)$$

▶ Определение технической работы расширения пара в турбине

$$l_T = h_o - h_k. \quad (7.4)$$

▶ Техническая работа, затраченная на сжатие воды в насосе (7.1).

▶ Определение работы идеального цикла ПТУ

$$\square l_t = l_T - l_H = q_1 - q_2. \quad (7.5)$$

▶ Определение термического КПД цикла ПТУ

$$\eta_t = \frac{l_t}{q_1} \quad (7.6)$$

▶ Удельный расход пара и теплоты

$$d_t = \frac{D}{W_T} = \frac{D}{Dl_T} = \frac{1}{l_T} \quad \cdot \quad q_t = \frac{3600q_1}{l_T} = \frac{3600}{\eta_t^H}$$

Расчет необратимого цикла ПТУ

Необратимость пр-са расширения пара в турбине хар-ся внутрен. относитКПД турбины η_{oi} . - действительной работы турбины к теор.: $\eta_{oi} = \frac{l_{Ti}}{l_T} = \frac{h_o - h_{ki}}{h_o - h_k}$ (7.12)

Необратимость пр-са сжатия воды в насосе характеризуется адиабатным коэффициентом насоса η_H . -отношение теор. работы сжатия насоса к действит.:

$$\eta_H = \frac{l_H}{l_{Hi}} = \frac{ct_{пв} - ct'_k}{ct_{пви} - ct'_k} . \quad (7.13)$$

Параметры в конце необратимых адиабатных процессов 1-2' и 3-4':

$$h_{ki} = h_o - \eta_{oi}(h_o - h_k) ; \quad ct_{пви} = ct'_k + \frac{l_H}{\eta_H} .$$

Уд. теплота, подведенная в ПТУ-разность энтальпий изобарного процесса 4'1:

$$q_{1i} = h_o - ct_{пви} . \quad (7.14)$$

Уд. теплота, отведенная из ПТУ -разность энтальпий изобарного процесса 2'-3:

$$q_{2i} = h_{ki} - ct'_k . \quad (7.15)$$

Удельная техническая работа турбины : $l_{Ti} = h_o - h_{ki} = \eta_{oi}(h_o - h_k) .$ (7.16)

Удельная техническая работа насоса : $l_{Hi} = ct_{пви} - ct'_k = l_H / \eta_H$ (7.17)

Удельная работа цикла ПТУ : $l_i = l_{Ti} - l_{Hi} = q_{1i} - q_{2i} .$ (7.18)

Тепловая эконом-ть необратимого цикла ПТУ (внутр. абс. КПД): $\eta_i = \frac{l_i}{q_{1i}}$ (7.19)

Внутр. абсолютный КПД ПТУ без учета работы насоса: $\eta_i^H = \frac{l_{Ti}}{h_o - ct'_k} = \eta_t^H \eta_{oi}$ (7.20)

Уд. расход пара на выработанный кВт·ч реального цикла ПТУ $d_i = \frac{3600}{l_{Ti}}$ (7.21)

Уд. расход теплоты на выработанный кВт·ч реальн. цикла ПТУ $q_i = \frac{3600}{\eta_i^H}$ (7.22)

Регенеративный цикл ПТУ

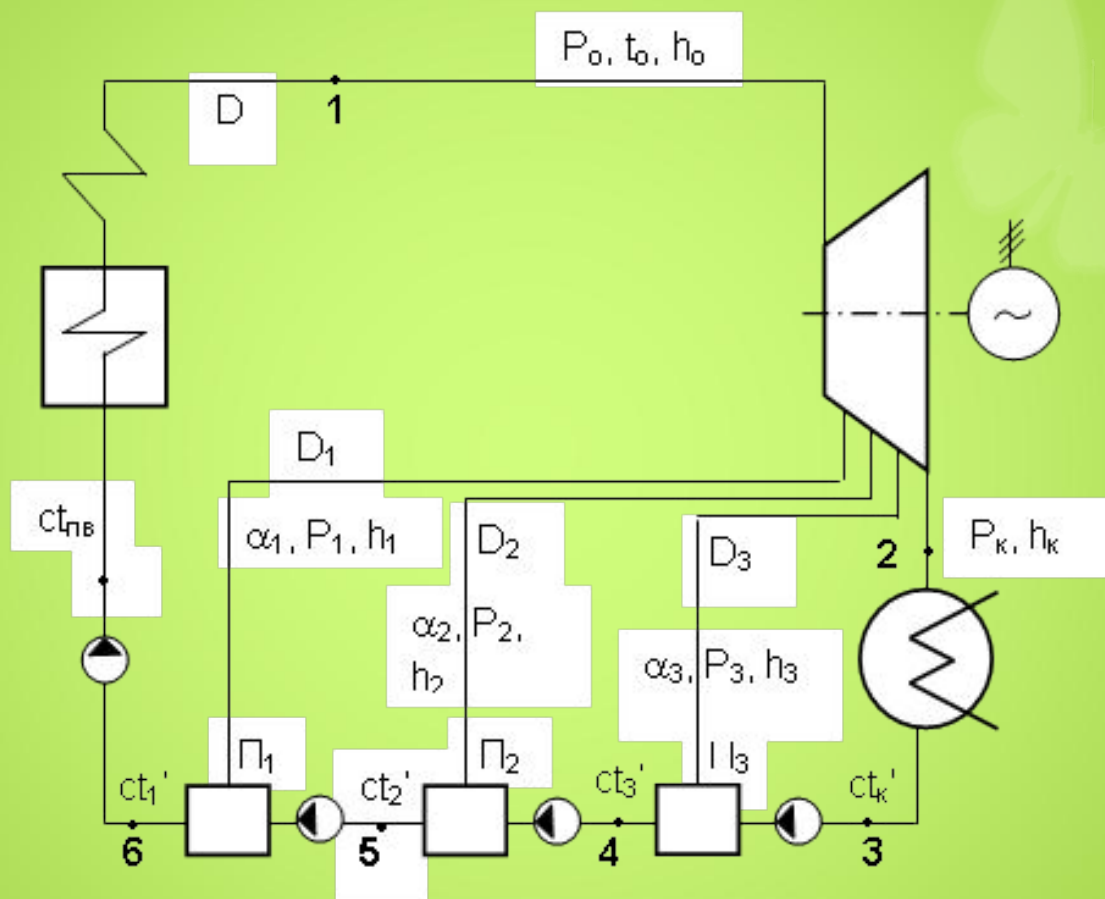


Рис. 7.26. Схема регенеративной ПТУ с тремя смешивающими регенеративными подогревателями: Π_1, Π_2 и Π_3

ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

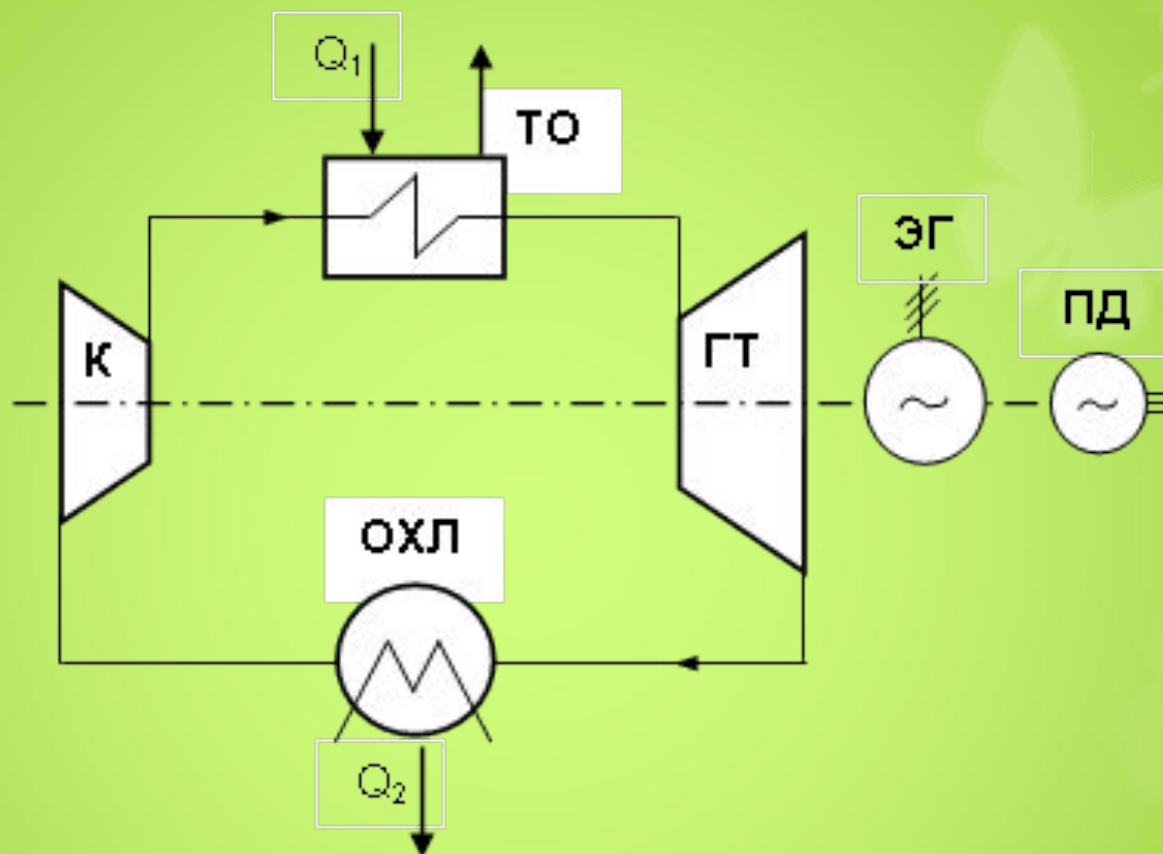


Рис. 8.1. Схема газотурбинной установки замкнутого цикла: К – компрессор; ТО – теплообменник; ГТ – газовая турбина; ЭГ – электрический генератор; ПД – пусковой двигатель; ОХЛ – охладитель

ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

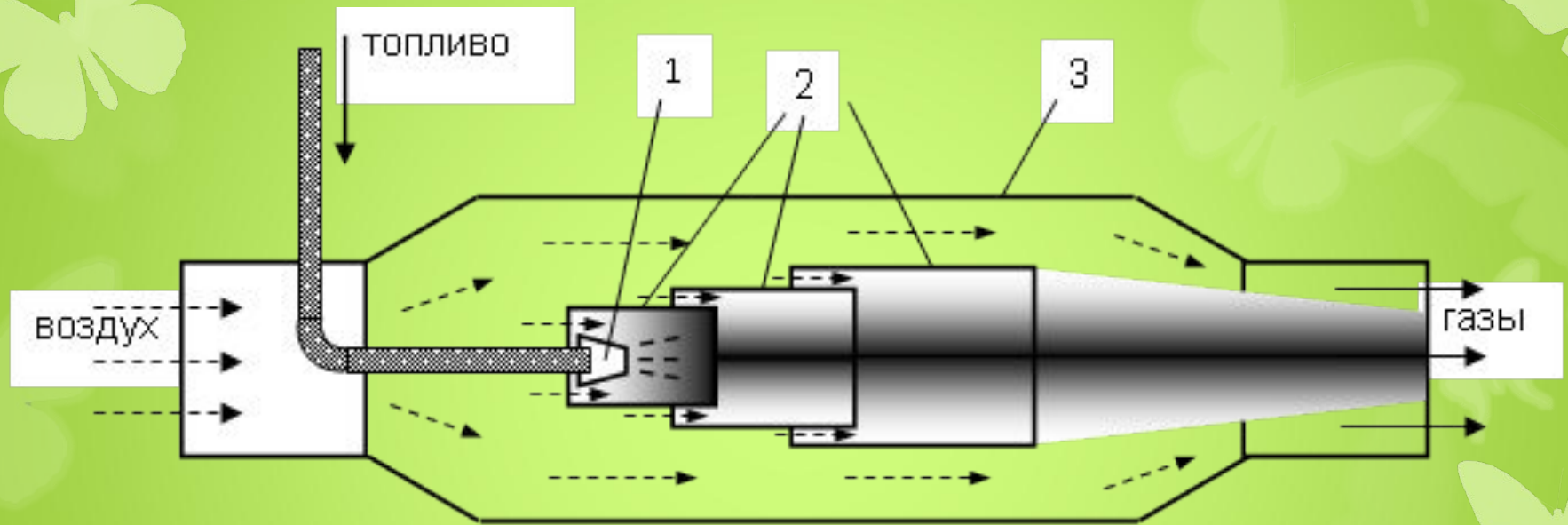


Рис. 8.3. Схема камеры сгорания ГТУ: 1 – форсунка (горелка); 2 – концентрические жаропрочные трубы; 3 – корпус

ЦИКЛЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

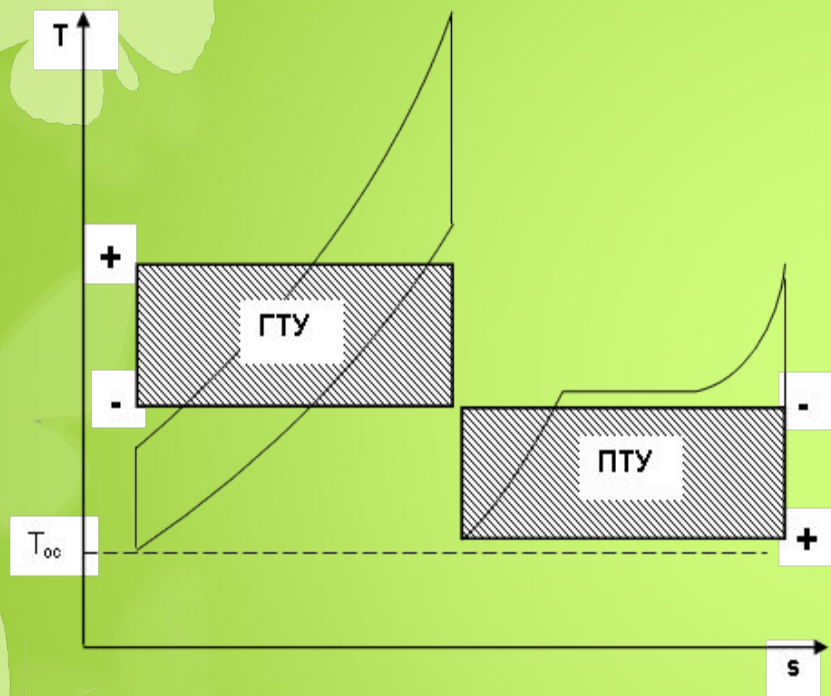


Рис. 9.1. К анализу плюсов и минусов циклов ГТУ и ПТУ в T,s - диаграмме

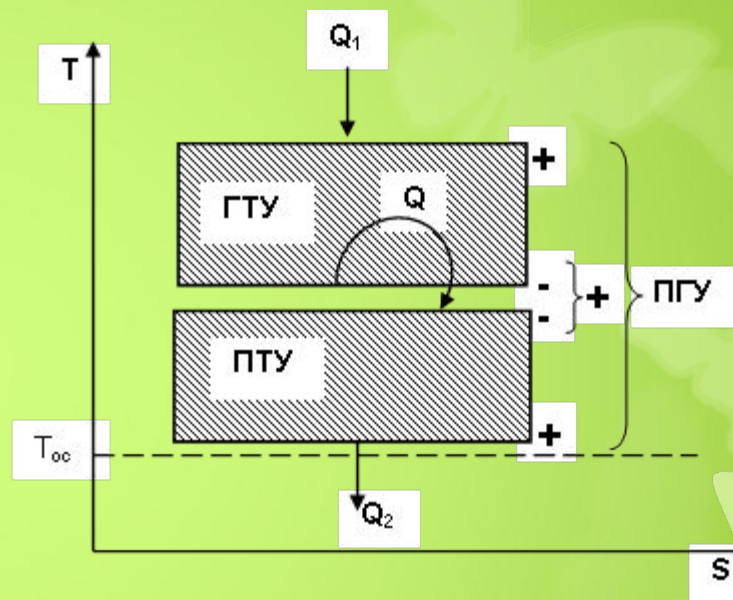


Рис. 9.2. Пояснение целесообразности объединения циклов ГТУ и ПТУ в единый цикл ПГУ в T,S - диаграмме

ЦИКЛЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

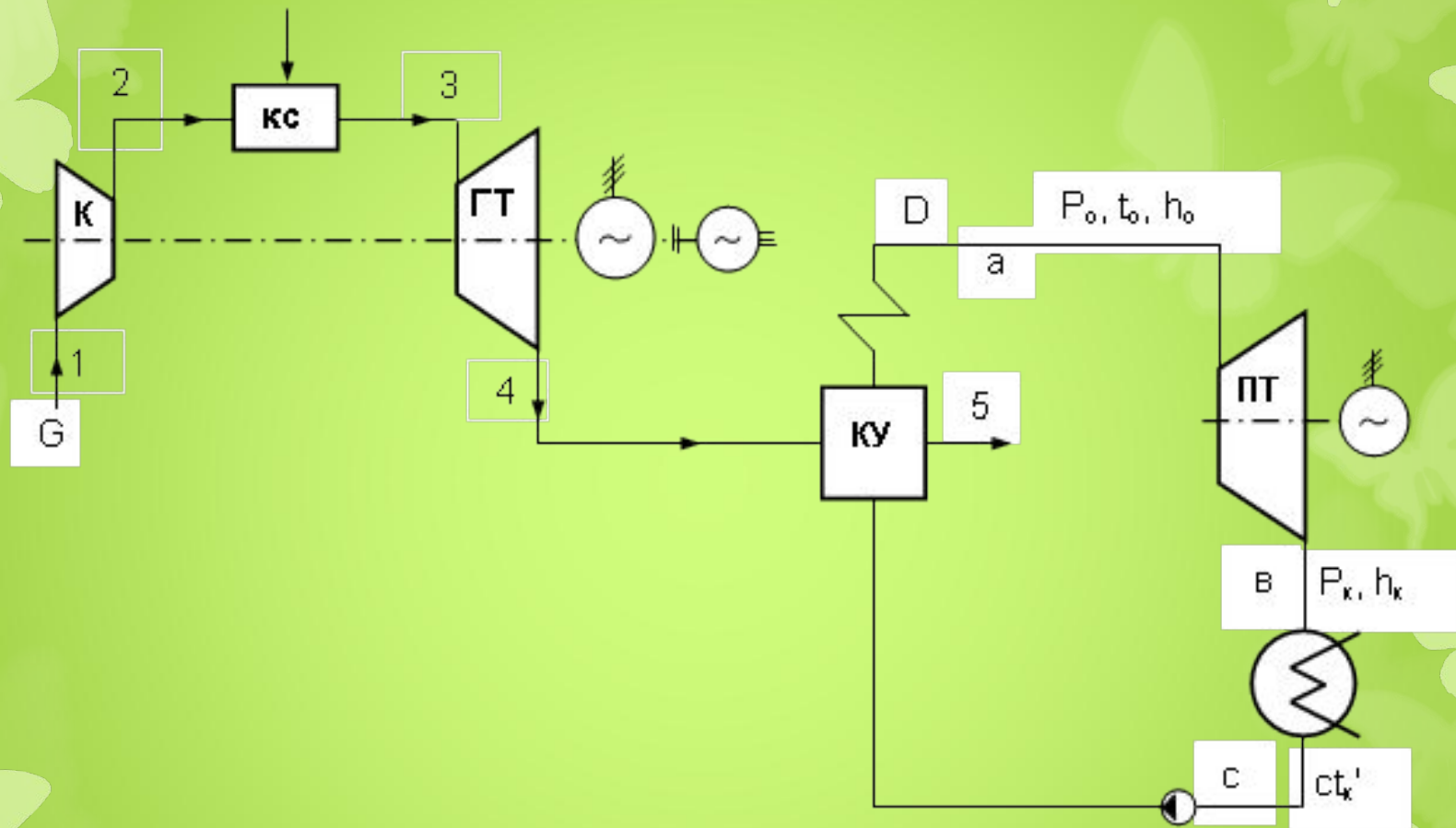


Рис. 9.3. Схема парогазовой установки с котлом-утилизатором:
К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; G – расход воздуха; D – расход пара

ЦИКЛЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Удельная теплота, подведенная к рабочему телу, в ПГУ с КУ соответствует процессу 2-3 $q_{1i} = d_r c_p (T_3 - T_2)$ (9.3)

Удельная теплота, отведенная от рабочих тел, в данном цикле соответствует процессам: 5-1 (для газа) и **вс** (для водяного пара).

$$q_{2i} = q_{2г} + q_{2п} = d_r c_p (T_5 - T_1) + (h_k - ct'_k), \quad (9.4)$$

где $q_{2г}$ и $q_{2п}$ – удельные потери теплоты в газовом и паровом контурах соответственно.

Удельная работа газового цикла определяется как

$$l_{г} = d_r (l_{ик} - l_{гт}) = d_r (c_p (T_3 - T_4) - c_p (T_2 - T_1)), \quad (9.5)$$

где $l_{ик}$ и $l_{гт}$ – удельные работы компрессора и газовой турбины.

Удельная работа парового цикла (без учета работы насоса)

$$l_{пту} = h_o - h_k. \quad (9.6)$$

Уд. работа цикла ПГУ определяется как сумма работ ГТУ и ПТУ

$$l_{пгу} = l_{г} + l_{пту} = d_r c_p ((T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)) + (h_o - h_k). \quad (9.7)$$

Внутренний абсолютный КПД ПГУ с КУ определяется:

$$\eta_{пгу} = \frac{l_{пгу}}{q_{1i}}. \quad (9.8)$$

Цикл ПГУ с низконапорным парогенератором

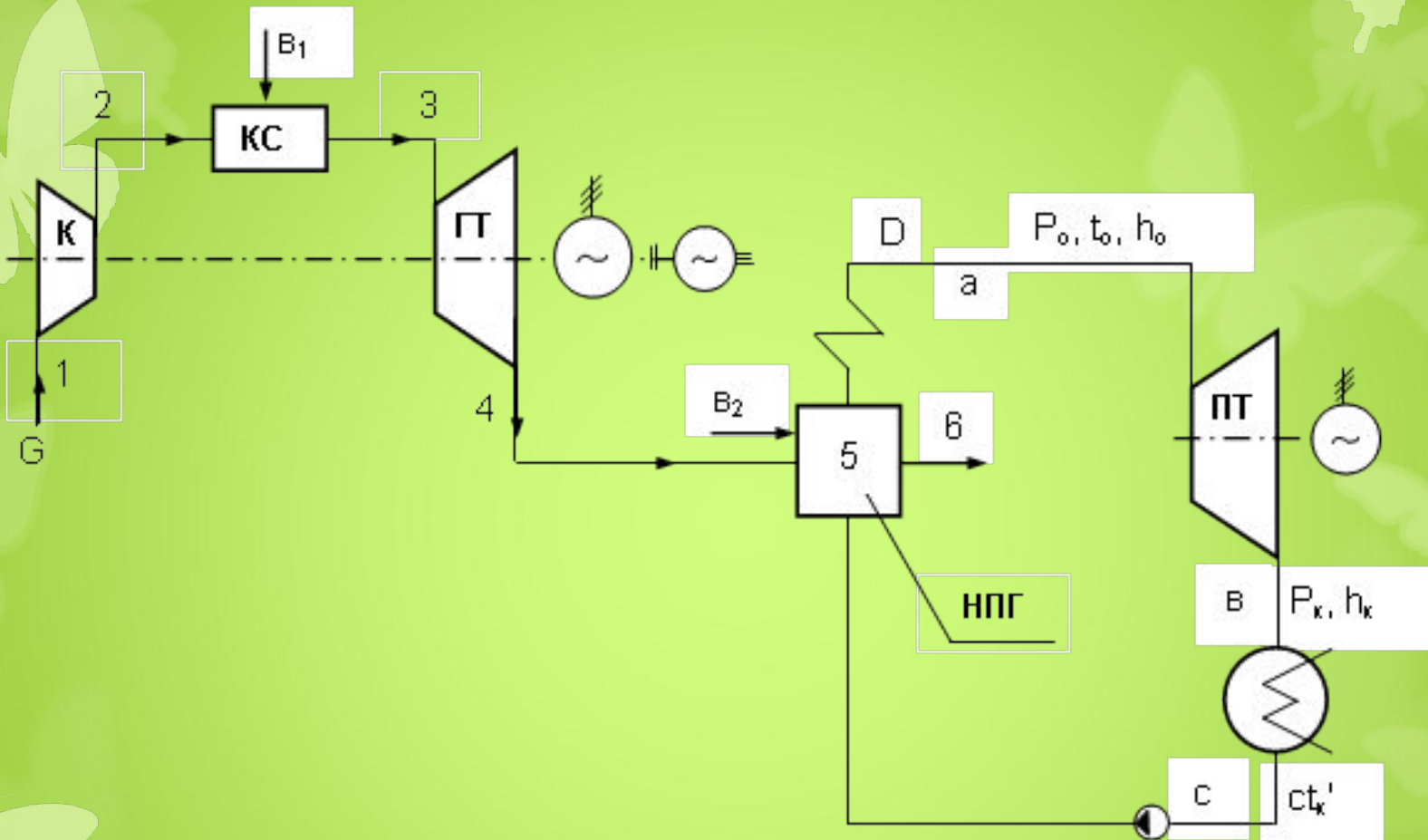


Рис. 9.5. Схема парогазовой установки с низконапорным парогенератором: К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; НПГ – низконапорный парогенератор; ПТ – паровая турбина; G – расход воздуха; D – расход пара; B₁ – расход топлива в КС; B₂ – расход топлива в НПГ

Цикл ПГУ с высоконапорным парогенератором

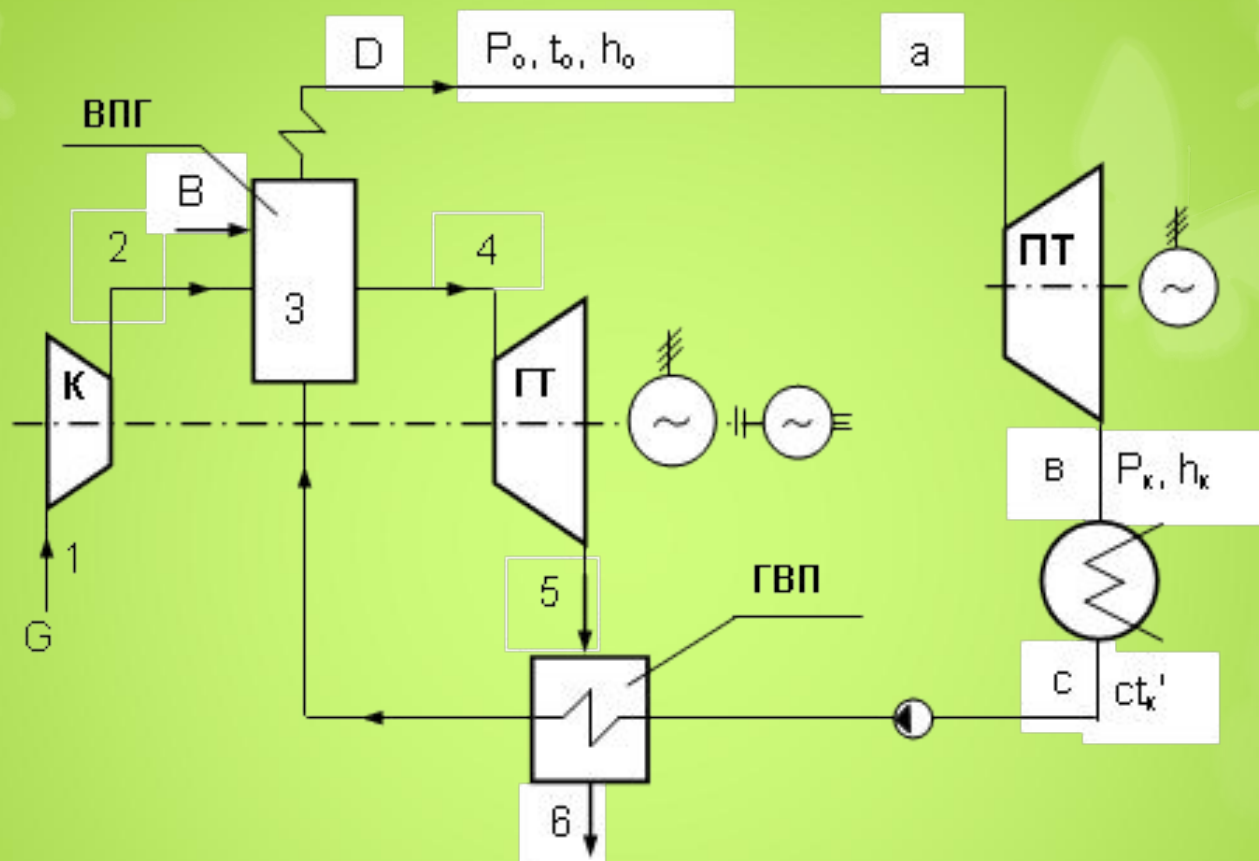


Рис. 9.7. Схема парогазовой установки с высоконапорным парогенератором: К – компрессор; ГТ – газовая турбина; ВПГ – высоконапорный парогенератор; ГВП – газовойодяной подогреватель; ПТ – паровая турбина; G – расход воздуха; D – расход пара; B – расход топлива в ВПГ

Полузависимая ПГУ

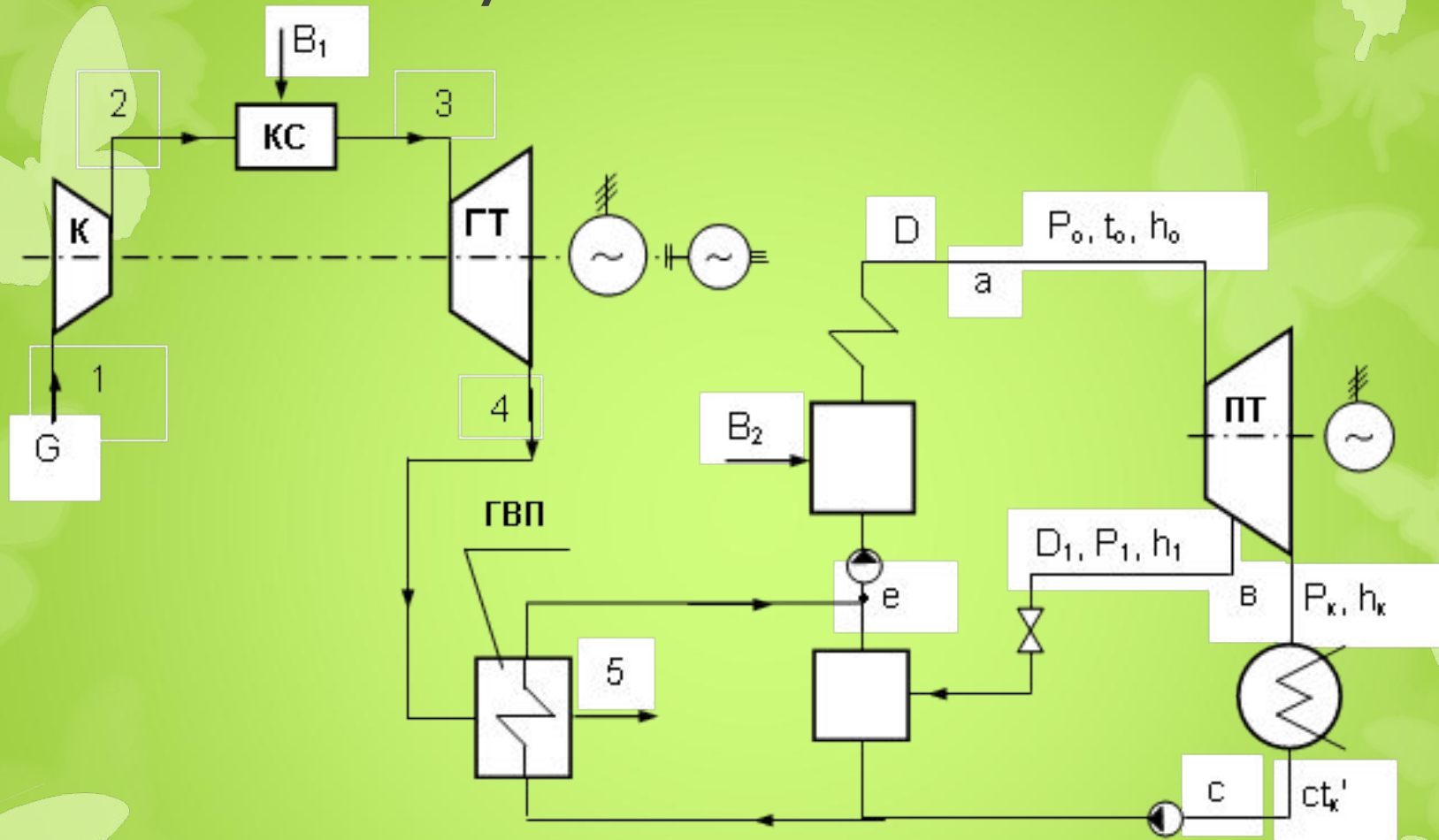
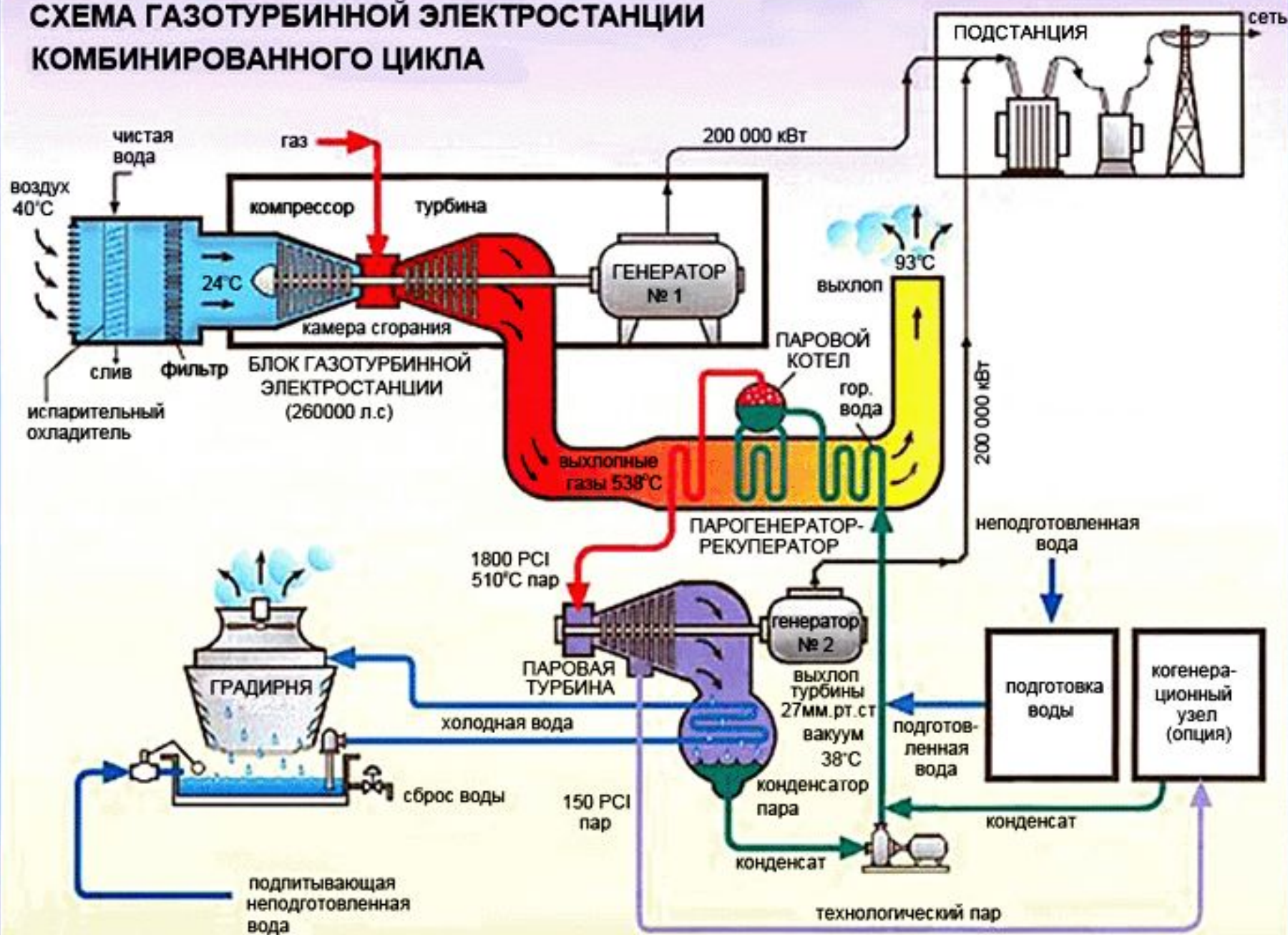


Рис. 9.9. Схема полузависимой ПГУ: К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; ГВП – газовойодяной подогреватель; ПТ – паровая турбина; G – расход воздуха; D – расход пара; B_1 – расход топлива в КС; B_2 – расход топлива в ПГ

СХЕМА ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛА



- <http://yandex.ru/video/search?filmId=6y2Kdc2VUXI&text=%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%20%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0>