

ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

В процессе потребления энергии на технологические процессы и на коммунально-бытовые нужды потенциал энергоносителей используется не полностью. Та часть энергии, которая прямо или косвенно не используется как полезная для выпуска готовой продукции или услуг, называется энергетическими отходами.

Вторичные энергоресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках (системах), который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок.

Технологический агрегат или установка, являющиеся источником отходов энергии, которую можно использовать как полезную, называется **агрегатом (установкой) – источником ВЭР**. ВЭР можно использовать непосредственно (без изменения вида энергоносителя) либо за счет выработки более высокопотенциального или другого типа теплоносителя в специальных энергопроизводящих (утилизационных) установках.

Утилизационная установка – устройство для выработки энергоносителей (водяного пара, горячей или охлажденной воды, электроэнергии, механической работы) за счет снижения энергетического потенциала носителя ВЭР.

ВЭР подразделяются на следующие группы.

1. **Горючие ВЭР** – ресурсы, обладающие химической энергией, которые могут быть использованы в качестве топлива.

2. **Тепловые ВЭР** – ресурсы, обладающие физической теплотой (отходящие газы технологических агрегатов; нагретая основная, побочная и промежуточная продукция; рабочие теплоносители систем охлаждения; обработанные в технологических и силовых установках горячие вода и пар).

3. **ВЭР избыточного давления** – ресурсы, обладающие потенциальной энергией (как правило, газы и жидкости, покидающие технологические агрегаты под избыточным давлением).

При составлении вариантов энергоснабжения предприятия за счет вторичных энергоресурсов сначала должны определяться начальные качественные и количественные параметры вторичных энергоресурсов.

К качественным параметрам, характеризующим потенциал вторичных энергоресурсов, относятся: для горючих ВЭР – низшая теплота сгорания Q_n^p , для тепловых – перепад энтальпий Δh , для избыточного давления – работа изоэнтропного расширения L . Во всех случаях единицей измерения энергетического потенциала является килоджоуль на килограмм (кДж/кг) или килоджоуль на метр кубический (кДж/м³).

Основными количественными параметрами вторичных энергоресурсов являются максимальное и среднее часовые количества этих теплоносителей

за характерные зимние и летние рабочие сутки, а также годовые количества.

При разработке предложений и проектов по утилизации энергетических отходов необходимо знать удельный и общий выход ВЭР. Удельный выход и использование вторичных энергоресурсов рассчитывают или в единицу времени работы агрегата-источника ВЭР, или в показателях на единицу продукции.

Удельный выход горючих ВЭР

$$q^r = G \cdot Q_n^p,$$

где G – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг(м³)/ед. продукции, или кг(м³)/с.

Удельный выход тепловых ВЭР

$$q^r = G \cdot \Delta h = G \cdot (c_1 t_1 - c_2 t_2),$$

где t_1 – температура энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР, °С; c_1 – теплоемкость энергоносителя при температуре t_1 , кДж/кг, или кДж/м³; t_2 – температура энергоносителя после утилизационной установки, или температура окружающей среды, °С; c_2 – теплоемкость энергоносителя при температуре t_2 , кДж/кг, или кДж/м³.

Удельный выход ВЭР избыточного давления

$$q^n = mL,$$

где $L = h_1 - h_2$ – работа изоэнтروпного расширения энергоносителя, кДж/кг; h_1 – энтальпия энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР, кДж/кг; h_2 – энтальпия энергоносителя после утилизационной установки, кДж/кг.

Для жидкостей работу изоэнтропного расширения можно определять по формуле

$$L = (p_1 - p_2) / \rho,$$

а для газов –

$$L = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2),$$

где p_1, p_2 – давление жидкости до и после утилизационной установки, кПа; R – газовая постоянная, Дж/(кг К); k – постоянная адиабаты; T_1, T_2 – температура газа до и после утилизационной установки, К.

Общий выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового выхода:

$$Q_{\text{ВЭР}} = q_{\text{уд}} \Pi,$$

или

$$Q_{\text{ВЭР}} = q_{\text{ч}} T,$$

где $q_{\text{уд}}$ – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции; Π – выпуск основной продукции или расход сырья, топлива, к которым отнесен $q_{\text{уд}}$ за

рассматриваемый период, ед. продукции; $q_{\text{ч}}$ – часовой выход ВЭР, кДж/с; T – время работы агрегата источника ВЭР за рассматриваемый период, с.

В частности, для наиболее значительного из вторичных энергоресурсов промышленности – отходящих горячих газов промышленных печей – количество тепла в отходящих газах $Q_{\text{о.г}}$, кДж/с, определяется следующим образом:

$$Q_{\text{о.г}} = V_{\text{о.г}} t_{\text{о.г}} c_{\text{г}} = B h_{\text{о.г}},$$

где $V_{\text{о.г}}$ – количество газов, $\text{нм}^3/\text{с}$; $t_{\text{о.г}}$ – температура отходящих газов, $^{\circ}\text{C}$; $c_{\text{г}}$ – средняя теплоемкость газов, $\text{кДж}/(\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; B – часовой расход топлива печью, $\text{кг}/\text{с}$ или $\text{нм}^3/\text{с}$; $h_{\text{о.г}} = v_{\text{о.г}} t_{\text{о.г}} c_{\text{г}}$ – удельная энтальпия отходящих печных газов, $\text{кДж}/\text{кг}$ топлива или $\text{кДж}/\text{нм}^3$ топлива; $v_{\text{о.г}}$ – количество отходящих газов на 1 кг или 1 нм^3 топлива.

Средняя теплоемкость при постоянном давлении для дымовых газов типового состава $c_{\text{г}}$, $\text{кДж}/(\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ и воздуха $c_{\text{в}}$, $\text{кДж}/(\text{нм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ может приближенно определяться по следующим формулам:

$$c_{\text{г}} = 0,32 + 0,000039 t_{\text{г}};$$

$$c_{\text{в}} = 0,31 + 0,000026 t_{\text{в}},$$

где $t_{\text{г}}$ и $t_{\text{в}}$ — температуры дымовых газов и воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Начальное количество тепла отработавшего производственного пара $Q_{\text{о.п}}$, кДж/с, на выходе из производственных агрегатов:

$$Q_{\text{о.п}} = G_{\text{о.п}} h_{\text{о.п}},$$

где $G_{\text{о.п}}$ – количество отработавшего производственного пара, $\text{кг}/\text{с}$; $h_{\text{о.п}}$ – удельная энтальпия отработавшего пара, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Начальное количество тепла нагретой охлаждающей воды $Q_{\text{о.в}}$, кДж/с, выходящей из производственного агрегата,

$$Q_{\text{о.в}} = G_{\text{о.в}} t_{\text{н}} c,$$

где $G_{\text{о.в}}$ – количество охлаждающей воды, $\text{кг}/\text{с}$; $t_{\text{н}}$ – температура нагретой охлаждающей воды, $^{\circ}\text{C}$; c — удельная теплоемкость воды, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Только часть энергии из общего выхода ВЭР может быть использована как полезная. Поэтому для оценки реального потенциала ВЭР, пригодного к использованию, рассчитывают возможную выработку энергии за счет ВЭР.

Возможная выработка теплоты на основе энергоносителей пара или горячей воды в утилизационной установке за счет ВЭР за рассматриваемый период времени

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{ВЭР}} \beta (1 - \xi),$$

где β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и источника ВЭР ($\beta = 0,7 \div 1,0$); ξ – коэффициент потерь энергии в окружающую среду утилизационной установкой и на тракте между источником ВЭР и утилизационной установкой ($\xi = 0,02 \div 0,05$).

Низкотемпературные тепловые ВЭР могут быть использованы для

выработки холода. Возможная выработка холода

$$Q_x = Q_T \varepsilon,$$

где ε – холодильный коэффициент, равный отношению количества выработанного холода к количеству затраченной теплоты.

Теплота, выработанная в утилизационной установке, может также использоваться не полностью. Полезная теплота утилизационной установки

$$Q_{\text{и}} = \sigma Q_T,$$

где σ – коэффициент использования выработанной теплоты ($\sigma = 0,5 \div 0,9$).

Возможная выработка электроэнергии:

– в утилизационной турбине за счет избыточного давления

$$W = Q_{\text{ВЭР}}^{\text{и}} \eta_{\text{от}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}};$$

– на конденсационной турбине за счет тепловых ВЭР

$$W = Q_T / q_{\text{к}},$$

где $\eta_{\text{от}}$ – относительный внутренний КПД турбины; $\eta_{\text{м}}$ – механический КПД турбины; $\eta_{\text{г}}$ – КПД электрогенератора; $q_{\text{к}}$ – удельный расход теплоты на производство электроэнергии в конденсационной турбине; $q_{\text{к}} = 9,5\text{--}10,5$ МДж/(кВт·ч).

При использовании горючих ВЭР экономия замещаемого топлива ΔB , т у.т определяется по формуле

$$\Delta B = Q_{\text{ВЭР}}^{\text{г}} \eta_{\text{у}} b_3,$$

где $b_3 = 0,0342 / \eta_3$ – удельный расход условного топлива, т/кДж, на выработку теплоты в замещаемой котельной установке; 0,0342 – коэффициент перевода 1 МДж теплоты в 1 кг условного топлива; $\eta_{\text{у}}$ и η_3 – КПД утилизационной установки, работающей на горючих ВЭР, и установки, работающей на замещаемом топливе ($\eta_3 = 0,80\text{--}0,92$).

При использовании тепловых ВЭР

$$\Delta B = b_3 Q_{\text{и}}.$$

При выработке на утилизационной установке электроэнергии или механической работы

$$\Delta B = b_3 W.$$

При выработке электроэнергии за счет тепловых ВЭР с учетом снижения при этом эффективности работы ТЭЦ

$$\Delta B = W \frac{0,0342 q_{\text{т}}^2}{q_{\text{к}}},$$

где $q_{\text{т}}$ – удельный расход теплоты на производство электроэнергии в теплофикационной турбине; $q_{\text{т}} = 7,8$ МДж/(кВт·ч).

Задачи для практических занятий

Задача 1.1

Определить выход используемых тепловых ВЭР и экономию условного топлива в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов промышленной печи, если энтальпия газов на выходе из печи $h_1 = 15000 + 400 \cdot N$ кДж/м³, на выходе из котла утилизатора $h_2 = 6130$ кДж/м³, расчетный расход уходящих газов промышленной печи $V_p = 0,036 + 0,006 \cdot N$ м³/с. Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы котла утилизатора и печи 0,9. Коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду 0,15, коэффициент использования теплоты ВЭР 0,75. КПД замещаемой котельной установки $\eta_3 = 0,88$.

Задача 1.2

Определить экономию условного топлива в течение года на мебельной фабрике при использовании горючих ВЭР в котле за счет теплоты горения древесных отходов с теплотой сгорания 18 МДж/кг, если годовое производство фабрикой изделий $3000 - 90 \cdot N$ штук, расчетный расход древесных отходов для котла $V_p = 560 + 10 \cdot N$ г/изделие. КПД котла на древесных отходах 0,72. КПД замещаемой котельной установки $\eta_3 = 0,88$.

Задача 1.3

Определить выработку электроэнергии и экономию условного топлива в течение года на Белорусском металлургическом заводе при использовании теплоты ВЭР в конденсационной турбине за счет пара испарительного охлаждения промышленных печей, если энтальпия пара на выходе из печи $h_1 = 2000 + 40 \cdot N$ кДж/кг, на выходе из конденсационной турбины $h_2 = 400$ кДж/кг, расчетный расход пара испарительного охлаждения $V_p = 3,6 + 0,6 \cdot N$ кг/с. Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы конденсационной турбины и печи 0,95. Удельный расход теплоты на производство электроэнергии в конденсационной турбине 9 500 кДж/(кВт·ч), удельный расход теплоты на производство электроэнергии в теплофикационной турбине ТЭЦ 7 800 кДж/(кВт·ч). Расчет произвести с учетом снижения эффективности работы ТЭЦ.

Задача 1.4

Определить выработку электроэнергии и экономию условного топлива в течение года на Минском тракторном заводе при использовании ВЭР избыточного давления в турбине за счет природного газа подаваемого на газораспределительный пункт, если средний расход газа $V_p = 36 + 0,5 \cdot N$ кг/с, температура газа на входе в турбину $T_1 = 220 + 5 \cdot N$ °С, на выходе из турбины $T_2 = 80$ °С. Относительный внутренний КПД турбины 0,87. Механический КПД турбины 0,99. КПД электрогенератора 0,98. Газовая постоянная $R = 520$ Дж/(кг·К). Удельный расход на выработку электроэнергии в

замещаемой турбине 310 г у. т/кВт ч. Коэффициент адиабаты природного газа $k = 1,315$.