

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности
1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2023

УДК 628.5:669(075.8)
ББК 38.91я73
О-75

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 07.12.2021 г.)*

Составитель *Л. Н. Русая*

Рецензент: декан машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*

Осно́вы экологии и энергосбережения : практикум для студентов специальности
О-75 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч.
форм обучения / сост. Л. Н. Русая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 40 с. –
Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место
на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа:
<https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлены практические работы, способствующие закреплению знаний в области эко-
логии и энергосбережения.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйст-
венной техники» дневной и заочной форм обучения.

УДК 628.5:669(075.8)
ББК 38.91я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2023

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПО СОСТАВУ СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА

Цель работы: ознакомление с типами топлив, составом их выбросов в атмосферу при сжигании, с методикой расчета количества дымовых газов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автомобили, промышленные предприятия и тепловые электростанции. Ежегодно в воздух предприятиями черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов выбрасывается более 250 млн т мелкодисперсной пыли. Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на человека, флору и фауну, различные сооружения и транспортные средства и др.

Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха поступает от установок, работающих на углеводородном топливе (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, уголь, природный газ и другие). Количество загрязнения определяется составом, объемом сжигаемого топлива и организацией процесса сгорания. Основные компоненты топлив: C (углерод), H_2 (водород), A (зола), W (влажность).

1. **Твердое топливо** (уголь, горючие сланцы, антрацитовый штыб, торф, бурый уголь, древесина). Характерные выбросы: CO , SO_2 , летучая зола (содержит: сажу C , оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO).
2. **Жидкое топливо** (нефть и продукты её переработки – бензин, масло, мазут, керосин и т.д.). Характерные выбросы: CO , SO_2 , углеводороды, аэрозоли, летучая зола.
3. **Газообразное топливо** (природный газ – метан CH_4 , ацетилен, сопутствующие газы: ваграночный газ, коксовый газ, доменный газ). Основные выбросы: CO , NO_x .

Состав дымовых газов рассчитывают исходя из реакций сгорания составных частей топлива.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет ведется по следующей методике:

1. Определяем количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива :

$$L_0 = \frac{(2,67 \cdot C + 8 \cdot H + S - O)}{0,23 \cdot 100}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (1)$$

2. Определяем объем воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива:

$$V_0 = \frac{L_0}{1,293}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}. \quad (2)$$

3. Определяем мольное содержание продуктов сгорания 1 кг топлива:

$$N_{\text{RO}_2} = \frac{C}{100 \cdot 12} + \frac{S}{100 \cdot 32}, \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{100 \cdot 2} + \frac{G_{\text{фп}}}{18}, \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}, \quad (4)$$

$G_{\text{фп}}$ – вес форсуночного пара.

4. Определяем коэффициент избытка воздуха:

$$L_{\text{п}} = \alpha \cdot L_0, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{N_2}{(N_2 - 3,762 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO))}. \quad (6)$$

5. Определяем мольное содержание двухатомных газов при найденном коэффициенте избытка воздуха:

$$N_{\text{N}_2+\text{O}_2} = \frac{V_0 \cdot (\alpha - 0,21)}{22,4}, \text{кг} \cdot \text{моль}. \quad (7)$$

6. Определяем сумму всех мольных содержаний:

$$\sum N = N_{\text{RO}_2} + N_{\text{H}_2\text{O}} + N_{\text{N}_2+\text{O}_2}. \quad (8)$$

7. Определяем количество продуктов сгорания:

$$G = (\alpha \cdot L_0 + 1) \cdot B, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}, \quad (9)$$

B – количество тепла (940 кг/ч).

8. Определяем объем дымовых газов:

$$N = \frac{G \cdot \sum N \cdot 22,4}{(2 \cdot L_0 + 1)}$$

Пример расчета

Определить количество, образующихся дымовых газов при сжигании 940 кг\ч мазута следующего состава (массовые): C - 85%; H_2 - 13%; S - 0,45%; O_2 - 1,55%. При сжигании добавляются 0,5 кг пара на 1 кг топлива, для подавления оксидов азота.

При анализе на газоанализаторе дымовые газы имеют следующий состав (объемы): O_2 - 6%; CO - 0,5%; N_2 - 84,5%.

$$1. L_0 = \frac{(2,67 \cdot C + 8 \cdot H + S - O)}{0,23 \cdot 100} = \frac{(2,67 \cdot 85 + 8 \cdot 13 + 0,45 - 1,55)}{0,23 \cdot 100} = 14,3 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$2. V_0 = \frac{L_0}{1,293} = \frac{14,3}{1,293} = 11,06 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$3. N_{RO_2} = \frac{C}{100 \cdot 12} + \frac{S}{100 \cdot 32} = \frac{85}{100 \cdot 12} + \frac{0,45}{100 \cdot 32} = 0,071 \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{H}{100 \cdot 2} + \frac{G_{\text{фп}}}{18} = \frac{13}{100 \cdot 2} + \frac{0,5}{18} = 0,093 \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}$$

$$4. L_{\text{п}} = \alpha \cdot L_0 = 1,34 \cdot 14,3 = 19,162,$$

$$\alpha = \frac{N_2}{(N_2 - 3,762 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO))} = \frac{84,5}{(84,5 - 3,762 \cdot (6 - 0,5 \cdot 0,5))} = 1,34.$$

$$5. N_{N_2+O_2} = \frac{V_0 \cdot (\alpha - 0,21)}{22,4} = \frac{11,06 \cdot (1,34 - 0,21)}{22,4} = 0,56 \text{кг} \cdot \text{моль}.$$

$$6. \sum N = N_{RO_2} + N_{H_2O} + N_{N_2+O_2} = 0,071 + 0,093 + 0,56 = 0,724.$$

$$7. G = (\alpha \cdot L_0 + 1) \cdot B = (1,34 \cdot 14,3 + 1) \cdot 940 = 18952,3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$8. N = \frac{G \cdot \sum N \cdot 22,4}{(2 \cdot L_0 + 1)} = \frac{18952,3 \cdot 0,724 \cdot 22,4}{(2 \cdot 14,3 + 1)} = 10562,2.$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ТРАНСПОРТА И РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЛОГА

Цель работы: ознакомление с методикой определения выбросов, определение экологического налога.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Количество выбросов от транспорта составляет 70% всех выбросов в атмосферу. Выбросы содержат более 40 различных компонентов. Основные – это угарный газ (CO), оксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), углеводороды, бенз(а)пирен ($C_{20}H_{12}$), твердые вещества (сажа). Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния автомобилей и, особенно, от двигателя – источника наибольшего загрязнения. Так, при нарушении регулировки карбюратора выбросы оксида углерода увеличиваются в 4...5 раза. Применение этилированного бензина, имеющего в своем составе соединения свинца, вызывает загрязнение атмосферного воздуха весьма токсичными соединениями свинца. Около 70 % свинца, добавленного к бензину с этиловой жидкостью, попадает в виде соединений в атмосферу с отработавшими газами, из них 30 % оседает на земле сразу за срезом выпускной трубы автомобиля, 40 % остается в атмосфере. Один грузовой автомобиль средней грузоподъемности выделяет 2,5...3 кг свинца в год. Концентрация свинца в воздухе зависит от содержания свинца в бензине.

Экологический налог, представляет собой плату субъектов хозяйствования за вредное воздействие на окружающую среду, которое они оказывают при осуществлении хозяйственной деятельности, и призван стимулировать природопользователей на сокращение вредного воздействия на окружающую среду.

1. Количество выбросов от транспорта:

$$B = E \cdot P, \frac{m}{год}, \quad (1)$$

где E – коэффициент эмиссии, значение которого для различных видов топлив представлено (табл. 1); P – расход топлива.

Таблица 1

Коэффициент эмиссии

Наименование	Бензин	Дизель	Сжатый газ
CO	0,44	0,125	0,22
SO_2	0,002	0,02	–
NO_x	0,025	0,035	0,025
C_nH_m	0,08	0,055	0,05
сажа	0,0006	0,015	–
$C_{20}H_{12}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$	$0,31 \cdot 10^{-6}$	–

2. Расход топлива:

$$P = \frac{k \cdot L \cdot n}{100}, \text{ м}^3 \quad (2)$$

где L – общий пробег, млн км;
 k – бензин (0,9); дизель (0,8); газообразное (0,3);
 n – линейная форма расхода, л/100 км.

3. Налог на выброс:

$$H = B \cdot C, \frac{m \cdot \text{руб}}{2} \quad (3)$$

где C – ставка налога (зависит от класса опасности):
 CO – 4 класс опасности;
 SO_2 и NO_x – 2 класс опасности;
сажа – 3 класс опасности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Результаты расчетов сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

Группа транспорта	Количество, шт	Общий пробег L , тыс.км.	Общий расход топлива P , м ³	Выброс вредных веществ по ингредиентам, м/год					Годовой валовый выброс, мт/год
				CO	C_nH_m	SO_2	NO_x	Сажа, твердые вещества	
1. Грузовые и специальные, работающие на:									
Бензин (42л\100км)	3	120	45,86	20,1	3,67	0,09	1,15	0,03	25,12
Диз.топливо (24л)	2	80	15,36	1,92	0,84	0,31	0,54	0,23	3,84
Сжатом газе (22,7л)	1	55	3,75	0,83	0,19	-	0,09	-	1,11
2. Автобусы, работающие на:									
Бензин (40л\100км)	2	270	97,2	42,7	7,78	0,19	2,43	0,06	53,23
Диз.топливо (28л)	1	78	17,47	2,18	0,96	0,35	0,61	0,26	4,36
3. Легковые автомобили, работающие на:									
Бензин (13л\100км)	2	153	17,9	7,88	1,43	0,04	0,45	0,01	9,81
4. Тракторы и другие виды сельскохозяйственных машин, строительный транспорт									
Диз.топливо (7л\1час)	2	12,320	25,87	3,23	1,42	0,52	0,91	0,39	6,47
				78,9	16,29	1,5	6,18	0,98	103,94

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Цель работы: ознакомление с методиками определения потерь и экономии электроэнергии при работе технологического оборудования

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическая энергия очень широко используется в производстве, в том числе на предприятиях машиностроения. Эффективное использование электроэнергии – часть энергосберегающей политики предприятий. Работа по рациональному использованию электроэнергии будет эффективной в том случае, если она подчинена определенной системе, основными элементами которой являются: учет и контроль расхода электроэнергии; составление электробалансов отдельных рабочих машин и агрегатов, цехов и предприятий в целом; нормирование электропотребления; разработка и реализация мероприятий по рациональному использованию электроэнергии.

1.1. Расчет реактивной мощности, потерь электроэнергии и оптимального коэффициента загрузки трансформатора

Полная реактивная мощность, потребляемая трансформатором при данной его нагрузке, может быть вычислена по каталожным данным и представлена в виде суммы двух составляющих:

$$Q = Q_x + \Delta Q = Q_x + k_{н2}^2 \cdot \Delta Q_{кз}, \text{ квар}, \quad (1)$$

$Q_x = I_x \cdot S_n / 100$ – реактивная мощность холостого хода трансформатора, квар; (2)

ΔQ – прирост реактивной мощности трансформатора при данной его нагрузке, квар;

$\Delta Q_{кз} = u_k \cdot S_n / 100$ – прирост реактивной мощности трансформатора при его номинальной нагрузке, квар; (3)

S_n – номинальная мощность трансформатора, кВА;

I_x – указываемая в паспорте величина тока холостого хода трансформатора, %;

u_k – указываемая в паспорте величина напряжения короткого замыкания, %;

$k_{нз} = S / S_n$ – коэффициент нагрузки трансформатора;

S – мощность трансформатора при данном $k_{нз}$.

Коэффициент нагрузки трансформатора определяют из выражения:

$$k_{нз} = S / S_n = \mathcal{E}_a / S_n \cdot T_n \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

\mathcal{E}_a – расход электроэнергии, определяемый по показаниям счетчиков активной энергии за расчетный период;

T_n – полное число часов работы трансформатора;

$\cos \varphi$ – средневзвешенный коэффициент мощности, определяемый по показаниям счетчиков реактивной и активной энергии.

Потери электроэнергии в двухобмоточном понижающем трансформаторе, кВтч:

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta p_x \cdot T_n + k_{нз}^2 \cdot \Delta p_{к.з} \cdot T_{раб}, \quad (5)$$

Δp_x – потери холостого хода в трансформаторе, Вт;

$\Delta p_{к.з}$ – потери короткого замыкания при номинальной нагрузке (паспортные), Вт;

$T_{раб}$ – число часов работы с номинальной нагрузкой, ч.

Оптимальный коэффициент нагрузки трансформатора:

$$k_{нз.опт.} = \sqrt{\frac{\Delta p_x + k_3 Q_x}{\Delta p_{к.з} + k_3 \Delta Q_{к.з}}} \quad (6)$$

k_3 – коэффициент изменения потерь, кВт/квар. Задается предприятиям энергосистемой или принимается по справочным данным.

$k_3 = 0,15$ кВт/квар.

Экономически целесообразная нагрузка трансформатора (при минимальных потерях) равна, кВА:

$$S_{опт} = k_{нз.опт.} \cdot S_n, \quad (7)$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пример расчета.

Определить реактивную мощность, потери электроэнергии и оптимальный коэффициент нагрузки цехового трансформатора ТМ-400/10/0,4/0,23, имеющем следующие данные: $S_n = 400$ кВА; $\Delta p_x = 950$ Вт; $\Delta p_{к.з} = 5900$ Вт; $I_x = 2,1\%$; $u_k = 4,5\%$. Коэффициент нагрузки трансформатора $k_{нз} = 0,75$, полное время работы $T_n = 744$ ч, время работы с номинальной нагрузкой $T_{раб} = 400$ ч.

Реактивная мощность холостого хода трансформатора по формуле (2) $Q_x = I_x \cdot S_n / 100 = 2,1 \cdot 400 / 100 = 8,4$ квар.

Прирост реактивной мощности при номинальной нагрузке (3) $\Delta Q_{кз} = u_k \cdot S_n / 100 = 4,5 \cdot 400 / 100 = 18$ квар.

Полная реактивная мощность трансформатора при $k_{нз} = 0,75$ (1) $Q = Q_x + \Delta Q = Q_x + k_{нз}^2 \cdot \Delta Q_{кз} = 8,4 + 0,75^2 \cdot 18 = 18$ квар.

Потери электроэнергии при $k_{нз} = 0,75$ (5)

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta p_x \cdot T_n + k_{нз}^2 \cdot \Delta p_{к.з} \cdot T_{раб} = 0,95 \cdot 744 + 0,75^2 \cdot 5,9 \cdot 400 = 2197 \text{ кВтч.}$$

Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора (6)

$$k_{нз.опт.} = \sqrt{\frac{\Delta p_x + k_3 Q_x}{\Delta p_{к.з} + k_3 \Delta Q_{к.з}}} = \sqrt{\frac{0,95 + 0,15 \cdot 8,4}{5,9 + 0,15 \cdot 18}} = 0,5.$$

Экономически целесообразная нагрузка трансформатора (при минимальных потерях) равна (7):

$$S_{опт} = k_{нз.опт.} \cdot S_n = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ кВА.}$$

1.2. Расчет мощности электродвигателя и экономии электроэнергии для насосных установок.

В насосных установках используют насосы различных типов и конструкций – центробежные, поршневые и роторные.

Центробежные насосы быстроходны, имеют относительно малые габариты и равномерную подачу, допускают автоматизацию управления с любой гидромеханической схемой. Используются для перекачки нефти, воды, кислот, сжиженных газов.

Поршневые насосы тихоходны, имеют относительно большие габариты и массу. Работают с пульсирующей передачей и колебанием давления. К преимуществам поршневых насосов относятся высокий КПД и возможность достижения значительных напоров даже при небольших подачах. Используются для перекачки различных жидкостей – вязких и текучих, чистых и имеющих посторонние примеси.

Роторные насосы работают, как поршневые непрерывного действия, вытесняя жидкость шестеренчатым или винтовым поршнем. Их применяют для перекачки очень вязких продуктов.

Мощность электродвигателя для привода насоса, кВт:

$$P = kQp10^{-3} / \eta_n \eta_n, \quad (1)$$

где k - коэффициент запаса (при $Q < 100$ м³ /ч, $k = 1,1-1,3$; при $Q > 100$ м³ /ч, $k = 1,1-1,5$);

Q – Подача (производительность) насоса, м³ /ч;

p – давление, развиваемое насосом, Па;

η_n – КПД насоса (задается заводом-изготовителем);

η_n – КПД передачи от электродвигателя к насосу. При соединении муфтой $\eta_n = 0,98-1,0$; клиноременной передачей - $\eta_n = 0,95$; плоскоременной – $\eta_n = 0,9$.

Давление, развиваемое насосом, Па:

$$p = H\gamma g, \quad (2)$$

H – полная высота подачи жидкости (напор), м;

γ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

$g = 9,8$ м/с² – ускорение силы тяжести.

В случае, когда частота вращения выбранного электродвигателя n_2 не соответствует частоте вращения насоса n_1 , делается пересчет необходимой мощности P_2 :

$$P_2 = P_1 (n_2 / n_1)^2, \quad (3)$$

где P_1 – мощность, определенная из формулы (1).

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса, кВтч/м³:

$$U = 0,00272H / \eta_n \eta_n, \quad (4)$$

0,00272 – удельный расход электроэнергии, кВтч, затрачиваемой на подъем 1 м³ на 1 м при КПД, равном 1;

H – действительный напор насоса при данном режиме работы, м;
 η_d, η_n – КПД электродвигателя и насоса.

КПД центробежных насосов низкого напора 0,4-0,7, среднего - 0,5-0,7, высокого – 0,6-0,8. Насосы новых конструкций имеют КПД порядка 0,9.

Для повышения КПД насосов проводится замена устаревших малопроизводительных насосов насосами с высоким КПД. Расчет экономии электроэнергии, кВтч/год:

$$\Delta \mathcal{E} = 0,00272 H Q T / [\eta_d (\eta_{нов} - \eta_{зам})], \quad (5)$$

где H – напор, м;

Q – Действительная подача насоса, м³/ч;

T – число часов работы насоса в год;

$\eta_{нов}, \eta_{зам}$ – КПД нового и заменяемого насосов.

T – число часов работы насоса в год;

$\eta_{нов}, \eta_{зам}$ – КПД нового и заменяемого насосов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пример расчета.

Определить мощность электродвигателя для насоса, перекачивающего бензин (880 кг/м³). Производительность насоса $Q=100$ м³/ч (0,028 м³/с); напор $H=98$ м; частота вращения $n_1=2940$ об/мин; $\eta_n=0,62$; $\eta_{п}=0,98$.

Давление, развиваемое насосом по формуле (2):

$$p=98 \cdot 880 \cdot 9 \cdot 81 = 846014,4 \text{ Па.}$$

Мощность электродвигателя по (1)

$$P = \frac{0,028 \cdot 846014,4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{0,62 \cdot 0,98} = 46,78 \text{ кВт.}$$

Выбираем по каталогу электродвигатель ближайшей номинальной мощности $P_n = 55$ кВт с номинальной частотой вращения $n_n = 2985$ об/мин. Так как частота вращения электродвигателя не совпадает с частотой вращения насоса, делаем

пересчет по формуле (3) и определяем, какую мощность P_2 должен иметь выбранный электродвигатель, чтобы обеспечить заданную производительность насоса:

$$P_2 = 46,78(2985/2940)^2 = 49 \text{ кВт.}$$

Выбранный двигатель мощностью 55 кВт обеспечит требуемую производительность насоса. Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса (4): $У = 0,00272 \cdot 98 / 0,62 \cdot 0,7 = 0,62$ кВтч/м³.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ВЫХОДА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Цель работы: ознакомление с методикой определения объемов выхода вторичных энергоресурсов и экономии топлива за счет использования ВЭР.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) - это энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

Необходимость использования ВЭР объясняется тем, что коэффициент полезного использования (КПИ) энергоресурсов в Республике Беларусь и странах СНГ – главный показатель эффективности производства – не достигает 40 %, что свидетельствует о существовании больших резервов экономии.

Утилизация ВЭР позволяет получить большую экономию топлива, существенно снизить капитальные затраты на создание соответствующих энергосберегающих установок.

Одними из основных показателей использования ВЭР являются:

- выход ВЭР – масса вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенный период времени (час, сутки, месяц, квартал, год) и пригодны к использованию в этот период;

- использование ВЭР – масса вторичных энергоресурсов какого-либо агрегата, употребленных в других установках и системах. ВЭР могут быть утилизированы без изменения вида энергоносителя или путем преобразования их в другие виды энергии для выработки теплоты, холода и механической работы, полученной в утилизационной установке.

Выход и использование ВЭР рассчитывают или в единицу времени (1 ч) работы агрегата-источника ВЭР, или в удельных показателях на единицу продукции (сырья).

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется произведением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал.

Энергетический потенциал энергоносителей определяется :

для горючих ВЭР – низшей теплотой сгорания Q^P_H ;

для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий Δh ;

для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения l .

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии (кДж, кВт).

Единицами измерения количества энергоносителя служат единицы массы (кг, т); для газообразных теплоносителей — единицы объема (m^3 при нормальных физических условиях, $P = 760$ мм рт. ст. и $t = 0^\circ C$).

Удельный общий выход ВЭР определяется по формулам:

для горючих ВЭР:

$$q^G = m Q^P_H, \text{ кДж/ч}; \quad (1)$$

для тепловых ВЭР:

$$q^T = m c (t - t_0) = m \Delta h, \text{ кДж/ч}; \quad (2)$$

для ВЭР избыточного давления:

$$q^H = m l, \text{ кДж/ч}. \quad (3)$$

Общий объем выхода ВЭР:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q M \quad (4)$$

или

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_v \tau. \quad (5)$$

Здесь m — удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг (m^3)/ч;

Δh — располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг;

l — работа изоэнтропного расширения, кДж/кг;

$Q_{\text{ВЫХ}}$ — общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж;

M — выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период;

τ — число часов работы установки-источника ВЭР за указанный период; q — удельный выход ВЭР.

Иногда в практических расчетах удельный и общий объем выхода ВЭР относят не к единице времени, а к единице продукции, т.е. имеет размерность кДж/ед. продукции.

Низшую теплоту сгорания горючих. ВЭР Q_H^P определяют экспериментальным путем или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от элементарного состава.

Перепад энтальпий Δh для тепловых ВЭР определяется в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата (источника ВЭР), а также от температуры окружающей среды.

В расчетах ВЭР обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

Выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют, исходя из удельного или часового выхода, по формуле

$$Q_{ВЫХ} = q П 10^{-6}, Г \quad (6)$$

или

$$Q_{ВЫХ} = q_{ч} \tau 10^{-6}, ГДж \quad (7)$$

где q – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции;

$П$ – выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, ед. продукции;

$q_{ч}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч;

τ – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Экономия топлива в целом зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, где они используются. Различают направления: тепловое, электроэнергетическое, комбинированное и топливное.

При тепловом направлении использования и отдельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива определяют по формуле

$$B_{эж} = b_3 Q_{И} = b_3 Q_T \sigma, \text{ т у.т.}, \quad (8)$$

где Q_{II} – использование тепловых ВЭР, ГДж (Гкал);

Q_T – выработка тепловой энергии за счет ВЭР в утилизационной установке, ГДж (Гкал);

σ – коэффициент использования тепловой энергии, выработанной за счет ВЭР;

b_3 – удельный расход топлива на выработку теплоэнергии в замещающей котельной установке, т у.т./ГДж (Гкал).

При использовании ВЭР для получения холода в абсорбционных холодильных установках экономия топлива может быть определена по формуле (8), подставляя вместо Q_K количество выработанного холода $Q_{\%}$ деленное на холодильный коэффициент, т.е.

$$B_{\text{эк}} = b_3 Q_X / \varepsilon, \text{ т у.т.} \quad (9)$$

При электроэнергетическом направлении использования ВЭР экономия топлива равна:

$$B_{\text{эк}} = b_3 W, \text{ т у.т.} \quad (10)$$

При топливном направлении использования горючих ВЭР экономия топлива определяется из выражения

$$B_{\text{эк}} = B_{II} \eta_{\text{вэр}} / \eta_T, \text{ т у.т.} \quad (11)$$

Здесь B_{II} – величина использования горючих ВЭР, т у.т.;

$\eta_{\text{вэр}}$ – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР;

η_T – КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

Исходя из расчетов экономии топлива за счет использования ВЭР, определяется коэффициент утилизации ВЭР, характеризующий степень использования отдельных видов ВЭР на предприятии, по городу, области, отрасли промышленности и т.д.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета циклонов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Очистка промышленных выбросов осуществляется в аппаратах сухой и мокрой очистки. Одним из аппаратов сухой очистки является циклон.

Широкое применение для сухой очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими и коническими циклонами НИИОГАЗ (научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов). Наиболее часто применяются цилиндрические циклоны марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конические СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33, конструктивные схемы которых представлены на рис.1(1). Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра.

Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. На частицу пыли действуют – сила тяжести, сила сопротивления среды, центробежная сила. Центробежная сила направлена по радиусу к стенкам циклона и определяется по формуле:

$$F_{цб} = \frac{\pi \cdot d_4^3}{6} \cdot \frac{W_{тг}^2}{R} (\rho_4 - \rho_г), \quad (1)$$

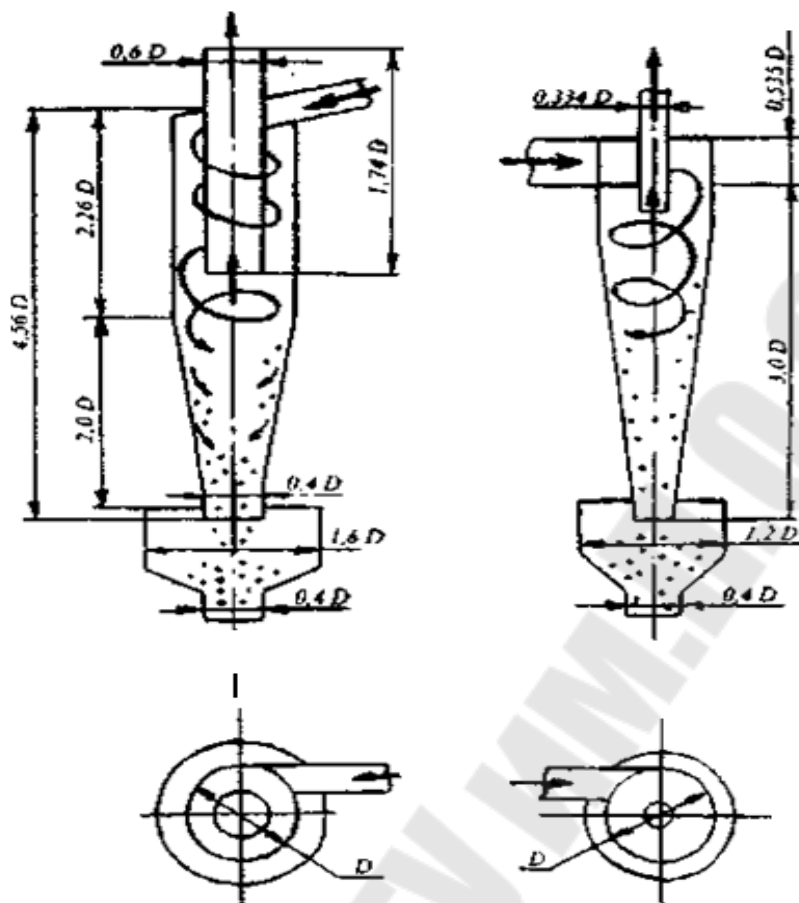
где d_4 - диаметр частиц,

$W_{тг}$ - тангенциальная составляющая скорости газа,

R - радиус циклона,

ρ_4 - плотность частиц пыли,

$\rho_г$ - плотность газа.



Циклон цилиндрический

Циклон конический

Рис. 1. Виды циклона

Эффективность циклона выше, чем больше диаметр частиц пыли, её удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенках циклона пылевой слой, который постепенно опускается в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит через выходную трубу. Циклоны не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

Циклоны НИИОГАЗ подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК ЦН-33, СК ЦН 34, ЦН-1 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1 м они обеспечивают степень очистки $[\tau] = 0.85-0.95$ при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15

занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности.

При выборе и расчете циклонов необходимо учитывать свойства пыли - абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа следует выбирать циклоны, исходя из наименьших значений скорости газа. При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (менее 0,8 м), которые склонны к залипанию. Так для очистки газов от сажи применяются конические циклоны серии СК, которые обладают высокой эффективностью за счет более высоко гидравлического сопротивления

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

Таблица 1

Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры	Тип циклона						
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК ЦН-33	СКЦН-34	СК ЦН 34М
$\omega_{оп}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0
$d_{оп}^T$, мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \delta_n^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

$\omega_{оп}$ - скорость движения газа в циклоне, м/с,

$d_{оп}^T$ - диаметр частиц освящаемых с эффективностью 50%, мкм,

$\lg \delta_n^T$ - стандартное отклонение функции распределения парциальных коэффициентов очистки.

Расчет начинают с циклона, для которого диаметр частиц пыли должен быть ориентировочно $d_M > 2 \cdot d_{50}^T$. d_M - медианный размер частиц, который представляет такой размер, при котором количество частиц крупнее d_M , равно количеству частиц мельче d_M .

Диаметр циклона вычисляется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_{оп}}}, \quad (2)$$

где Q - количество очищаемого газа, м³/с.

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона $D_{ц}$ (табл.2).

Таблица 2

Типовые значения внутреннего диаметра циклона

$D_{ц}$, м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

По выбранному диаметру циклона находится действительная скорость движения газа в циклоне:

$$\omega_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{ц}^2}, \text{ м/с} \quad (3)$$

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более, чем на 15%

$$100 \cdot \left| \frac{\omega_p - \omega_{оп}}{\omega_{оп}} \right| \leq 15\%$$

- при отклонении более чем 15% выбирают другой тип циклона.

Параметр d_{50} определяют следующим образом. d_{50} - диаметр частиц реально осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях. Величина d_{50} определяется по формуле:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{ц} \cdot \rho_{ч} \cdot \mu \cdot \omega_T}{D_T \cdot \rho_{ум} \cdot \mu_T \cdot \omega_p}}, \quad (4)$$

Значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона:

$$\omega_T = 3,5 \text{ м/с}$$

$$D_T = 0,6 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{чм}} = 1930 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

С учетом этих значений формула (4) принимает вид:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{\text{ц}}}{0,6} \cdot \frac{1930}{\rho_{\text{ч}}} \cdot \frac{\mu}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{\omega_p}}, \quad (5)$$

Полученное значение d_{50} должно быть меньше d_M (заданного). Если это не выполняется, то необходимо выбрать другой циклон с меньшим значением d_{50}^T .

Расчет параметра X ведут по формуле:

$$X = \frac{\lg(d_M / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_{\eta}^T + \lg^2 \delta_{\text{ч}}}}, \quad (6)$$

По величине параметра X определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$. $\Phi(X)$ - это полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & X > 0,6 \end{cases}$$

Эффективность очистки газа в циклоне (η) определяются:

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}, \quad (7)$$

Полученное значение сопоставляют с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, то необходимо выбрать другой тип циклона с меньшим значением $\omega_{\text{оп}}$ и d_{50}^T .

Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500} \quad (8)$$

Где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 3),
 K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 4),
 ξ_{500} - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 5).

Таблица 3

Поправочный коэффициент K_1 (3)

$D_{ц}$, м	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК ЦН-3, СДК ЦН-34, СДК ЦН-34М
0,2	0,95	0,90	1,00
0,3	0,96	0,93	1,00
0,4	0,99	1,00	1,00
$\geq 0,5$	1,00	1,00	1,00

Таблица 4

Поправочный коэффициент $D_{ц}$ (3)

Тип циклона	Запыленность на входе, г/м ³ ($C_{вх}$)						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1,00	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,00	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК ЦН-33	1,00	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК ЦН-34	1,00	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК ЦН-34М	1,00	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 5

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_{500} (2)

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15, ЦН- 15У	ЦН-11	СДК ЦН-33	СК ЦН-34 СК ЦН-34М
ξ_{500}	75	155	245	520	1050

Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_p^2}{2}, \text{ Па} \quad (9)$$

где ρ - плотность газа, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

ω_p - скорость газа в циклоне, м/с.

Расчет мощности привода подачи газа. Величина гидравлического сопротивления и объемный расход (Q) очищаемого

газа определяют мощность (N) привода устройства для подачи газа к циклону:

$$N = \frac{K_3 \cdot \Delta P \cdot Q}{\eta_M \cdot \eta_B} \quad (10)$$

где K_3 - коэффициент запаса мощности ($K_3 = 1,2$).

η_M - КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору ($\eta_M = 0,8$).

η_B - КПД вентилятора ($\eta_B = 0,8$).

Определение концентрации пыли на выходе из циклона:

$$C_{\text{ВЫХ}} = C_{\text{ВХ}} (1 - \eta), \frac{\text{г}}{\text{м}^3} \quad (11)$$

Пример расчета

Исходные данные: оборудование - вращающаяся цементная печь, $Q = 12 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$, $\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $d_M = 18 \text{ мкм}$, $\lg \delta_4 = 0,652$,
 $C_{\text{ВХ}} = 20 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$, $\rho_c = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\eta = 0,8$

Исходя из заданного размера частиц пыли ($d_M = 18 \text{ мкм}$), выбираем циклон, который очищает от частиц пыли размером $d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм}$.

Циклон: ЦН - 24

$$\omega_{\text{ОП}} = 4,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм} \quad \lg \delta_{\eta}^T = 0,308.$$

Определяем диаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 4,5}} = 1,84 \text{ м.}$$

По табл. 2 выбираем ближайшее значение типового диаметра $D_{\text{ц}} = 1,8 \text{ м}$

$$1) \quad \omega_p = \frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 1,8^2} = 4,72 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$100 \cdot \left| \frac{4,72 - 4,5}{4,5} \right| = 4,8\% < 15\%;$$

$$2) \quad d_{50} = 8,5 \cdot \sqrt{\frac{1,8}{0,6} \cdot \frac{1930}{2000} \cdot \frac{17,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{4,72}} = 9,7 \text{ мкм}$$

$$d_{50} = 9,7 < d_M = 18 \text{ мкм};$$

- 3) $X = \frac{\lg\left(\frac{18}{9,7}\right)}{\sqrt{0,308^2 + 0,652^2}} = 0,372;$
- 4) $\Phi(X) = 0,3762 \cdot 0,372 + 0,5 = 0,64;$
- 5) $\eta = \frac{1 + 0,64}{2} = 0,82 \quad \eta > 0,8;$
- 6) $\xi = 1 \cdot 0,93 \cdot 75 = 69,75;$
- 7) $\Delta P = 69,75 \cdot \frac{1,29 \cdot 4,72^2}{2} = 1002 \text{ Па};$
- 8) $N = \frac{1,2 \cdot 1002 \cdot 12}{0,8 \cdot 0,8} = 22551 \text{ Вт};$
- 9) $C_{\text{ВЫХ}} = 20 \cdot (1 - 0,812) = 3,76 \text{ г/м}^3.$

Выводы:

циклон ЦН - 24; $D_{\text{ц}} = 1,8 \text{ м}; \eta = 0,82; N = 22551 \text{ Вт}; C_{\text{ВЫХ}} = 3,76 \text{ г/м}^3.$

Варианты заданий

Согласно заданию преподавателя (табл. 6) выбрать и рассчитать циклон, обеспечивающий требуемую эффективность очистки газа. Обозначения, принятые в табл. 6.:

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$ - объем очищаемого газа;

$\rho_{\text{г}}, \text{ кг/м}^3$ - плотность газа при рабочих условиях;

$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$ - вязкость газа при рабочей температуре;

$d_{\text{м}}, \text{ мкм}$ - медианный размер частиц пыли;

$\lg \delta_4$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли;

$C_{\text{ВХ}}, \text{ г/м}^3$ - входная концентрация пыли;

$\rho_4, \text{ кг/м}^3$ - плотность частиц пыли;

η - требуемая эффективность очистки газа.

Таблица 6

Исходные данные для расчета циклона

№	Наименование оборудования	Q	ρ_r	μ	d_M	$\lg \delta_4$	C_{BX}	ρ_4	η
1	Клинкерно-обжиговая печь	20	1,29	17,3	23	0,501	30	2000	0,85
2		26	1,29	17,3	20	0,602	10	2000	0,80
3		10	1,29	17,3	14	0,535	25	2000	0,80
4		16	1,29	17,3	9	0,497	20	2000	0,80
5	Шахтная мельница	0.1	1,29	17,3	56	0,97	100	2240	0,80
6	Крекинг установка	2	1,29	17,3	16	0,250	10	2600	0,85
7		10	1,29	17,3	14	0,250	20	2600	0,85
8	Крекинг установка	10	1,29	17,3	7	0,301	15	2600	0,85
9	Углесушильный барабан	5	1,29	17,3	15	0,334	50	1350	0,80
10	Шаровая мельница	1	1,29	17,3	6	0,468	20	2900	0,80
11	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	7	0,345	40	2000	0,80
12	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	18	0,652	20	2000	0,85
13	Электролизер алюминия	5	1,29	17,3	10	0,352	1	2700	0,85
14	Вращающаяся печь обжига	2	1,29	17,3	13	0,215	100	2900	0,85
15	Вращающаяся печь обжига	3	1,29	17,3	8	0,506	40	2650	0,80
16	Распылительная сушилка	10	1,29	17,3	8	0,210	4	1800	0,80
17	Барабанная сушилка	10	1,29	17,3	15	0,360	10	1800	0,80
18		12	1,29	17,3	11	0,360	20	1800	0,80
19	Барабанная сушилка	8	1,29	17,3	20	0,352	10	2700	0,85
20	Цементная мельница	5	1,29	17,3	12	0,468	60	2900	0,85
21	Наждачный станок	0,5	1,29	17,3	38	0,214	10	2500	0,85
22	Шаровая мельница	3	1,29	17,3	9	0,385	10	2900	0,80
23	Электролизер алюминия	8	1,29	17,3	10	0,468	2	2700	0,85
24	Наждачный станок	0,6	1,29	17,3	30	0,312	15	2500	0,85
25	Шаровая мельница	2	1,29	17,3	6	0,268	10	2900	0,80
26	Наждачный станок	0,8	1,29	17,3	30	0,314	8	2500	0,85
27	Наждачный станок	10	1,29	17,3	6	0,468	10	2000	0,80
28	Шаровая мельница	12	1,29	17,3	7	0,214	2	2000	0,80
29	Наждачный станок	8	1,29	17,3	18	0,385	15	2240	0,80
30	Барабанная сушилка	5	1,29	17,3	10	0,468	10	2600	0,85

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета фильтров.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Технологические расчеты фильтров сводятся к определению площади

фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтрующих элементов.

При выборе конструкции фильтра с гибкой фильтровальной перегородкой приходится учитывать значительное число факторов:

- характеристику очищаемых газов на входе в фильтр: средний объемный расход очищаемых газов в рабочих и нормальных условиях, состав газов и их взрывоопасность, температура и давление, допустимость подсоса, содержание влаги, точка росы;

- свойства пыли: тип пыли (по механизму образования), распределение частиц по размерам, средняя и максимальная массовая концентрации, содержание токсичных веществ, химический состав пыли, ее гигроскопичность и растворимость в воде, склонность к слипанию, взрываемость и горючесть, истинная и насыпная плотности, электризуемость, абразивность, предельнодопустимая концентрация;

- характеристику источника выделения пыли: технологические сведения о процессе и применяемом оборудовании, периодичность или непрерывность процесса, место отсоса запыленных газов, конструкционные материалы, используемые в технологическом оборудовании;

- характеристику и требования к уловленной пыли: ее ценность, возможность регенерации и возвращения в производство, возможность ее использования в других производствах, способ выгрузки, транспортирования и упаковки;

- основные требования к фильтрам: допустимое сопротивление фильтра, задаваемая величина выходной концентрации, размер установки, требуемая площадь, место расположения, необходимое вспомогательное оборудование, климатические условия, лимиты по воде, пару, электроэнергии,

возможность проведения процесса при аварийной остановке фильтра, капитальные и эксплуатационные затраты.

С учетом физико-химических характеристик выбросов, характера производства, технико-экономических и других факторов обосновывают эффективность очистки газов посредством фильтрации, принимают тип фильтрующей среды и фильтра (волоконный, тканевый, зернистый и др.), подбирают приемлемый материал волокон, ткани или гранул; для тканых и зернистых фильтров определяют также способ регенерации фильтрующего слоя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Фильтрующая поверхность аппарата определяется из выражения:

$$F_{\phi} = ((V_{\Pi} + V_{P}) / 60 \cdot q) + F_{P}, \quad (1)$$

где V_{Π} – объем газа, поступающего на очистку, м³/ч;

V_{P} – объем газа или воздуха, расходуемого на регенерацию ткани, м³/ч;

q – удельная газовая нагрузка фильтровальной перегородки при фильтровании, м³/(м²·мин);

F_{P} – фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерацию в течение 1 час, м².

Величину F_{P} следует рассчитывать по зависимости:

$$F_{P} = N_{C} \cdot F_{C} \cdot \tau_{P} \cdot m_{P}, \quad (2)$$

где N_{C} – число секций в фильтре;

F_{C} – фильтрующая поверхность секции, м²;

τ_{P} – время регенерации секции, с;

m_{P} – число регенерации в течении 1 часа.

Для фильтров с импульсной продувкой в связи с кратковременностью процесса регенерации поверхности фильтра, выключаемой на время регенерации, и объемом газа, расходуемого на обратную продувку, можно пренебречь.

Удельная газовая нагрузка на фильтровальную перегородку для рукавных фильтров колеблется от 0,3 до 6 м³/(м²·мин). Внутри этого диапазона выбор оптимального значения зависит от многих факторов, к которым в первую очередь относятся свойства улавливаемой пыли, способ регенерации фильтровальных элементов, концентрация пыли в газе, структура фильтровального материала, температура очищаемого газа, требуемая степень очистки.

С достаточной для практических расчетов точностью удельную газовую нагрузку в рукавных фильтрах можно определить из следующего выражения [м³/(м²·мин)]:

$$q = q_H \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5, \quad (3)$$

где q_H – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации (определяется по таблице 1);

c_1 – коэффициент, характеризующий способность регенерации фильтрующих элементов (определяется по данным приведенным ниже);

c_2 – коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку, определяется по рисунку 3;

c_3 – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе (определяется по данным приведенным ниже);

c_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа (определяется по данным приведенным ниже);

c_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки.

Для коэффициента, учитывающего влияние особенностей регенерации фильтровальных элементов, в качестве базового варианта принимается фильтр с импульсной продувкой сжатым воздухом с рукавами из ткани. Для этого аппарата коэффициент $c_1 = 1$. При использовании рукавов из нетканых материалов значение коэффициента может увеличиваться на 5...10%. Для фильтров с регенерацией путем обратной продувки и одновременного встряхивания или покачивания рукавов принимается коэффициент $c_1 = 0,70...0,85$. Меньшее значение принимается для более плотной ткани. При регенерации путем только обратной продувки

$c_1 = 0,55 \dots 0,70$. В теории фильтрации принято оперировать с величиной, обратной по смыслу эффективности очистки - проскоком. В практике проектирования установок фильтрации степень очистки не вычисляют, а принимают по информации, приводимой в каталогах заводов-изготовителей. Эту величину также следует рассматривать как оценочную. При эксплуатации фильтра величина проскока не остается постоянной во времени. В цикле между регенерациями проскок падает от максимального до минимального значения по мере накопления пыли на фильтре. В целом за период эксплуатации тканевого фильтра проскок длительное время (несколько тысяч циклов) снижается вследствие увеличения остаточной запыленности ткани, а затем, продержавшись, некоторое время на минимальном уровне, начинает расти вследствие износа материала.

Концентрация пыли (коэффициент c_2) сказывается на продолжительности цикла фильтрования. При увеличении концентрации увеличивается частота регенерации и удельная нагрузка должна снижаться. Однако зависимость удельной нагрузки от концентрации пыли не является линейной функцией. Наиболее заметно изменение концентрации проявляет себя в интервале концентраций $1 \dots 30 \text{ г/м}^3$ (см. рис. 1). При более высоких значениях усиливается влияние коагуляции частиц пыли, и часть ее в виде агломератов падает в бункер до ее осаждения на фильтровальных элементах.

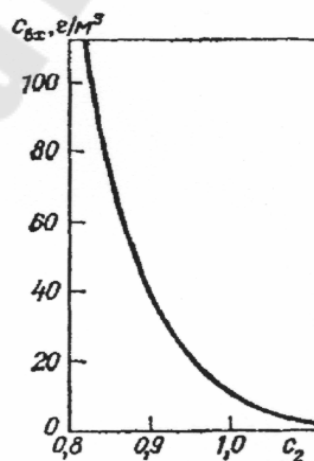


Рис. 1. Зависимость коэффициента c_2 от концентрации пыли на входе в фильтр $C_{вх}$

Коэффициент c_5 , учитывающий требования к качеству очистки, оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. При концентрации пыли в отходящих газах 30 мг/м^3 $c_5 = 1$, а при 10 мг/м^3 $c_5 = 0,95$.

Энергетические затраты и эффективность процесса очистки непосредственно зависят от сопротивления, создаваемого фильтрующим слоем, т.е. тканью и автослоем (слоем пыли, осевшей на ткани в процессе фильтрации).

Составляющую сопротивления, зависящую от структуры ткани, называют остаточным сопротивлением ткани, предполагая, что в порах ткани после регенерации остается определенное (так называемое "равновесное") количество пыли. Однако на величину остатка кроме способа регенерации влияет множество других причин. Поэтому остаточное сопротивление после регенераций может изменяться в достаточно широких пределах.

При подборе рукавных фильтров важным является оценка ожидаемого гидравлического сопротивления, определяющего энергетические затраты на фильтрование. Гидравлическое сопротивление фильтра в Па складывается из сопротивления корпуса ΔP_k и сопротивления фильтровальной перегородки ΔP_n .

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n, \quad (4)$$

Гидравлическое сопротивление корпуса аппарата определяется величиной местных сопротивлений, возникающих на входе в аппарат и выходе из него и при раздаче потока по фильтровальным элементам. В общем виде гидравлическое сопротивление может быть оценено коэффициентом сопротивления корпуса аппарата, отнесенным к скорости газа во входном патрубке:

$$\xi_k = \frac{\Delta P_k^2}{\rho_\Gamma \cdot v}, \quad (5)$$

где v - скорость газа во входном патрубке, м/с.

Величина ξ_k при конструировании фильтров обычно принимается равной 1,5 ... 2,0.

Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки включает потери напора за счет самой перегородки (ΔP_n) и потери за счет осевшей на перегородку пыли (ΔP_n^{\cdot}):

$$\Delta P_n = \Delta P_n^{\cdot} + \Delta P_n, \quad (6)$$

Величину ΔP_n^{\cdot} (в Па) удобно вычислять по выражению:

$$\Delta P_n^{\cdot} = K_n \cdot \mu \cdot v^n, \quad (7)$$

где K_n – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} ;

μ – динамическая вязкость газа, Па·с;

v – скорость фильтрации, м/с;

n – показатель степени, зависящий от режима течения газа сквозь перегородку (для ламинарного режима $n = 1$, для турбулентного $n > 1$).

Коэффициент K_n зависит от толщины и проницаемости фильтровальной перегородки, количества пыли, оставшейся на перегородке после регенерации, свойств пыли. Поэтому этот коэффициент определяют экспериментально. Например, для фильтровальных тканей из лавсана, улавливающих цементную или кварцевую пыль с медианным диаметром в пределах 10...20 мкм, $K_n = (1100...1500) \cdot 109 m^{-1}$, для тех же материалов при улавливании возгонов от сталеплавильных дуговых печей с медианным диаметром частиц 2,5...3,0 мкм $K_n = (2300...2400) \cdot 109 m^{-1}$. Для более плотных тканей (лавсан, стеклоткань) на тех же пылях коэффициент K_n увеличивается в 1,2...1,3 раза.

При улавливании пылей с медианным размером частиц меньше 1 мкм коэффициент K_n увеличивается в несколько раз и для лавсана. При улавливании возгонов кремния с медианным диаметром 0,6 мкм он составляет $(13000...15000) \cdot 109 m^{-1}$.

Приведенные значения коэффициентов не учитывают возможное увеличение его в присутствии влаги.

Сопротивление в Па, вызванное осевшей на перегородку пылью, рассчитывается по уравнению:

$$\Delta P_n' = \mu \cdot \tau \cdot C_{BX} \cdot v^2 \cdot K_1, \quad (8)$$

где τ – продолжительность фильтровального цикла, с;
 C_{BX} – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м²;
 K_1 – параметр сопротивления слоя пыли, м/кг.

Величина K_1 зависит от свойств пыли и порозности слоя пыли на перегородке. Например, для цемента с медианным диаметром частиц $d_m = 12...20 \text{ мкм}$ $K_1 = (6,5 - 16) \cdot 109 \text{ м/кг}$, для частиц кремния $d_m = 0,7 \text{ мкм}$ $K_1 = 330 \cdot 109 \text{ м/кг}$, для возгонов сталеплавильной дуговой печи $d_m = 3 \text{ мкм}$ $K_1 = 80 \cdot 109 \text{ м/кг}$.

Пользуясь формулой (8), при известном или заданном гидравлическом сопротивлении слоя пыли можно найти продолжительность фильтровального цикла:

$$T = \frac{\Delta P_{II}'}{\mu \cdot C_{BX} \cdot K_1}, \quad (9)$$

Следует иметь в виду, что общее сопротивление рукавных фильтров не должно превышать 2800 Па, а сопротивление слоя пыли на перегородке 600...800 Па.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица В.1.

Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке чугуна в вагранках

Производительность вагранки, т/ч	Загрязняющее атмосферу вещество	Количество выделяющегося вещества			
		кг/ч		кг/т	
		Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
1	2	3	4	5	6
3,0	Пыль SiO_2 20-70%	30,4	37,2	10,1	12,4
	Железа оксид	23,6	28,8	7,9	9,6
	Углерода оксид	540,0	660,0	180,0	220,0
	Серы диоксид	3,6	4,5	1,2	1,5
	Углеводороды C12-C19	0,4	7,2	0,13	2,4
4,0	Пыль SiO_2 20-70%	40,5	49,5	10,1	12,4
	Железа оксид	31,5	38,5	7,9	9,6
	Углерода оксид	720,0	880,0	180,0	220,0
	Серы диоксид	4,6	5,9	1,2	1,5
	Углеводороды C12-C19	0,5	9,2	0,12	2,3
5,0	Пыль SiO_2 20-70%	50,7	61,9	10,1	12,4
	Железа оксид	39,3	48,1	7,9	9,6
	Углерода оксид	850,0	1000	170,0	200,0
	Серы диоксид	5,9	7,5	1,2	1,5
	Углеводороды C12-C19	0,6	10,8	0,12	2,2
7,0	Пыль SiO_2 20-70%	70,9	78,8	10,1	12,4
	Железа оксид	55,1	61,2	7,9	9,6
	Углерода оксид	1240,0	1540,0	180,0	220,0
	Серы диоксид	9,7	11,1	1,4	1,6
	Углеводороды C12-C19	1,0	17,2	0,15	2,4
10,0	Пыль SiO_2 20-70%	101,3	112,6	10,1	11,3
	Железа оксид	78,7	87,4	7,9	8,7
	Углерода оксид	1700,0	1900,0	170,0	190,0
	Серы диоксид	12,4	15,4	1,2	1,5
	Углеводороды C12-C19	1,3	22,0	0,13	2,2
15,0	Пыль SiO_2 20-70%	135,1	162,1	9,0	10,1
	Железа оксид	104,9	125,9	7,0	7,9
	Углерода оксид	2400,0	3000,0	160,0	200,0

Таблица В.4. Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке чугуна в индукционных печах

Марка печи	Производительность, т/ч	Загрязняющее атмосферу вещество	Количество выделяющегося вещества	
			г/с	кг/т
1	2	3	4	5
ИЧТ-0,4	0,4	Пыль SiO_2 20-70%	3,89	1,19
		Железа оксид	0,28	0,11
		Углерода оксид	0,15	0,06
		Азота диоксид	0,39	0,2
		Серы диоксид		
ИЧТ-2,5	2,5	Пыль SiO_2 20-70%	6,75	1,40
		Железа оксид	0,83	0,12
		Углерода оксид	0,44	0,07
		Азота диоксид	0,34	0,14
		Серы диоксид		
ИЧТ-6	6,0	Пыль SiO_2 20-70%	26,25	1,24
		Железа оксид	1,94	0,12
		Углерода оксид	1,22	0,06
		Азота диоксид	2,64	0,12
		Серы диоксид		
ИЧТ-10	10,0	Пыль SiO_2 20-70%	41,67	1,10
		Железа оксид	3,33	0,09
		Углерода оксид	3,06	0,08
		Азота диоксид	4,44	0,12
		Серы диоксид		

Таблица В.5.

Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке стали в
электродуговых печах

Емкость печи, т	Производи- тельность, т/ч	Загрязняющее атмосферу вещество	Количество выделяющегося вещества			
			кг/ч		кг/т	
			Среднее	Макс.	Среднее	Макс.
1	2	3	4	5	6	7
0,5	0,33	Пыль SiO_2 20-70%	0,5	0,5	1,5	1,6
		Железа оксид	2,7	2,8	8,3	8,4
		Углерода оксид	0,4	0,5	1,2	1,5
		Азота диоксид	0,08	0,10	0,24	0,30
1,5	0,94	Пыль SiO_2 20-70%	1,4	1,5	1,5	1,6
		Железа оксид	7,7	7,8	8,2	8,3
		Углерода оксид	1,1	1,3	1,1	1,3
		Азота диоксид	0,20	0,26	0,24	0,28
3,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
5,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
6,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
10,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
12,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28

1	2	3	4	5	6	7
20,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
25,0	1,56	Пыль SiO_2 20-70%	2,3	2,4	1,5	1,5
		Железа оксид	12,4	12,6	7,9	8,1
		Углерода оксид	1,8	2,2	1,2	1,4
		Азота диоксид	0,36	0,44	0,24	0,28
40,0	23,0	Пыль SiO_2 20-70%	23,5	24,2	1,0	1,1
		Железа оксид	126,0	129,8	5,5	5,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян, А.А. Основы энергосбережения: методы расчета и анализа потерь электроэнергии, энергетическое обследование и энергоаудит, способы учета и снижения потерь, экономический эффект / А. А. Арутюнян. – М. : Энергосервис, 2007. – 593 с.
2. Транспорт и окружающая среда / М. М. Болбас [и др.]. – Минск : Технопринт, 2003.
3. Безруких, П. П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П. П. Безруких. – М. : Колос, 2008. – 196 с.
4. Махоцкий, Я. Л. Основы экологии и энергосбережения: учебное пособие / Я. Л. Махоцкий. – Минск : Выш. шк. – 2014. – 286 с.
5. Охрана окружающей среды и энергосбережение в сельском хозяйстве : учебник : [12+] / А. В. Кильчевский [и др.] ; под ред. А. В. Кильчевского. – Минск : РИПО, 2017. – 336 с. : табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463652>
6. Хван, Т. А. Промышленная экология / Т. А. Хван. – Ростов н/Д : Феникс, 2003.
7. Челноков, А. А. Общая и прикладная экология : учеб. пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко ; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Минск : Выш. шк., 2014. – 656 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=452747>
8. Экологические проблемы и энергосбережение: учеб. пособие для вузов/ под общ. ред. В. Д. Карминского. – М. : Маршрут, 2004. – 591 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа № 1 Определение количества дымовых газов по составу сжигаемого топлива	3
Практическая работа № 2 Определение количества вредных выбросов от транспорта и расчет экологического налога	6
Практическая работа № 3 Оценка мероприятий по экономии электроэнергии при эксплуатации электрооборудования.....	9
Практическая работа № 4 Определение объемов выхода и использования ВЭР	15
Практическая работа № 5 Расчет циклонов	19
Практическая работа № 6 Расчет фильтров	28
Приложение	35
Литература	39

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

**Практикум
для студентов специальности
1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель **Русая** Людмила Николаевна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 16.02.23.

Пер. № 6Е.
<http://www.gstu.by>