

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**Методические указания**  
**по выполнению лабораторных работ**

***по курсу «Основы природопользования»***

**для студентов специальности 1 – 33 01 07**

**«Природоохранная деятельность»**

Брест 2013

УДК 502.1:502.5+504.1=161.1(072)(21)-025

В методических указаниях дается перечень тем и заданий для выполнения лабораторных работ по предмету «Основы природопользования» за первый семестр. Изложение материала представлено в последовательности в соответствии с рабочей учебной программой по данной дисциплине. В первой части делается упор на изучение вопросов использования воздушного бассейна как одного из основных видов природопользования. Изложенные лабораторные работы направлены на изучение основных принципов аналитического определения воздействий на окружающую среду.

Каждая лабораторная работа рассчитана на 2 академических часа, кроме лабораторных работ № 3 и № 4, на выполнение которых отведено 4 академических часа.

Составители: Шешко Н.Н., к.т.н., доцент кафедры  
Шпендик Н.Н., к.г.н., доцент кафедры

## Содержание

Лабораторная работа №1 Определение выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах.....	4
Лабораторная работа №2 Порядок определения выбросов загрязняющих веществ расчетными методами .....	10
Лабораторная работа №3 Расчет выбросов вредных веществ механическими транспортными средствами .....	19
Лабораторная работа №4 Расчет выбросов вредных веществ от животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик .....	28
Лабораторная работа №5 Расчет выбросов вредных веществ при эксплуатации объектов газораспределительной системы.....	36
Лабораторная работа № 6 Выбросы загрязняющих веществ от объектов магистральных газопроводов .....	41
ЛИТЕРАТУРА .....	45

## Лабораторная работа №1

### Определение выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с основными видами загрязняющих веществ, выделяющихся при сжигании топлива в котлах.
2. Изучить методику расчета объема выбросов вредных веществ.

#### Основные сведения

Основным техническим процессом является нагревание теплоносителя (воды или пара) в котельной установке за счет теплоты сгорания топлива в топке. Предполагается отсутствие улетучивания твердых частиц из отвалов и складов.

Выбросы вредных веществ рассчитываются в массовых единицах за рассматриваемый период времени, например, т/год или г/с.

Необходимо учитывать периодичность работы котельной установки в рассматриваемый период времени и различные виды применяемых топлив. Для этого рассматриваемый период времени (год) делится на промежутки времени, в течение каждого из которых производилась работа на одном виде топлива. Рассматриваются выбросы в каждом промежутке времени, и суммируется количество выбросов за год.

При использовании нескольких видов топлива в одной котельной установке одновременно, выбросы рассчитываются как сумма выбросов от отдельного использования этих топлив.

Текущие выбросы в рассматриваемый момент времени, как правило, измеряются в г/с.

Максимальные текущие выбросы соответствует режиму номинальной (установленной) мощности.

Наиболее распространенные случаи расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

- а) учет и нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- б) государственный, ведомственный, производственный контроль за соблюдением установленных нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- в) разработка проектных решений;
- г) оценка воздействия на окружающую среду и проведение государственной экологической экспертизы;
- д) исчисление и уплата налога за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- е) иные мероприятия по охране атмосферного воздуха, предусмотренные законодательством Республики Беларусь.

Требования настоящего технического кодекса распространяются на следующие загрязняющие вещества: углерода оксид (СО, код 0337), азота оксиды, в том числе азота II оксид (NO, код 0304) и азота IV оксид (NO<sub>2</sub>, код 0301), ан-

гидрид сернистый (серы IV оксид) (SO<sub>2</sub>, код 0330), твердые частицы (летучая зола и несгоревшее топливо), бенз(а)пирен (код 0703).

Твердые частицы (летучая зола и несгоревшее топливо) при использовании твердых видов топлива следует классифицировать как твердые частицы суммарно (код 2902).

Твердые частицы при использовании жидких видов топлива следует классифицировать следующим образом:

а) при сжигании мазута как мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (код 2904) и углерод черный (сажа) (код 0328);

б) при сжигании дизельного, печногобытового и других легких жидких топлив как углерод черный (сажа) (код 0328).

Наименование и коды загрязняющих веществ даны в соответствии с [1].

Описанная ниже методика расчета обязательна для применения всеми юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании топлива в котлах производительностью до 25 МВт [2].

Основным термином при оценке количества загрязняющих веществ является *концентрация загрязняющего вещества в выбросе (концентрация)* – это количество загрязняющего вещества, содержащееся в единице объема газовойдушного потока, поступающего в атмосферный воздух.

Инструментальные измерения выполняются аккредитованными аналитическими лабораториями по аттестованным методикам, при помощи средств измерений, включенных в Государственный реестр средств измерений и прошедших государственный метрологический надзор и метрологический контроль в порядке, установленном законодательством.

Отбор проб осуществляется:

– на котлах, сжигающих твердое топливо и оборудованных золоуловителем – из газохода после золоуловителя, не оборудованных золоуловителем – за последней поверхностью нагрева;

– на котлах, сжигающих жидкое и газообразное топливо – в сечении за дымососом, или за последней поверхностью нагрева.

– при наличии двух газоходов или дымососов на одном котле – в каждом газоходе или за каждым дымососом с последующим усреднением.

При определении выбросов загрязняющих веществ расчетными методами для целей проектирования, учета и нормирования используются значения зольности, сернистости, влажности из ТУ, ГОСТ, СТБ, паспортов, сертификатов качества, протоколов испытаний данного вида топлива при условии его отдельного учета. При этом для определения максимальных выбросов принимается максимальное значение параметров, для определения валовых выбросов принимается среднее значение параметров, исходя из объемов потребления топлива и фактических значений параметров, указанных в паспортах, сертификатах качества, протоколах испытаний топлива. В случае отсутствия на топливо ТУ, ГОСТ, СТБ, паспортов, сертификатов качества, протоколов испытаний расчетные характеристики топлива принимаются в соответствии с таблицами А.1 [2] и А.2 [2].

Порядок расчета

### 1. Определение выбросов по данным инструментальных замеров

Максимальный выброс  $j$ -го загрязняющего вещества  $M_j$ , г/с, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами рассчитывается по формуле:

$$M_j = c_j \cdot V_{dry} \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

где  $c_j$  – максимальная концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах на максимальном режиме работы котла, определяется в зависимости от типа средства измерения и при индикации значений в массовых единицах рассчитывается в соответствии с (1.2), при индикации значений в объемных единицах в соответствии с (1.4), мг/м<sup>3</sup>;  $V_{dry}$  – объем сухих дымовых газов, м<sup>3</sup>/с, определяемый по одному из двух вариантов: а) согласно (1.5) по измеренной скорости потока и площади сечения газохода; б) согласно (1.6) по известному расходу и химическому составу сжигаемого топлива.

В случае сжигания на котле в течение года нескольких различных видов топлива, максимальный выброс  $j$ -го загрязняющего вещества определяется для топлива, наиболее неблагоприятного по воздействию на атмосферный воздух.

Концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах  $c_j$ , мг/м<sup>3</sup>, при индикации значений в массовых единицах рассчитывается по формуле:

$$c_j = c_j^{mass} \cdot \frac{\alpha}{1,4}, \quad (1.2)$$

где  $c_j^{mass}$  – измеренная массовая концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества, мг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха в месте отбора пробы, определяемый по зависимости:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}, \quad (1.3)$$

где  $O_2$  – измеренная концентрация кислорода в месте отбора пробы дымовых газов, %.

Концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах  $c_j$ , мг/м<sup>3</sup>, при индикации значений в объемных единицах рассчитывается по формуле:

$$c_j = I_j \cdot \rho_j \cdot \frac{\alpha}{1,4}, \quad (1.4)$$

где  $I_j$  – измеренная объемная концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества, одна миллионная доля, ppm (1 ppm=0,000001 объема);  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха (1.3);  $\rho_j$  – переводной коэффициент для  $j$ -го загрязняющего вещества при нормальных условиях, мг/м<sup>3</sup>, величина постоянная.

Значения коэффициентов  $\rho_j$  для основных газообразных загрязняющих веществ, содержащихся в выбрасываемых в атмосферный воздух дымовых газах котлов, приведены в Б.1 [2].

Объем сухих дымовых газов  $V_{dry}$  при  $\alpha_0 = 1,4$  и нормальных условиях, образующихся при полном сгорании топлива, рассчитывается по измеренной скорости потока и площади сечения газохода по формуле:

$$V_{dry} = \frac{V \cdot 1,4 \cdot k \cdot 273 \cdot (P_b \pm \Delta P_i)}{\alpha \cdot (273 + t_g) \cdot 101,3}, \quad (1.5)$$

где  $V$  – объем уходящих дымовых газов, рассчитанный в соответствии с ГОСТ 17.2.4.06, м<sup>3</sup>/с;  $k$  – отношение объема сухих и влажных продуктов сгорания, значения которого для основных видов топлива приведены в таблицах А.1 [2] и А.2 [2];  $P_b$  – барометрическое давление воздуха в момент проведения измерений, кПа;  $\Delta P_i$  – избыточное давление (разрежение) газов в месте отбора пробы, кПа;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха (1.3);  $t_g$  – температура уходящих дымовых газов в момент проведения измерений, °С.

В случаях, если известен химический состав сжигаемого топлива и его расход объем сухих дымовых газов при  $\alpha_0 = 1,4$  определится по формуле:

$$V_{dry} = B_s \cdot V_{dry}^{1,4} = B_s \cdot (V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + 0,4 \cdot V^0), \quad (1.6)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива, определяемый в соответствии с 6.1.6, кг/с (м<sup>3</sup>/с);  $V_{dry}^{1,4}$  – теоретический объем сухих дымовых газов, приведенный к условному коэффициенту избытка воздуха  $\alpha_0 = 1,4$  и нормальным условиям, определяемый в соответствии с таблицами А.1 [2] и А.2 [2];  $V_{RO_2}$  – теоретический объем трехатомных газов, образующийся при полном сжигании одного килограмма (одного нормального метра кубического) топлива, определяемый при сжигании твердых и жидких топлив в соответствии:

$$V_{RO_2} = 1,866 \frac{C^r + 0,375 \cdot S'_{O+K}}{100}, \quad (1.7)$$

где  $C^r$ ,  $S'_{O+K}$  – содержание углерода и серы к рабочей массе топлива, %, а в случае сжигания газообразного топлива в соответствии с таблицей А.2 [2];  $V^0$  – теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания одного килограмма топлива:

$$V^0 = 0,0899(C^r + 0,375 \cdot S'_{O+K}) + 0,265 \cdot H^r - 0,0333 \cdot O^r, \quad (1.8)$$

где  $C^r$ ,  $S'_{O+K}$ ,  $H^r$ ,  $O^r$  – содержание углерода, серы, водорода и кислорода к рабочей массе топлива, %;  $V_{N_2}^0$  – теоретический объем азота, определяемый при сжигании твердых и жидких топлив в соответствии:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \frac{N^r}{100}, \quad (1.9)$$

где  $N^r$  – содержание азота к рабочей массе топлива, %, а в случае сжигания газообразного топлива в соответствии с таблицей А.2 [2].

Расчетный расход топлива  $B_s$ , кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), рассчитывается по формуле:

$$B_s = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B, \quad (1.10)$$

где  $q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %. При сжигании газообразного топлива принимается равной нулю, а при сжигании твердого и жидкого топлива принимается по таблице В.1 [2];  $B$  – фактический расход топлива на работу котла на максимальном режиме горения, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), определяется по показаниям прибора или по обратному тепловому балансу.

Фактический расход топлива  $B$ , кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) на расчетной нагрузке может рассчитываться по формуле:

$$B = \frac{100 \cdot N}{Q'_i \cdot \eta}, \quad (1.11)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка котла, МВт;  $Q'_i$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива МДж/м<sup>3</sup>, при сжигании твердого и жидкого топлива МДж/кг;  $\eta$  – коэффициент полезного действия "брутто" котла на расчетной нагрузке, %.

Валовой выброс  $j$ -го загрязняющего вещества, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, определяется при средних значениях массовой концентрации за год:

$$M_j^{\text{в}} = \sum c_j \cdot V_{\text{dry}} \cdot 10^{-6}, \quad (1.12)$$

где  $c_j$  – средневзвешенное значение концентрации  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах за год, мг/м<sup>3</sup>.

Средневзвешенная за год концентрация  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах:

$$c_j = \frac{c_1 B_1 + c_2 B_2 + \dots + c_n B_n}{B_1 + B_2 + \dots + B_n}. \quad (1.13)$$

## Пример расчета

Паровой котел мощностью 650 кВт на газообразном топливе в течение марта месяца работал следующим образом

Измеренные параметры				
Нагрузка, кВт		240	400	560
КПД «брутто» котла, %		93,8	94,1	94,2
Число часов работы, час		74	184	406
Содержание $O_2$ в уходящих газах, %		13,4	12,5	9,3
Концентрация $CO$ , ppm	максимальная	28	34	52
	средняя	26	22	30
Концентрация $NO_x$ , ppm	максимальная	24	29	37
	средняя	20	26	23
Расчетные параметры				
Коэффициент избытка воздуха $\alpha$ , (1.3)		2,76	2,47	1,79
Фактический расход топлива (1.11), $m^3/c$		0,0076	0,0127	0,0177
Погребление топлива, тыс. $m^3$		2,03	8,40	25,93
Общее потребление топлива, тыс. $m^3$				36,37
Концентрация $CO$ , (1.4), мг/м <sup>3</sup>	максимальная	69,08	75,00	83,33
	средняя	64,14	48,53	48,08
Концентрация $NO_x$ , (1.4), мг/м <sup>3</sup>	максимальная	97,11	104,91	97,24
	средняя	80,92	94,06	60,45
Валовой выброс загрязняющих веществ				
Средневзвешенная концентрация $CO$ , (1.13), мг/м <sup>3</sup>		49,08		
Средневзвешенная концентрация $NO_x$ , (1.13), мг/м <sup>3</sup>		69,36		
Теоретический объем сухих дымовых газов $V_{dry}^{1,4}$ , таблица А.2[2], м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>		12,372		
Объем сухих дымовых газов $V_{dry}$ , (1.6), тыс. м <sup>3</sup> /мес		450		
Валовой выброс $CO$ , $M_{CO}^{re}$ , (1.12), т/мес		0,0221		
Валовой выброс $NO_x$ , $M_{NO_x}^{re}$ , (1.12), т/мес		0,0312		
С учетом трансформации азота оксидов в атмосферном воздухе, т/мес	$M_{NO_2}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,8$	0,0250		
	$M_{NO}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,13$	0,0041		
Расчет максимальных выбросов загрязняющих веществ				
Объем сухих дымовых газов $V_{dry}$ , (1.6), тыс. м <sup>3</sup> /с		0,219		
Максимальный выброс $CO$ , $M_{CO}^{re}$ , (1.1), г/с		0,018		
Максимальный выброс $NO_x$ , $M_{NO_x}^{re}$ , (1.1), г/с		0,021		
С учетом трансформации азота оксидов в атмосферном воздухе, г/с	$M_{NO_2}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,8$	0,0171		
	$M_{NO}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,13$	0,0028		

## Лабораторная работа №2

### Порядок определения выбросов загрязняющих веществ расчетными методами

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с основными видами твердого топлива.
2. Получить навыки оценки расчетными методами количества загрязняющих веществ.
3. Сопоставить результаты, полученные расчетным методом, с измеренными величинами (лабораторная работа №1).

#### Основные сведения

Расчетные методы применяются для двух случаев: 1) при сжигании жидкого и газообразного топлива; 2) при сжигании твердого топлива. Основными загрязняющими веществами, концентрация и количество которых оценивается, являются: оксид азота, оксид серы и углерод. Кроме того, при сжигании твердых видов топлива рассчитывается количество выбросов твердых частиц (зола). Рассмотрим отдельно методику расчета количества загрязняющих веществ по каждому виду загрязнителя. На основе расчетов может быть определено количество выбросов оксида азота отдельно при сжигании жидкого и газообразного топлива и отдельно при сжигании твердого топлива.

Максимальное количество оксидов азота  $M_{NO_x}$ , г/с, выбрасываемых в атмосферный воздух с дымовыми газами при сжигании жидкого и газообразного топлива, рассчитывается по формуле:

$$M_{NO_x} = B_s \cdot Q_i' \cdot K_{NO_x} \cdot \beta_k \cdot \beta_r \cdot \beta_s, \quad (2.1)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, определяемый в соответствии с (1.11), кг/с ( $m^3/c$ );  $Q_i'$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива МДж/ $m^3$ , при сжигании жидкого топлива МДж/кг;  $K_{NO_x}$  – удельный выброс азота оксидов, определяемый для паровых котлов в соответствии с (2.2) и (2.3), для водогрейных котлов в соответствии с (2.4) и (2.5), грамм на мегалджоуль (г/МДж);  $\beta_k$  – безразмерный коэффициент, учитывающий конструкцию горелки. При работе на жидком топливе и для всех дутьевых горелок напорного типа (то есть при наличии дутьевого вентилятора на котле)  $\beta_k = 1,0$ . Для горелок инжекционного типа  $\beta_k = 1,6$ . Для горелок двухступенчатого сжигания  $\beta_k = 0,7$ ;  $\beta_r$  – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, определяемый в соответствии с (2.7);  $\beta_r$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование азота оксидов. Значения коэффициента  $\beta_r$  приведены в таблице Б.2 (приложение Б) [2];  $\beta_s$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру. Значения коэффициента  $\beta_s$  приведены в таблице Б.2 (приложение Б).

Удельный выброс азота оксидов  $K_{NO_x}$ , г/МДж, для паровых котлов рассчитывается по формуле:

– при сжигании газообразного топлива

$$K_{NO_x} = 0,01 \cdot \sqrt{1,59 \cdot B_s \cdot Q'_i} + 0,03; \quad (2.2)$$

– при сжигании жидкого топлива

$$K_{NO_x} = 0,01 \cdot \sqrt{1,59 \cdot B_s \cdot Q'_i} + 0,09. \quad (2.3)$$

Удельный выброс азота оксидов  $K_{NO_x}$ , г/МДж, для водонагревательных котлов рассчитывается по формуле:

– при сжигании газообразного топлива

$$K_{NO_x} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,86 \cdot B_s \cdot Q'_i} + 0,03; \quad (2.4)$$

– при сжигании жидкого топлива

$$K_{NO_x} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,86 \cdot B_s \cdot Q'_i} + 0,09. \quad (2.5)$$

Расчетный расход топлива на работу котла  $B_s$ , кг/с ( $m^3/c$ ). При расчете максимальных выбросов определяется на максимальной нагрузке в соответствии с (1.10), при расчете валовых выбросов рассчитывается по формуле:

$$B_s = \frac{B'_s}{3,6 \cdot T}, \quad (2.6)$$

где  $B'_s$  – расчетный расход топлива, определяемый по формуле (1.10), т/год (тыс.  $m^3/год$ ) при  $B$  – фактическом расходе топлива за рассматриваемый период для работающих котлов или планируемом на перспективу расходе топлива для существующих, проектируемых, модернизируемых, реконструируемых котлов, т/год (тыс.  $m^3/год$ );  $T$  – общее количество часов работы котла за год на данном виде топлива.

Безразмерный коэффициент  $\beta_i$ , учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, рассчитывается по формуле:

$$\beta_i = 0,94 + 0,002 \cdot t_h, \quad (2.7)$$

где  $t_h$  – температура воздуха, подаваемого для горения, °С.

Валовой выброс азота оксидов  $M_{NO_x}$ , т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NO_x}^{re} = 10^{-3} \cdot B_s \cdot Q'_i \cdot K_{NO_x} \cdot \beta_k \cdot \beta_l \cdot \beta_r \cdot \beta_s. \quad (2.8)$$

В случае применения твердого топлива максимальное количество оксидов азота  $M_{NO_x}$ , г/с, выбрасываемых в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{NO_x} = B_s \cdot Q_i^T \cdot K_{NO_x}^T \cdot \beta_p, \quad (2.9)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, определяемый в соответствии с (1.10), кг/с;  $K_{NO_x}^T$  – удельный выброс азота оксидов при сжигании твердого топлива, определяемый в соответствии с (2.10), г/МДж;  $\beta_p$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование азота оксидов. Значения коэффициента  $\beta_p$  приведены в таблице Б.2 (приложение Б) [2].

Удельный выброс азота оксидов при слоевом сжигании твердого топлива  $K_{NO_x}^T$ , г/МДж, рассчитывается по формуле:

$$K_{NO_x}^T = 10^{-3} \cdot H_T \cdot \alpha_T \cdot \sqrt{B_s \cdot (Q_i^T)^3}, \quad (2.10)$$

где  $H_T$  – характеристика топлива, при сжигании различных топлив равна:

уголь	16,5
лигнин, торф	15,4
опилки, стружки, дрова	14,3
отходы древесные	13,2
костра, солома, сляксы	12,1

$\alpha_T$  – коэффициент избытка воздуха в топке, принимаемый для котлов мощностью:

до 0,3 МВт включительно	3,0
св. 0,3 до 2 МВт включительно	2,5
св. 2 до 10 МВт включительно	2,0
св. 10 до 25 МВт включительно	1,5

$B_s$  – расчетный расход топлива на работу котла, кг/с. При расчете максимальных выбросов определяется на максимальной нагрузке в соответствии с (1.10), при расчете валовых выбросов рассчитывается по формуле (2.6).

Суммарные выбросы азота оксидов следует разделять на составляющие, расчет которых проводится согласно формулам:

$$\begin{aligned} M_{NO_2} &= 0,8 \cdot M_{NO_x}; \\ M_{NO} &= 0,13 \cdot M_{NO_x}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Валовой выброс азота оксидов  $M_{NO_x}^{re}$ , т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами при сжигании твердого топлива, рассчитывается по формуле:

$$M_{NO_x}^{re} = 10^{-3} \cdot B_s \cdot Q_i \cdot K_{NO_x}^T \cdot \beta_p, \quad (2.12)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива, определяемый по формуле (1.10), т/год, при  $B$  – фактическом расходе топлива за рассматриваемый период для работающих котлов или планируемом на перспективу расходе топлива для существующих, проектируемых, модернизируемых, реконструируемых котлов, т/год.

Расчет выбросов серы диоксида при сжигании твердого и жидкого топлива производится аналогично, при этом следует отметить, что сжигании газообразного топлива выбросы серы диоксида для котлов мощностью до 25 МВт не превышают значений в пределах погрешности методик определения и поэтому не рассчитываются.

Максимальное количество серы диоксида  $M_{SO_2}$ , г/с, выбрасываемого в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}) \cdot 10^3, \quad (2.13)$$

где  $B$  – фактический расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с;  $S^r$  – максимальное содержание серы в рабочей массе топлива, %;  $\eta_{s1}$  – доля серы оксидов, связываемых летучей золой в котле. Значения  $\eta_{s1}$  при сжигании различных видов топлива приведены в Г.1 (приложение Г) [2];  $\eta_{s2}$  – доля серы оксидов, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц. Доля серы оксидов  $\eta_{s2}$ , улавливаемых в сухих золоуловителях, принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях эта доля зависит от общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива  $S^g$ . При характерных для эксплуатации удельных расходах воды на орошение золоуловителей 0,1-0,15  $\text{дм}^3/\text{м}^3$   $\eta_{s2}$  определяется по рисунку Г.2 (приложение Г) [2].

Валовой выброс серы диоксида  $M_{SO_2}^{re}$ , т/год, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{SO_2}^{re} = 0,02 \cdot B \cdot \bar{S}^r \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}), \quad (2.14)$$

где  $B$  – фактический расход топлива за рассматриваемый период для работающих котлов или планируемый на перспективу расход топлива для существующих, проектируемых, модернизируемых, реконструируемых котлов, т/год;  $\bar{S}^r$  – среднее содержание серы в рабочей массе топлива, %.

Максимальное количество углерода оксида  $M_{CO}$ , г/с, выбрасываемого в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{CO} = B_s \cdot q_3 \cdot R \cdot Q', \quad (2.15)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, определяемый в соответствии с (1.10), кг/с ( $m^3/c$ ); где  $q_3$  – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %, определяемые в соответствии со следующей таблицей:

Номинальная тепловая мощность котла, МВт	При сжигании газообразного топлива	При сжигании топлива жидкого	При сжигании твердого топлива
до 0,3 МВт включительно	0,11	0,4	0,9
св. 0,3 до 2 МВт включительно	0,09	0,3	0,7
св. 2 до 10 МВт включительно	0,07	0,2	0,5
св. 10 до 25 МВт включительно	0,05	0,1	0,3

$R$  – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания углерода оксида, принимается по таблице:

твердого топлива	1,0
жидкого топлива	0,65
газообразного топлива	0,5

Валовой выброс углерода оксида  $M_{CO}^{тс}$ , т/год, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{CO}^{тс} = 10^{-3} \cdot B_s \cdot q_3 \cdot R \cdot Q', \quad (2.16)$$

где  $B_s$  – расчетный расход топлива, т/год (тыс.  $m^3/год$ ), при  $B$  – фактическом расходе топлива за рассматриваемый период для работающих котлов или планируемом на перспективу расходе топлива для существующих, проектируемых, модернизируемых, реконструируемых котлов, т/год (тыс.  $m^3/год$ ).

Таким образом, рассчитав количество выбросов загрязняющих веществ, можно перейти к максимальной концентрации  $j$ -го загрязняющего вещества в сухих дымовых газах  $c_j$ , мг/ $m^3$ , которая рассчитывается по формуле:

$$c_j = \frac{M_j}{V_{dry}} \cdot 10^3, \quad (2.17)$$

где  $M_j$  – максимальное количество загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферный воздух с дымовыми газами, определяемое для оксидов азота, диоксида серы и оксида углерода, г/с;  $V_{dry}$  – объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании топлива, определяемый в соответствии с Лабораторной работой №1,  $m^3/c$ .

**Пример расчета.**

**Паровой котел мощностью 650 кВт на газообразном топливе в течение марта месяца работал следующим образом**

Параметры котла			
Нагрузка, кВт	240	400	560
КПД «брутто» котла, %	93,8	94,1	94,2
Число часов работы, час	74	184	406
Расчетные параметры			
Фактический расход топлива (1.11), м <sup>3</sup> /с	0,0076	0,0127	0,0177
Потребление топлива, тыс. м <sup>3</sup>	2,03	8,40	25,93
Общее потребление топлива, тыс. м <sup>3</sup>	36,37		
Расчет максимальных выбросов загрязняющих веществ			
Потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива $q_3$ , %	0,09		
Коэффициент $R$	0,5		
низшая рабочая теплота сгорания топлива $Q_i'$ , МДж/м <sup>3</sup>	33,51		
Максимальное количество оксида углерода $M_{CO}$ , г/с, формула (2.15)	0,0268		
Удельный выброс азота оксидов $K_{NO_x}$ , г/МДж, формула (2.2)	0,0397		
Максимальное количество оксидов азота $M_{NO_x}$ , г/с, формула (2.1)	0,0236		
С учетом трансформации азота оксидов в атмосферном воздухе, г/с, формула (2.11)	$M_{NO_2} = M_{NO_x} \cdot 0,8$	0,0189	
	$M_{NO} = M_{NO_x} \cdot 0,13$	0,0031	
Расчет валовых выбросов загрязняющих веществ			
Валовой выброс углерода оксида $M_{CO}^{re}$ , т/месяц, формула (2.16)	0,0548		
Расход топлива на средней за месяц нагрузке, $V_s$ , м <sup>3</sup> /с, формула (2.6)	0,0152		
Удельный выброс азота оксидов $K_{NO_x}$ , г/МДж, формула (2.2)	0,0390		
Валовой выброс оксидов азота $M_{NO_x}^{re}$ , т/месяц, формула (2.8)	0,0475		
С учетом трансформации оксидов азота в атмосферном воздухе, т/мес, формула (2.11)	$M_{NO_2}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,8$	0,0380	
	$M_{NO}^{re} = M_{NO_x}^{re} \cdot 0,13$	0,0062	

## Исходные данные

Измеренные параметры				
вариант 1				
Нагрузка, кВт		250	390	570
КПД «брутто» котла, %		94	95	96
Число часов работы, час		200	150	390
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13	12	9
Концентрация CO, ppm	максимальная	29	35	51
	средняя	27	23	29
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	25	30	36
	средняя	21	27	21
вариант 2				
Нагрузка, кВт		275	429	627
КПД «брутто» котла, %		85,5	86,4	87,3
Число часов работы, час		220	165	429
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		14,3	13,2	9,9
Концентрация CO, ppm		31,9	38,5	56,1
		29,7	25,3	31,9
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm		27,5	33	39,6
		23,1	29,7	23,1
вариант 3				
Нагрузка, кВт		262,5	409,5	598,5
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		210	158	410
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,65	12,6	9,45
Концентрация CO, ppm	максимальная	30,45	36,75	53,55
	средняя	28,35	24,15	30,45
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	26,25	31,5	37,8
	средняя	22,05	28,35	22,05
вариант 4				
Нагрузка, кВт		255	397,8	581,4
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		204	153	398
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,26	12,24	9,18
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	39	57
	средняя	30	26	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	28	34	40
	средняя	24	30	24
вариант 5				
Нагрузка, кВт		253	394	576
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		202	152	394
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,13	12,12	9,09
Концентрация CO, ppm	максимальная	32	39	57
	средняя	30	26	32
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	28	33	40
	средняя	23	30	23

## Продолжение

вариант 6				
Нагрузка, кВт		260	406	593
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		208	156	406
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,52	12,48	9,36
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	40	58
	средняя	31	26	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	29	34	41
	средняя	24	31	24
вариант 7				
Нагрузка, кВт		265	413	604
КПД «брутто» котла, %		94,9	95,9	96,9
Число часов работы, час		212	159	413
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,78	12,72	9,54
Концентрация CO, ppm	максимальная	34	41	59
	средняя	31	27	34
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	29	35	42
	средняя	24	31	24
вариант 8				
Нагрузка, кВт		268	417	610
КПД «брутто» котла, %		94,9	95,9	96,9
Число часов работы, час		214	161	417
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,91	12,84	9,63
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	40	58
	средняя	31	26	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	28	34	41
	средняя	24	31	24
вариант 9				
Нагрузка, кВт		258	402	587
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		206	155	402
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,39	12,36	9,27
Концентрация CO, ppm	максимальная	32	38	56
	средняя	29	25	32
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	27	33	39
	средняя	23	29	23
вариант 10				
Нагрузка, кВт		270	421	616
КПД «брутто» котла, %		94,9	95,9	96,9
Число часов работы, час		216	162	421
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		14,04	12,96	9,72
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	40	58
	средняя	31	26	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	29	34	41
	средняя	24	31	24

## Продолжение

вариант 11				
Нагрузка, кВт		263	410	599
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		210	158	410
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,65	12,6	9,45
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	40	59
	средняя	31	27	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	29	35	42
	средняя	24	31	24
вариант 12				
Нагрузка, кВт		275	429	627
КПД «брутто» котла, %		94,9	95,9	96,9
Число часов работы, час		220	165	429
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		14,3	13,2	9,9
Концентрация CO, ppm	максимальная	33	40	58
	средняя	31	26	33
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	28	34	41
	средняя	24	31	24
вариант 13				
Нагрузка, кВт		253	394	576
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		202	152	394
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		13,13	12,12	9,09
Концентрация CO, ppm	максимальная	32	39	57
	средняя	30	26	32
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	28	33	40
	средняя	23	30	23
вариант 14				
Нагрузка, кВт		243	378	553
КПД «брутто» котла, %		95,0	96,0	97,0
Число часов работы, час		194	146	378
Содержание O <sub>2</sub> в уходящих газах, %		12,61	11,64	8,73
Концентрация CO, ppm	максимальная	28	34	49
	средняя	26	22	28
Концентрация NO <sub>x</sub> , ppm	максимальная	24	29	35
	средняя	20	26	20

## Лабораторная работа №3

### Расчет выбросов вредных веществ механическими транспортными средствами

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с видами расчетных схем и видов выбросов вредных веществ при движении механических транспортных средств.
2. Выполнить расчет выбросов вредных веществ.

#### Основные сведения

Основным видом воздействия промышленных объектов на состояние воздушного бассейна является загрязнение атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ, которое происходит в результате поступления в него продуктов сгорания топлива, выбросов газообразных и взвешенных веществ от различных производств, выхлопных газов автомобильного транспорта, испарений из емкостей для хранения химических веществ и топлива, пыли из узлов погрузки, разгрузки и сортировки сыпучих строительных материалов, топлива, зерна и т.п.

Таким образом, автотранспортные предприятия или иные предприятия, имеющие на балансе автотранспортные средства, обязаны обеспечить выполнение экологических требований при их эксплуатации и ремонте. Экологические требования к автотранспорту, в первую очередь, включают его соответствие или несоответствие техническим нормативам выбросов вредных веществ в атмосферу, установленных соответствующими стандартами.

В реальных условиях эксплуатации техническое состояние автотранспорта и, следовательно, количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ зависит от множества объективных и субъективных факторов, основными из которых являются: тип, марка, год выпуска и пробег автомобиля; качество выполнения очередного технического обслуживания или ремонта, а также параметров текущего состояния автомобиля, определяемых квалификацией и ответственностью непосредственно обслуживающего или водительского персонала. Нормы и методы контроля выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами при оценке технического состояния автомобилей с бензиновыми двигателями.

Журналы ежедневного учета использования автотранспортных средств, ежедневного расхода горючего и пройденного километража необходимы для правильного расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду от эксплуатации автотранспортных средств. Журнал записи результатов проверок автомобилей с бензиновыми двигателями на соответствие экологическим требованиям и журнал учета измерений дымности при проверке автомобилей с дизельными двигателями ведется во исполнение требований ЗАКОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 16 декабря 2008 г. № 2-3 «Об охране атмосферного воздуха», согласно которому, транспортные средства, выбросы которых оказывают вредное воздействие на атмосферный воздух, подлежат регулярной проверке на соответствие таких выбросов техническим нормативам выбросов.

В соответствии со способом расчета вредных веществ выделяются их четыре группы, которые представлены в таблицах 3.1-3.4 [4]. Группа 1: Вещества, выбросы которых определяются различными режимами движения МТС.

Таблица 3.1 – Вещества группы 1

Наименование вещества	Эквивалент
Оксид углерода	CO
Оксиды азота	NO <sub>x</sub>
Твердые частицы	PM
Летучие органические соединения (ЛОС)	VOC
в том числе:	
Метан	CH <sub>4</sub>
Не-метановые летучие органические соединения (НМЛОС)	NMVOС

Группа 2: Вещества, выбросы которых зависят от потребления топлива МТС и определяются как доля потребления топлива.

Таблица 3.2 – Вещества группы 2

Наименование вещества	Эквивалент
Диоксид углерода	CO <sub>2</sub>
Диоксид серы	SO <sub>2</sub>
Кадмий	Cd
Хром	Cr
Медь	Cu
Никель	Ni
Селен	Se
Цинк	Zn

Группа 3: Вещества, выбросы которых определяются в зависимости от пробега МТС.

Таблица 3.3 – Вещества группы 3

Наименование вещества	Эквивалент
Аммиак	NH <sub>3</sub>
Закись азота	N <sub>2</sub> O
Полиароматические углеводороды и стойкие органические соединения	Бензо(а)пирен Индено(1,2,3-сd)пирен Бензо(к)флюорантен Бензо(б)флюорантен Безо(ghi)перилен Флюорантен
Полхлорированные дибензо-диоксины и полхлорированные дибензо-фураны	Диоксины Фураны

Группа 4: Детализированные не-метановые летучие органические соединения, которые определяются как доля общего выброса не-метановых летучих органических соединений НМЛОС.

Таблица 3.4 – Вещества группы 4

Наименование вещества	Эквивалент
Алканы ( $C_nH_{2n+2}$ )	Алканы
Алкены ( $C_nH_{2n}$ )	Алкены
Алкины ( $C_nH_{2n-2}$ )	Алкины
Альдегиды ( $C_nH_{2n}O$ )	Альдегиды
Кетоны ( $C_nH_{2n}O$ )	Кетоны
Циклоалканы ( $C_nH_{2n}$ )	Циклоалканы
Ароматические углеводороды ( $C_nH_{2n-2}$ )	Ароматические углеводороды

При расчете выбросов загрязняющих веществ используются три градации МТС (механическое транспортное средство; МТС транспортное средство, приводимое в движение двигателем), классифицируемые согласно ГОСТ 31286 и используемому виду топлива, которые представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Классификация механических транспортных средств

Классификация по ГОСТ 31286	Тип транспортного средства	Вид топлива, потребляемого двигателем внутреннего сгорания	Принятые обозначения
L <sub>3</sub> , L <sub>4</sub> , L <sub>5</sub>	Мотоциклы	бензин	М
M <sub>1</sub>	Легковые автомобили	бензин, газ	ЛБ
		дизельное топливо	ЛД
N <sub>1</sub> , M <sub>2</sub>	Грузовые автомобили до 3,5 тонн Автобусы до 5 тонн	бензин, газ	ГАБ
		дизельное топливо	ГАД
N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	Грузовые автомобили св 3,5 тонн	дизельное топливо	ГД
M <sub>3</sub> класс А	Автобусы городские и сочлененные	дизельное топливо	АГ
M <sub>3</sub> класс В	Автобусы междугородные и дальнего следования	дизельное топливо	АМ

При расчете выбросов загрязняющих веществ используются три градации МТС согласно таблицам 3.6-3.8.

Градация МТС-1 приведена в таблице 3.6 и используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на основе данных натуральных обследований транспортного потока.

Градация МТС-2 приведена в таблице 3.7 и используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на основе данных прогнозируемой транспортной нагрузки.

Градация МТС-3 приведена в таблице 3.8 и используется при расчете выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в случае отсутствия данных о структуре транспортного потока либо при автоматизированном сборе данных при помощи детекторов транспорта.

Таблица 3.6 – Градация МТС-1

Состав транспортных средств	Доля $\Delta_m$ , %	Расчетная модель в соответствии с таблицей 3.5
Мотоциклы	100	М
Легковые автомобили	80	ЛБ
	20	ЛД
Грузовые автомобили до 3,5 тонн	40	ГАБ
	60	ГАД
Грузовые автомобили св. 3,5 тонн	100	ГД
Автобусы городские и сочлененные	100	АГ
Автобусы до 5 тонн	40	ГАБ
	60	ГАД
Автобусы междугородные и дальнего следования	100	АМ

Таблица 3.7 – Градация МТС-2

Состав транспортных средств	Доля $\Delta_m$ , %	Расчетная модель в соответствии с таблицей 3.5
Легковые автомобили	1	М
	79	ЛБ
	20	ЛД
Грузовые автомобили	35	ГАБ
	55	ГАД
	10	ГД
Автобусы	40	АГ
	25	ГАБ
	25	ГАД
	10	АМ

Таблица 3.8 – Градация МТС-3

Состав транспортных средств	Доля $\Delta_m$ , %	Расчетная модель в соответствии с таблицей 3.5
Легковые автомобили	1	М
	79	ЛБ
	20	ЛД
Остальные МТС	28	ГАБ
	44	ГАД
	8	ГД
	16	АГ
	4	АМ

Для расчетов выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов используются следующие параметры дорожного движения: объем движения МТС, скорость движения транспортного потока, длина участка УДС, количество остановок транспортного потока, количество задержек транспортного потока. Определение параметров дорожного движения может производиться любым известным натурным или расчетным способом, при этом применение методик определения этих параметров должно быть обосновано для обеспечения заданной точности и репрезентативности.

При наличии различных условий движения должны быть выделены отдельные (частные) однородные транспортные потоки и их состояния, отдельные участки УДС (улично-дорожная сеть) в соответствии с различиями в скоростном режиме, ограничениями ОДД (организация дорожного движения), режимами и схемами светофорного регулирования, уровнем транспортной нагрузки, временем суток и др. Параметры дорожного движения должны определяться для каждого транспортного потока и состояния, участка УДС отдельно с учетом их взаимодействия.

Объем движения МТС  $O_j$ , авт. (автомобилей) определяется как количество МТС  $j$ -типа, прошедших заданный участок УДС за расчетный период по результатам натурных обследований, измерений детекторами транспорта, прогноза расчетными моделями и др. с учетом суточной, недельной, сезонной неравномерности либо рассчитывается по формуле:

$$O_j = \Delta_m \cdot (\Delta_j \cdot Q \cdot T), \quad (3.1)$$

где  $\Delta_m$  – доля МТС данной расчетной модели в соответствии с принятой градацией (МТС-1 либо МТС-2, либо МТС-3, таблицы 3.6, 3.7, 3.8 соответственно), %;  $\Delta_j$  – доля МТС  $j$ -го типа в составе транспортного потока, %;  $Q$  – средняя расчетная интенсивность движения (часовая), авт./ч (автомобилей в час), определяемая на основе [3] либо другими обоснованными способами. При определении максимально разовых выбросов (грамм в секунду) в качестве средней счетной интенсивности выбирается максимальная интенсивность движения в самый неблагоприятный момент времени, скорректированная в соответствии с таблицей А.5 [4];  $T$  – расчетный фонд времени, ч, определяемый как количество часов за расчетный период с условиями транспортной нагрузки, соответствующими средней расчетной интенсивности движения. При определении максимально разовых выбросов (грамм в секунду) в качестве расчетного фонда времени используется значение  $0,278 \cdot 10^{-3}$

Скорость движения  $V$  определяется как скорость сообщения соответствующего транспортного потока на всем протяжении участка УДС и определяется как средняя скорость сообщения по результатам измерений ходовой лаборатории (проезда участка УДС в режиме «плавающего» в потоке автомобиля), измерения времени проезда участка УДС участниками движения, анализа импульса интенсивности, прогноза расчетными моделями и другими способами, обеспечивающими точность  $\pm 2,5$  км/ч.

Длина участка УДС  $L$  определяется по траектории движения соответствующего транспортного потока по геоподоснове, чертежам архитектурно-строительных проектов, проектов ОДД, методами анализа фото- и видеоизображений (фотограммометрии), натурального измерения расстояний и другими способами, обеспечивающими точность  $\pm 10$  метров.

Удельное количество остановок  $S$  определяется как количество зафиксированных остановок (торможений-разгонов) транспортных средств соответствующего транспортного потока, отнесенное к общему количеству прошедших транспортных средств соответствующего транспортного потока.

Количество остановок может быть получено по результатам натурного обследования, анализа видеозаписи, анализа очереди и импульса интенсивности, прогноза расчетными моделями и другими способами, обеспечивающими точность  $\pm 15\%$ .

Удельная задержка  $D$  определяется как время нахождения транспортных средств соответствующего транспортного потока в неподвижном состоянии («на холостом ходу»), отнесенное к общему количеству прошедших транспортных средств соответствующего транспортного потока. Задержки могут быть получены по результатам натурного измерения времени задержки, анализа видеозаписи, анализа очереди и импульса интенсивности, прогноза расчетными моделями и другими способами, обеспечивающими точность  $\pm 15\%$ .

При определении задержки и количества остановок, они должны быть привязаны к источникам-причинам задержки (светофорное регулирование, затор, конфликты, стоп- линии, конфликтные точки и зоны и др.).

Выбросы веществ группы 1  $E_i^1$ , г, определяются как сумма выбросов при движении транспортного потока, при остановке (торможении-разгоне) и задержке (работе на холостом ходу) и рассчитываются по формуле:

$$E_i^1 = (E_i^m + E_i^s + E_i^d) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (3.2)$$

где  $E_i^m$  – выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при движении транспортного потока, г, определяемые по формуле (3.3);  $E_i^s$  – выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при остановке (торможении-разгоне), г, определяемые по формуле (3.4);  $E_i^d$  – выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при задержке движения (работе на холостом ходу), г, определяемые по формуле (3.5);  $K_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий долю в транспортном потоке МТС расчетных моделей ЛБ и ЛД с холодным (неразогретым) двигателем, определяется по таблице А.7 [4];  $K_2$  – поправочный коэффициент, учитывающий продольный уклон проезжей части, определяется по таблице А.8 [4];  $K_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий состояние покрытия проезжей части (1 – хорошее, 1,05 – удовлетворительное, 1,10 – неудовлетворительное).

Выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при движении транспортного потока  $E_i^m$ , г, рассчитываются по формуле:

$$E_i^m = \sum_{j=1}^n q_{ij}^m \cdot L \cdot O_j, \quad (3.3)$$

где  $q_{ij}^m$  – удельные выбросы  $i$ -го вещества при движении  $j$ -го типа МТС в зависимости от скорости движения  $V$ , г/авт.км (грамм на один автомобиль на один километр), определяются по таблице А.1 [4];  $V$  – скорость транспортного потока, км/ч;  $L$  – длина участка УДС, км;  $O_j$  – объем движения  $j$ -типа МТС;  $n$  – количество типов МТС, определяемое в зависимости от принимаемой градации в соответствии с таблицей 3.5.

Выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при остановке (торможении-разгоне) транспортного потока  $E_i^s$ , г, рассчитываются по формуле:

$$E_i^s = \sum_{j=1}^n q_{ij}^s \cdot S \cdot K \cdot O_j, \quad (3.4)$$

где  $q_{ij}^s$  – удельные выбросы  $i$ -го вещества при остановке (торможении-разгоне)  $j$ -го типа МТС, г/ост. (грамм на одну остановку), определяются по таблице А.2 [4];  $S$  – удельное количество остановок транспортного потока, ост./авт. (остановок на один автомобиль);  $K$  – коэффициент коррекции выбросов в зависимости от скорости движения транспортного потока, определяется по таблице А.3 [4].

Выбросы  $i$ -го вещества в атмосферный воздух при задержке движения (работе на холостом ходу),  $E_i^d$ , г, рассчитываются по формуле:

$$E_i^d = \sum_{j=1}^n q_{ij}^d \cdot D \cdot O_j, \quad (3.5)$$

где  $q_{ij}^d$  – удельные выбросы  $i$ -го вещества при задержке  $j$ -го типа МТС, г/мин (грамм в минуту), определяются по таблице А.4 [4];  $D$  – удельная задержка транспортного потока, мин/авт. (минут на один автомобиль).

Выбросы летучих органических соединений (ЛОС), рассчитанные в соответствии с (3.2), корректируются с учетом испарения топлива из топливной системы вне процесса сгорания только для расчетной модели ЛБ по формуле:

$$E_{\Delta FOC}^1 = E_{FOC}^1 + E_{bv}, \quad (3.6)$$

где  $E_{\Delta FOC}^1$  – выбросы летучих органических соединений (ЛОС), скорректированные с учетом испарения топлива из топливной системы вне процесса сгорания, г;  $E_{FOC}^1$  – выбросы летучих органических соединений (ЛОС), рассчитанные в соответствии с (3.2), г;  $E_{bv}$  – выброс летучих органических соединений (ЛОС) для расчетной модели ЛБ при испарении из топливной системы вне процесса сгорания, г, определяемый по формуле, г:

$$E_{bv} = q_v \cdot L \cdot O_j + N_p \cdot q_p \cdot T + N_o \cdot q_o \cdot T, \quad (3.7)$$

где  $q_v$  – выброс летучих органических соединений (ЛОС) при испарении из топливной системы при движении МТС, г/авт. км, определяется по таблице А.6 [4];  $L$  – длина участка УДС, км;  $O_j$  – объем движения  $j$ -типа транспортного средства, авт.;  $N_p$  – среднее количество МТС на стоянке, авт.;  $q_p$  – удельный выброс летучих органических соединений (ЛОС) при испарении из топливного бака при стоянке МТС из-за суточного колебания температур, г/(сут.авт.) (грамм в сутки на один автомобиль), определяется по таблице А.6 [4];  $N_o$  – среднее количество постановок на стоянку МТС, авт.;  $q_o$  – удельный выброс летучих органических соединений (ЛОС) при остывании МТС, г/(сут.авт.), определяется по таблице А.6 [4];  $T$  – продолжительность расчетного периода, сут.

Выбросы не-метановых летучих органических соединений (НМЛОС) определяются как разница между выбросами летучих органических соединений (ЛОС) и выбросами метана.

Выбросы веществ группы 2  $E_i^2$ , г, определяются как доля от потребленного топлива при движении транспортного потока, при остановке (торможении-разгоне) и задержке (работе на холостом ходу) и рассчитываются по формуле

$$E_i^2 = 10^{-3} \cdot \sum_{j=1}^n q_{ij}^2 \cdot (F_j^m + F_j^s + F_j^d) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (3.8)$$

где  $q_{ij}^2$  – удельное содержание  $i$ -го вещества группы 2 в продуктах сгорания топлива, г/кг (грамм на килограмм топлива), определяется по таблице Б.1 [4];  $F_j^m$  – потребленное топливо при движении транспортного потока;  $F_j^s$  – потребленное топливо при остановке (торможении-разгоне) транспортного потока;  $F_j^d$  – потребленное топливо при задержке (работе на холостом ходу), транспортного потока.

Выбросы веществ группы 3  $E_i^3$ , г, определяются в зависимости от пробега МТС и рассчитываются по формуле:

$$E_i^3 = \sum_{j=1}^n q_{ij}^3 \cdot L \cdot O_j, \quad (3.9)$$

где  $q_{ij}^3$  – удельные выбросы  $i$ -го вещества группы 3 при пробеге  $j$ -го типа МТС, г/авт.км, определяются по таблице В.1 [4];  $L$  – длина участка УДС, км.

Выбросы веществ группы 4  $E_i^4$ , г, определяются как доли от выброса не-метановых летучих органических соединения (НМЛОС).

При проведении оценки составляется отчет, который содержит:

- обстоятельства проведения расчета (цель, объект, основания);
- время проведения расчета, временные рамки анализа;
- структура объектов УДС, транспортных потоков и их состояний;
- исходные данные для расчета (перечень, источник);
- результаты расчета с необходимыми расчетными и графическими материалами, ссылками на используемые методы измерений;
- заключение о результатах;
- сведения об исполнителе расчета.

#### Пример расчета.

Определить количество выбросов загрязняющих веществ на участке проектируемой дороги длиной 30 км, с 2 остановками, от легковых транспортных средств (ЛБ 50 авто. и ЛД 40 авто.) по первой группе загрязняющих веществ. При этом скорость движения на участке – 60 км/ч. Расчет ЛОС выполнить без учета испарения топлива. Расчетный период – май. Продольный уклон проезжей части – 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Таблица 3.9 – Расчет первой группы загрязняющих веществ

Удельные выбросы i-го вещества при движении j-го типа МТС, г/авт.км	СО	NO <sub>x</sub>	PM	VOC
ЛБ	6,3	2,53	0	1,1
ЛД	0,52	0,44	0,14	0,1
Выбросы при движении транспортного потока $E_i^m$ , г				
ЛБ	9450	3795	0	1650
ЛД	624	528	168	120
Удельные выбросы i-го вещества при остановке, г/ост				
ЛБ	3,4	0,5	0	0,7
ЛД	1,0	0,25	0,1	0,35
Поправочный коэффициент				
				1,28
Выбросы при остановке транспортного потока $E_i^s$ , г				
ЛБ	8,704	1,28	0	1,792
ЛД	2,56	0,64	0,256	0,896
Поправочный коэффициент, учитывающий долю в транспортном потоке МТС расчетных моделей ЛБ и ЛД с холодным (неразогретым) двигателем				
ЛБ	1,26	1,01	0	1,17
ЛД	1,09	1,02	1,12	1,12
Выбросы веществ группы 1 $E_i^1$ , г	15247	6254	228	2502

Исходные данные

Объем движения МТС, авто/мес	Вариант													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ЛБ	54	58,5	63	67,5	72	76,5	81	85,5	90	94,5	99	103,5	108	112,5
ЛД	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
Длина участка, км	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
Расчетный месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
Количество остановок, шт	2	3	4	6	9	5	3	8	12	7	12	3	5	0
Уклон, процентов	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Расчетная скорость, км/ч	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50

## Лабораторная работа №4

### Расчет выбросов вредных веществ от животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с видами загрязняющих веществ, образующимися при функционировании животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик.
2. Выполнить расчет выбросов метана и аммиака (максимальный и валовой).

#### Основные сведения

На основе расчетов устанавливают количество валовых и массовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик на основе удельных показателей выделения с учетом норм кормления, обеспечения плановой продуктивности, технологии и условий содержания сельскохозяйственных животных, пушных зверей, домашней птицы.

Результаты расчета величин выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух используются при:

- инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, установлении нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и технологических нормативов;
- исчислении и уплате налога за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- оценке воздействия на окружающую среду и проведении государственной экологической экспертизы;
- разработке проектной документации на строительство, реконструкцию, расширение, техническое перевооружение, модернизацию, изменение профиля производства, ликвидацию объектов и комплексов;
- ведении учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- иных мероприятиях по охране атмосферного воздуха, предусмотренных законодательством Республики Беларусь.

При расчете выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух учету подлежат выбросы загрязняющих веществ, указанных в таблице А.1 [5].

Наименование и коды загрязняющих веществ даны в соответствии с [1].

Удельные показатели выбросов и правила расчета выбросов загрязняющих веществ от сельскохозяйственных животных, пушных зверей, домашней птицы приняты с учетом [6; 7].

В случаях, когда на конкретном проектируемом животноводческом комплексе, звероферме, птицефабрике применяются технологии и (или) материалы, сведения о которых в [5] отсутствуют, для оценки выбросов допускается использовать значения удельных выделений загрязняющих веществ, полученных при помощи инструментальных методов или технологических нормативов, установленных для действующего производства (объекта, комплекса) с аналогичными технологиями содержания и рационом кормления.

Выбросы загрязняющих веществ от различных технологических операций технологического процесса содержания, выращивания, откорма и воспроизводства сельскохозяйственных животных, пушных зверей и домашней птицы рассчитываются как сумма выбросов от каждого источника выделений. Расчет количества выбросов загрязняющих веществ из различных источников выделения осуществляются на основании:

- фактических характеристик применяемых технологий содержания, выращивания, откорма и воспроизводства;
- характеристик используемых процессов уборки, хранения и использования навоза;
- параметров работы технологического оборудования;
- параметров используемых методов внесения навоза в почву;
- технологических нормативов выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух для каждого вида (технологической группы) сельскохозяйственных животных, пушных зверей и домашней птицы.

Значения параметров, входящих в формулы расчета, принимаются в соответствии с утвержденными в установленном порядке регламентами производства работ.

Расчет выбросов загрязняющих веществ от каждого  $i$ -го вида (технологической группы) сельскохозяйственного животного, пушного зверя, птицы производится для единицы измерения тонна в год.

Валовые выбросы загрязняющих веществ рассчитываются как сумма выбросов от всех видов (технологических групп) сельскохозяйственных животных, пушных зверей, домашней птицы, находящихся на учете данного животноводческого комплекса, зверофермы, птицефабрики. При расчете валовых выбросов используется размерность тонн в год, и для расчета выбросов за рассматриваемый период в формулы необходимо подставлять значения параметров за данный период.

Максимальный выброс каждого загрязняющего вещества рассчитывается как среднее значение выброса загрязняющего вещества, исходя из значения валового выброса и продолжительности технологического процесса. При этом для расчета максимального выброса аммиака и метана от сельскохозяйственных животных используются процессы их стойлового содержания и не учитываются процессы выпаса и пастбищного содержания (то есть для расчета максимального выброса аммиака и метана от сельскохозяйственных животных используется валовой выброс, рассчитанный исходя из фактического времени их содержания в помещении).

Валовой выброс  $j$ -го вещества на различных этапах технологического процесса содержания, выращивания, откорма и воспроизводства сельскохозяйственных животных, пушных зверей, домашней птицы  $M_j^{тс}$ , т/год, (кл./год для микроорганизмов), рассчитывается по формуле:

$$M_j^{тс} = \sum_{i=1}^n G_j^i, \quad (4.1)$$

где  $i$  – вид (технологическая группа) сельскохозяйственного животного;  $G_j^i$  – валовой выброс  $j$ -го вещества от  $i$ -го вида (технологической группы) сельскохозяй-

зйственнoгo живoтнoгo, т/гoд (кл./гoд для микрoргaнизмoв), oпpeдeляeмый для аммиакa в сooтвeтствии с (4.3), (4.4), для метaнa – в сooтвeтствии с (4.5), для закиси азoтa в сooтвeтствии, сeрoвoдoрoдa, мeтилaминa, фeнoлa, мeтaнoлa, пpoпиoнaльдегидa, гeксaнoвoй кислoтy, димeтилсyльфидa, этилфoрмиaтa, пыли мeхoвoй, микрoргaнизмoв aнaлoгичнo.

Максимальный выброс  $j$ -гo вeщeствa нa рaзличных eтaпax тeхнoлoгичeскoгo пpoцeссa сoдeржaния, вpащивaния, oткoрмa и вoспpoизвoдствa сeльскoхoзйствeнных живoтных, пушных звeрeй, дoмaшнeй птицы  $M_j$ , г/с (кл./с для микрoргaнизмoв), рaссчитывaeтся пo фoрмyлe:

$$M_j = \frac{10^6 \cdot M_j^r}{3600 \cdot \tau} = \frac{38,05 \cdot M_j^e}{1200}, \quad (4.2)$$

гдe  $10^6/3600$  – кoэффициeнт пeрeсчeтa из т/ч в г/с при рaсчeтe выбрoсoв аммиакa и мeтaнa oт сeльскoхoзйствeнных живoтных при стoйлoвoм сoдeржaнии;  $\tau$  – пpoдoлжитeльнoсть тeхнoлoгичeскoгo пpoцeссa при рaсчeтe выбрoсoв аммиакa и мeтaнa oт сeльскoхoзйствeнных живoтных при их стoйлoвoм сoдeржaнии, ч/гoд;  $M_j^r$  – вaлoвoй выбрoс аммиакa или мeтaнa при стoйлoвoм сoдeржaнии сeльскoхoзйствeнных живoтных, т/гoд; 38,05 – кoэффициeнт пeрeсчeтa из т/гoд в г/с при рaсчeтe выбрoсoв oт сeльскoхoзйствeнных живoтных при пpoцeссax вьпaсa и пaстбишнoгo сoдeржaния, oт пушных звeрeй и дoмaшних птиц;  $M_j^e$  – вaлoвoй выбрoс  $j$ -гo вeщeствa нa рaзличных eтaпax тeхнoлoгичeскoгo пpoцeссa сoдeржaния, вpащивaния, oткoрмa и вoспpoизвoдствa сeльскoхoзйствeнных живoтных, пушных звeрeй, дoмaшнeй птицы, т/гoд.

Вaлoвoй выбрoс аммиакa нa рaзличных eтaпax тeхнoлoгичeскoгo пpoцeссa сoдeржaния, вpащивaния, oткoрмa и вoспpoизвoдствa  $i$ -гo видa (тeхнoлoгичeскoй гpyппы) сeльскoхoзйствeннoгo живoтнoгo (кpoмe свинeй), пушнoгo звeря, дoмaшнeй птицы  $G_{NH_3}^i$ , т/гoд, рaссчитывaeтся пo фoрмyлe:

$$G_{NH_3}^i = 10^{-3} \cdot \left( K_{N_1} + 0,7 \cdot K_{N_2} + 0,4 \cdot K_{N_3} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \left( q_{NH_3}^{iu} + q_{NH_3}^{ib} + q_{NH_3}^{ic} + q_{NH_3}^{im} \cdot K^{mm} \right), \quad (4.3)$$

гдe  $K_{N_1}$ ,  $K_{N_2}$ ,  $K_{N_3}$  – кoличeствo сeльскoхoзйствeнных живoтных (кpoмe свинeй), звeрeй сooтвeтствyющeй гpaдaции (вoзрaстa), yчaствyющих в дaннoм тeхнoлoгичeскoм пpoцeссe, гoлoв. Гpaдaции сeльскoхoзйствeнных живoтных (кpoмe свинeй), звeрeй  $N_1^i$ ,  $N_2^i$ ,  $N_3^i$  oпpeдeляeтcя пo тaблицe A.3 [5];  $q_{NH_3}^{iu}$  – yдeльный вьдeлeниe аммиакa oт  $i$ -гo видa (тeхнoлoгичeскoй гpyппы) сeльскoхoзйствeннoгo живoтнoгo (кpoмe свинeй), пушнoгo звeря при пpoцeссax их *вьпaсывaния и oткoрмa* в тeчeниe гoдa, кг/(гoд·гoл.), oпpeдeляeмoe в зaвисимoсти oт нaличия дaнных o систeмe их сoдeржaния пo тaблицaм Б.1, Б.2 [5];  $q_{NH_3}^{ib}$  – yдeльные вьдeлeния oт  $i$ -гo видa (тeхнoлoгичeскoй гpyппы) сeльскoхoзйствeннoгo живoтнoгo (кpoмe свинeй), пушнoгo звeря при пpoцeссax их *сoдeржaния в зaгoнe, нa вьгyльнo-кoрмoвoй плoщaдкe* в тeчeниe гoдa, кг/(гoд·гoл.), oпpeдeляeмoe пo тaблицe Б.1 [5];  $q_{NH_3}^{ic}$  – yдeльные вьдeлeния oт  $i$ -гo видa (тeхнoлoгичeскoй гpyппы) сeльскoхoзйствeннoгo живoтнoгo (кpoмe свинeй), пушнoгo

зверя при процессах их *содержания на пастбище, выпаса* в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.1 [5];  $q_{NH_3}^{mn}$  – удельное выделение аммиака при процессе уборки, хранения и использования навоза в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.1 [5];  $K^{mn}$  – коэффициент снижения удельных выделений аммиака при процессах уборки, хранения и внесения навоза в почву, рассчитывается как произведение коэффициента хранения навоза (таблица Б.4 [5]) и коэффициента внесения навоза в почву (таблица Б.3 [5]), при отсутствии данных принимается равным 0,24.

Валовой выброс аммиака на различных этапах технологического процесса содержания, выращивания, откорма и воспроизводства  $i$ -го вида (технологической группы) свиней, домашней птицы  $G_{NH_3}^i$ , т/год, рассчитывается по формуле:

$$G_{NH_3}^i = 10^{-3} \cdot \left( K_{N_1^i} \cdot (q_{NH_3}^{N_1ia} + q_{NH_3}^{N_1ib} + q_{NH_3}^{N_1imn} \cdot K^{mn}) + K_{N_2^i} \cdot (q_{NH_3}^{N_2ia} + q_{NH_3}^{N_2ib} + q_{NH_3}^{N_2imn} \cdot K^{mn}) + K_{N_3^i} \cdot (q_{NH_3}^{N_3ia} + q_{NH_3}^{N_3ib} + q_{NH_3}^{N_3imn} \cdot K^{mn}) \right), \quad (4.4)$$

где  $K_{N_1^i}$ ,  $K_{N_2^i}$ ,  $K_{N_3^i}$  – количество свиней, птиц соответствующей градации (возраста), участвующих в данном технологическом процессе, голов. Градации свиней, птиц  $N_1^i$ ,  $N_2^i$ ,  $N_3^i$  определяются по таблице А.3 [5];  $q_{NH_3}^{N_jia}$  – удельное выделение аммиака от  $i$ -го вида (технологической группы) свиней, домашней птицы для градации животных  $N_j$  при процессах их *выращивании и откорме* в течение года, кг/(год·гол.), определяемое в зависимости от наличия данных о системе их содержания по таблицам Б.1, Б.2 [5];  $q_{NH_3}^{N_jib}$  – удельные выделения от  $i$ -го вида (технологической группы) свиней, домашней птицы для градации животных  $N_j$  при процессах их *содержания в загоне, на выгульно-кормовой площадке* в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.1 [5];  $q_{NH_3}^{N_jimn}$  – удельное выделение аммиака при процессе уборки, хранения и использования навоза для градации животных  $N_j$  в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.1 [5];  $K^{mn}$  – коэффициент снижения удельных выделений аммиака при процессах уборки, хранения и внесения навоза в почву, для свиней рассчитывается как произведение коэффициента хранения навоза (таблица Б.4 [5]) и коэффициента внесения навоза в почву (таблица Б.3 [5]), при отсутствии данных принимается равным 0,24, для домашней птицы определяется по таблице Б.3 [5], при отсутствии данных принимается равным 0,3.

Валовой выброс метана на различных этапах технологического процесса содержания, выращивания, откорма и воспроизводства  $i$ -го вида (технологической группы) сельскохозяйственного животного, пушного зверя, домашней птицы  $G_{CH_4}^i$ , т/год, рассчитывается по формуле:

$$G_{CH_4}^i = 10^{-3} \cdot (K_{N_1^i} + 0,7 \cdot K_{N_2^i} + 0,4 \cdot K_{N_3^i}) \cdot (q_{CH_4}^i + q_{CH_4}^{2i}), \quad (4.5)$$

где  $K_{N_1^i}$ ,  $K_{N_2^i}$ ,  $K_{N_3^i}$  – количество животных, зверей, птиц соответствующего возраста, участвующих в данном технологическом процессе, гол. Градации живот-

ных, зверей, птиц  $N_1^i, N_2^i, N_3^i$  определяются по таблице А.3 [5];  $q_{CH_4}^i$  – удельное выделение метана непосредственно от  $i$ -го вида (технологической группы) сельскохозяйственного животного, пушного зверя, домашней птицы при процессах *внутренней ферментации* в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.5 [5];  $q_{CH_4}^{2i}$  – удельное выделение метана непосредственно от  $i$ -го вида (технологической группы) сельскохозяйственного животного, пушного зверя, домашней птицы при процессах *уборки, хранения и использования навоза в течение расчетного периода времени*, в течение года, кг/(год·гол.), определяемое по таблице Б.5 [5].

С использованием аналогичных подходов вычисляются выбросы закиси азота, сероводорода, метиламина, фенола, метанола, пропиональдегида, гексановой кислоты, диметилсульфида, этилформиата, пыли меховой, микроорганизмов на различных этапах технологического процесса.

### Пример расчета.

На животноводческом комплексе Гродненской области содержат: 2300 голов крупного рогатого скота, 450 телок до 1 года, которые содержатся круглый год в помещении на желобчатом полу, 1200 телок от 1 до 2 лет осемененных, 650 коров мясного и молочного направления на откорме и нагуле, которые с сентября по март содержатся в помещении на желобчатом полу, с апреля по август находятся на выпасе. Навоз компостируется в буртах, для внесения в почву используется инжекторная заделка в открытые борозды. Также 5400 голов свиней, из которых 1300 поросят в возрасте до 4 месяцев, они содержатся на частично решетчатом полу с ямой для навоза и каналом для смыва водой, 1700 свинок старше 4 месяцев, 1200 основных свиноматок, 1200 проверяемых свиноматок, которые содержатся в группе на частично решетчатом полу со смывными каналами без аэрации. Навоз хранится в открытых бетонных навозохранилищах с применением несложных технологий (солома, торф). Для внесения в почву используется инжекторная заделка в открытые борозды.

Валовой выброс аммиака рассчитывается по формулам (4.3) и (4.4).

### Для крупного рогатого скота.

Для животных  $K_{N_1}$  и  $K_{N_2}$  удельное выделение аммиака складывается из удельного выделения аммиака от животных в помещении, при содержании их на желобчатом полу (таблица Б.2 [5]), и удельных выделений от животных на пастбище, выпасе, в загоне, на выгульно-кормовой площадке (таблица Б.1 [5]). Удельное выделение аммиака равно  $4,2+1,9+2,0=8,1$  кг/(год·гол.).

Для животных  $K_{N_3}$  удельное выделение аммиака равно удельному выделению аммиака от животных в помещении при содержании их круглый год на желобчатом полу (таблица Б.2 [5]) и составляет  $4,2$  кг/(год·гол.)

Удельное выделение аммиака  $q_{NH_3}^{***}$  для животных  $K_{N_1}$ ,  $K_{N_2}$ ,  $K_{N_3}$  по таблице Б.1 [5] равно  $6,0$  кг/(год·гол.); коэффициент снижения удельного выделения  $K^{***}$  рассчитывается как произведение коэффициента снижения выбросов аммиака в зависимости от способа хранения навоза (таблица Б.4 [5]) и коэффици-

ента снижения выбросов аммиака в зависимости от метода внесения навоза в почву (таблица Б.3 [5]) и равен  $0,8 \cdot 0,3 = 0,24$ .

С учетом специфики данного технологического процесса валовой выброс аммиака равен

$$G_{NH_3}^{KPC} = 10^{-3} \cdot ((650 + 0,7 \cdot 1200) \cdot (8,1 + 6,0 \cdot 0,24) + (0,4 \cdot 450) \cdot (4,2 + 6,0 \cdot 0,24)) = 15,22 \text{ т/год.}$$

С учетом (4.2) для расчета максимального выброса следует использовать лишь процесс содержания животных в помещении, и, следовательно, валовой выброс аммиака, используемый для расчета максимального выброса равен

$$G_{NH_3}^{KPC} = 10^{-3} \cdot (650 + 0,7 \cdot 1200 + 0,4 \cdot 450) \cdot 4,2 = 7,515 \text{ т/год.}$$

Максимальный выброс аммиака равен

$$M_{NH_3}^{KPC} = \frac{10^6 \cdot 7,515}{3600 \cdot 210 \cdot 24} = 0,414 \text{ г/с.}$$

#### Для свиней.

Для проверяемых и основных свиноматок удельное выделение аммиака зависит от метода их содержания и складывается из удельного выделения аммиака от животных в помещении при содержании их в группе на частично решетчатом полу со смывными каналами без аэрации (таблица Б.2 [5]) и удельных выделений от животных в загоне, на выгульно-кормовой площадке (таблица Б.1 [5]). Удельное выделение аммиака для проверяемых свиноматок равно  $1,5 + 0,85 = 2,35$  кг/(год·гол.), для основных свиноматок  $2,1 + 2,18 = 4,28$  кг/(год·гол.). Удельное выделение аммиака для ремонтных свинок старше 4 месяцев равно  $1,9 + 0,75 = 2,65$  кг/(год·гол.), для поросят в возрасте до 4 месяцев при содержании на частично решетчатом полу с ямой для навоза и каналом для смыва водой равно  $0,36 + 0,36 = 0,72$  кг/(год·гол.).

Удельное выделение аммиака при процессах уборки и хранения навоза по таблице Б.1 [5] для проверяемых свиноматок равно 2,65, для основных свиноматок равно 6,82, для ремонтных свинок старше 4 месяцев равно 1,7 кг/(год·гол.), для поросят в возрасте до 4 месяцев равно 0,6 кг/(год·гол.).

Коэффициент снижения удельного выделения  $K^{mn}$  рассчитывается как произведение коэффициента снижения выбросов аммиака в зависимости от способа хранения навоза (таблица Б.4) и коэффициента снижения выбросов аммиака в зависимости от метода внесения навоза в почву (таблица Б.3 [5]) и равен  $0,6 \cdot 0,3 = 0,18$ .

С учетом специфики данного технологического процесса валовой выброс аммиака равен:

$$G_{NH_3}^{Свиньи} = 10^{-3} \cdot \left[ \begin{aligned} &1200 \cdot (2,35 + 2,65 \cdot 0,18) + 1200 \cdot (4,28 + 6,28 \cdot 0,18) + \\ &+ 1700 \cdot (2,65 + 1,7 \cdot 0,18) + \\ &+ 1300 \cdot (0,72 + 0,6 \cdot 0,18) \end{aligned} \right] = 16,103 \text{ т/год.}$$

С учетом (4.2) для расчета максимального выброса следует использовать лишь процесс содержания животных в помещении, и, следовательно, валовой выброс аммиака, используемый для расчета максимального выброса равен

$$G_{NH_3}^{Ситни} = 10^{-3} \cdot [1200 \cdot 1,5 + 1200 \cdot 2,1 + 1700 \cdot 1,9 + 1300 \cdot 0,36] = 8,018 \text{ т/год.}$$

Максимальный выброс аммиака равен

$$M_{NH_3}^{Ситни} = \frac{10^6 \cdot 8,018}{3600 \cdot 210 \cdot 24} = 0,442 \text{ г/с.}$$

**Валовой выброс метана рассчитывается по формуле (4.5)**

**Для крупного рогатого скота.**

Удельное выделение метана при процессах кишечной ферментации и процессах уборки хранения и использования навоза в течение года по таблице Б.5 [5] равно  $58+2,72=60,72$  кг/(год·гол.).

Валовой выброс метана равен

$$G_{CH_4}^{KPC} = 10^{-3} \cdot (650 + 0,7 \cdot 1200 + 0,4 \cdot 450) \cdot 60,72 = 101,402 \text{ т/год.}$$

С учетом (4.2) для расчета максимального выброса следует использовать лишь процесс содержания животных в помещении.

Удельное выделение метана  $q_{CH_4}^u$  в связи с нахождением в помещении с сентября по март, исходя из таблицы Б.5 [5], равно  $58 \cdot 7/12=33,83$  кг/(7 мес·гол.). Следовательно, валовой выброс метана, используемый для расчета максимального, равен

$$G_{CH_4}^{KPC} = 10^{-3} \cdot [(650 + 0,7 \cdot 1200) \cdot 33,83 + 0,4 \cdot 450 \cdot 58] = 60,847 \text{ т/год.}$$

Максимальный выброс метана равен

$$M_{CH_4}^{KPC} = \frac{10^6 \cdot 60,847}{3600 \cdot 210 \cdot 24} = 3,354 \text{ г/с.}$$

**Для свиней.**

Удельное выделение метана при содержании свиней и при процессах уборки хранения и использования навоза в течение года по таблице Б.5 [5] равно  $1,5+3,94=5,44$  кг/(год·гол.).

Валовой выброс метана равен

$$G_{CH_4}^{Ситни} = 10^{-3} \cdot (2400 + 0,7 \cdot 1700 + 0,4 \cdot 1300) \cdot 5,44 = 22,358 \text{ т/год.}$$

С учетом (4.2) для расчета максимального выброса следует использовать лишь процесс содержания животных в помещении. Следовательно, валовой выброс метана, используемый для расчета максимального, равен

$$G_{CH_4}^{Ситни} = 10^{-3} \cdot (2400 + 0,7 \cdot 1700 + 0,4 \cdot 1300) \cdot 1,5 = 6,165 \text{ т/год}$$

Максимальный выброс метана равен

$$M_{CH_4}^{Ситни} = \frac{10^6 \cdot 6,165}{3600 \cdot 210 \cdot 24} = 0,34 \text{ г/с.}$$

## Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КРС														
телки до 1 года	540	585	630	675	720	765	810	855	900	945	990	1035	1080	1125
Телки от года до двух	1440	1560	1680	1800	1920	2040	2160	2280	2400	2520	2640	2760	2880	3000
коров	780	845	910	975	1040	1105	1170	1235	1300	1365	1430	1495	1560	1625
условия содержания	сплошной пол с соломенной подстилкой													
Свиньи														
поросята до 4 месяцев	1560	1690	1820	1950	2080	2210	2340	2470	2600	2730	2860	2990	3120	3250
свинки старше 4 месяцев	2040	2210	2380	2550	2720	2890	3060	3230	3400	3570	3740	3910	4080	4250
условия содержания	на частично решетчатом полу с наклонным или выпуклым сплошным полом													
свиноматки	1320	1430	1540	1650	1760	1870	1980	2090	2200	2310	2420	2530	2640	2750
условия содержания	на частично решетчатом полу со смывными каналами с аэрацией													

## Лабораторная работа №5

### Расчет выбросов вредных веществ при эксплуатации объектов газораспределительной системы

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с причинами проявления и видами загрязняющих веществ, образующимися при эксплуатации объектов газораспределительной системы.
2. Выполнить расчет выбросов метана и одоранта.

#### Основные сведения

В настоящее время установлены общие правила расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при транспортировке природного и сжиженного углеводородного газов газоснабжающими организациями потребителям по газораспределительным системам, при проведении технического обслуживания и ремонта систем снабжения потребителей природным и сжиженным углеводородным газом, проведении сливо-наливных операций на газо-наполнительных станциях и автомобильных газозаправочных станциях сжиженным углеводородным газом.

Правила расчетов распространяются на проектируемые, строящиеся, действующие и реконструируемые газораспределительные системы природного и сжиженного углеводородного газов.

Данные подходы применяют при расчете величин выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, которые используются при:

- инвентаризации и нормировании выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- государственном, ведомственном, производственном контроле за соблюдением установленных нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- оценке воздействия на окружающую среду и проведении государственной экологической экспертизы;
- исчислении и уплате налога за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- разработке проектной документации на строительство, реконструкцию, расширение, техническое перевооружение, модернизацию, изменение профиля производства, ликвидацию объектов и комплексов;
- ведении первичного учета воздействий загрязняющих веществ на атмосферный воздух;
- ведении отчетности о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Выбросы загрязняющих веществ, входящих в состав природного газа, в атмосферный воздух при эксплуатации газораспределительной системы происходят в условиях нормального ее функционирования и при аварийных ситуациях. В условиях нормального функционирования выбросы загрязняющих веществ, входящих в состав природного газа, в атмосферный воздух происходят:

- ✓ при техническом обслуживании и плановых ремонтах газораспределительной системы;

- ✓ при вводе в эксплуатацию газораспределительной системы;
- ✓ при негерметичности снаружи газораспределительной системы.

Выбросы загрязняющих веществ, входящих в состав сжиженного углеводородного газа, в атмосферный воздух происходят:

- ✓ при проведении сливо-наливных операций и ремонтных работ на газонаполнительных станциях и автомобильных газозаправочных станциях;
- ✓ при заполнении резервуаров в групповых резервуарных установках, используемых для газоснабжения потребителей.

В условиях нормального функционирования газораспределительной системы и в аварийных ситуациях в атмосферный воздух выбрасываются загрязняющие вещества, входящие в состав природного газа, наименование которых изложено ниже, и одорант этантиол (этилмеркаптан, код 1728).

К загрязняющим веществам, входящим в состав природного газа, относятся: метан ( $\text{CH}_4$ , код 0410), этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ , код 0418), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ , код 0417), бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , код 0402), пентан ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , код 0405), гексан ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ , код 0403). Принято, что нормирование выбросов и расчет массового выброса загрязняющих веществ, входящих в состав природного газа, осуществляются по метану с коэффициентом 0,991 от массового выброса природного газа. Далее под выбросами в атмосферный воздух природного газа понимаются выбросы предельных углеводородов, входящих в состав природного газа и нормируемых по метану.

Валовой выброс природного газа от объектов газораспределительной системы на основании определения параметров работы технологического оборудования  $M_j^g$ , т/год, рассчитывается по формуле:

$$M_j^g = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^m (G^i \cdot \rho_g \cdot 0,991 \cdot N^i), \quad (5.1)$$

$m$  – количество источников выброса на газораспределительной системе;  $G^i$  – объем выброса природного газа на  $i$ -м источнике выброса в течение года,  $\text{м}^3/\text{год}$ ; 0,991 – коэффициент перевода массового выброса природного газа на метан;  $\rho_g$  – плотность природного газа при стандартных условиях,  $\text{кг}/\text{м}^3$

Объем выбросов природного газа при техническом обслуживании и плановых ремонтах газораспределительной системы, при продувке и заполнении газораспределительной системы, при вводе в эксплуатацию газопроводов, при присоединении вновь построенных газопроводов, при ремонте, эксплуатации, при установке и замене газовых счетчиков  $G^i$ ,  $\text{м}^3$ , рассчитывается по формуле:

$$G^i = V_{\text{стр}} + V_{\text{рег}}, \quad (5.2)$$

где  $V_{\text{стр}}$  – объем выбросов природного газа при его стравливании перед началом работ и последующей продувке газопроводов по окончании работ,  $\text{м}^3$ , определяемые в соответствии с (5.3);  $V_{\text{рег}}$  – объем выбросов природного газа при регулировке и настройке оборудования,  $\text{м}^3$ , определяемые в соответствии с (5.4).

Объем выбросов природного газа при его стравливании перед началом работ и при последующей продувке газопроводов по окончании работ  $V_{\text{стр}}$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{стр}} = \frac{K \cdot V_{\text{г}} \cdot (P_{\text{а}} + P_{\text{г}}) \cdot 293,15 \cdot Z_{\text{стр}}}{P_{\text{а}} \cdot (273,15 + t_{\text{г}}) \cdot Z}, \quad (5.3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий реальное увеличение расхода газа на продувку, связанное с техническими сложностями точного определения момента завершения продувки (при техническом обслуживании и плановых ремонтах газораспределительной системы при снижении давления до нуля и последующей продувке отключаемых участков после окончания работ коэффициент, учитывающий реальное увеличение расхода газа, равен 2,25, при вводе в эксплуатацию газораспределительной системы равен 1,25; присоединение вновь построенных газопроводов осуществляется прекращением подачи газа потребителям или снижением давления в газопроводе до значений, регламентируемых правилами безопасности в газовом хозяйстве. Расчет выбросов природного газа при присоединении вновь построенных газопроводов к действующим производится при коэффициенте  $K$ , равном 2,25; коэффициент может быть уменьшен в зависимости от технической оснащенности эксплуатационной организации и квалификации персонала, то есть при постоянном использовании переносных газоанализаторов для экспресс-анализа газа на наличие в нем воздуха.);  $V_{\text{г}}$  – геометрический объем участка газопровода, м<sup>3</sup>;  $P_{\text{а}}$  – атмосферное давление, МПа;  $P_{\text{г}}$  – давление газа в газопроводе при продувке, МПа;  $t_{\text{г}}$  – температура природного газа в системе, °С;  $Z_{\text{стр}}$  – коэффициент сжимаемости природного газа при стандартных условиях (0,997297);  $Z$  – коэффициент сжимаемости природного газа при давлении  $P_{\text{г}}$  и температуре  $t_{\text{г}}$ , определяемый по ГОСТ 30319.2.

Объем выбросов природного газа при выполнении работ по регулировке и настройке регулирующей аппаратуры на газорегуляторных пунктах  $V_{\text{рег}}$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{рег}} = 10^9 \cdot 9,24 \cdot d^2 \cdot \tau_f \cdot \frac{(P_{\text{а}} + P_{\text{г}})}{(273,15 + t_{\text{г}})} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}}}, \quad (5.4)$$

где  $d$  – диаметр свечи, через которую проводится продувка при регулировке и настройке регулирующей аппаратуры, м;  $\tau_f$  – фактическое время продувки при регулировке и настройке регулирующей аппаратуры, ч.

Валовой выброс одоранта от объектов газораспределительной системы  $M_{\text{од}}^{\text{в}}$ , т/год, рассчитывается:

$$M_{\text{од}}^{\text{в}} = 0,016 \cdot G_{\text{опер}}^i \cdot n_i \cdot 10^{-6}, \quad (5.5)$$

где 0,016 – среднегодовая норма расхода этилмеркаптана на один кубический метр природного газа, г/м<sup>3</sup>, в случае применения в качестве одорантов других веществ, расход определяется в соответствии с требованиями ТНПА, регламентирующих их использование;  $G_{\text{опер}}^i$  – объем выбросов природного газа при выполнении  $i$ -й операции, м<sup>3</sup>;  $n_i$  – количество выполняемых однитилным оборудованием  $i$ -х операций в течение года, шт.

### Пример расчета.

Определить выбросы (валовые выбросы метана и этилмеркаптана) при техническом обслуживании и плановых ремонтах газорегуляторных пунктов

Исходные данные:

Газорегуляторный пункт – действующий.

Газопровод и оборудование ГРП низкого давления до 0,005 МПа.

Объем газопроводной полости ГРП для типового проекта ТП905-18 – 0,4181 м<sup>3</sup>.

Объем газопроводной полости ГРП объемного типа ГРПОБ-2-50 – 0,0888 м<sup>3</sup>.

Атмосферное давление – 0,101325 МПа.

Температура природного газа – 6 °С.

Диаметр свечи, через которую проводится выброс газа при регулировке и настройке регулирующей аппаратуры – 0,020 м.

Фактическое время выброса природного газа при регулировке и настройке регулирующей аппаратуры – 0,2 ч.

Давление при настройке оборудования ГРП – 0,0043 МПа.

Объем выбросов природного газа при его стравливании перед началом работ и продувку газопроводов по окончании работ при давлении Р=0,005 МПа и Т=279,15 К для ТП905-18 по формуле (5.3) равен:

$$V_{\text{стр}} = \frac{2,25 \cdot 0,4181 \cdot (0,101325 + 0,005) \cdot 293,15 \cdot 0,997297}{0,101325 \cdot (273,15 + 6) \cdot 0,9897} = 1,04 \text{ м}^3;$$

для и ГРПОБ-2-50 равен

$$V_{\text{стр}} = \frac{2,25 \cdot 0,0888 \cdot (0,101325 + 0,005) \cdot 293,15 \cdot 0,997297}{0,101325 \cdot (273,15 + 6) \cdot 0,9897} = 0,22 \text{ м}^3;$$

Объем выбросов природного газа при выполнении работ по регулировке и настройке регулирующей аппаратуры на ТП905-18 и ГРПОБ-2-50 по формуле (5.4) равен:

$$V_{\text{рег}} = 10^9 \cdot 9,24 \cdot 0,02^2 \cdot 0,2 \cdot \frac{(0,101325 + 0,0043)}{(273,15 + 6)} \cdot \sqrt{\frac{0,0043}{0,668}} = 22,4 \text{ м}^3.$$

Объем выбросов природного газа при техническом обслуживании и плановых ремонтах газораспределительной системы определим по формуле (5.2) (ТП905-18):

$$G^i = 22,4 + 1,04 = 23,49 \text{ м}^3.$$

Тогда объем выбросов природного газа для ТП905-18 с учетом периодичности проведения мероприятий по уходу и эксплуатации (1 раз в 4 месяца) составит  $23,49 \cdot 3 = 70,46 \text{ м}^3$ .

Валовой выброс метана для ТП905-18 определим по формуле (5.1):

$$M_j^{\text{в}} = 10^{-3} \cdot (23,49 \cdot 0,668 \cdot 0,991 \cdot 3) = 0,047 \text{ т/год.}$$

Валовой выброс одоранта (этилмеркаптана) от объектов газораспределительной системы для ТП905-18 определим по формуле (5.5):

$$M_{\text{од}}^{\text{в}} = 0,016 \cdot 23,49 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ т/год.}$$

Расчет приведем в таблице.

Характеристики условий работы						
Давление при работе оборудования ГРП, МПа	Давление при настройке оборудования ГРП, МПа	Коэффициент сжимаемости газа при рабочем давлении и температуре	Диаметр свечи, м	Объем газопроводной полости ГРП		Фактическое время выброса природного газа
				ГРП905-18	ГРПОБ-2-50	
0,005	0,0043	0,9897	0,02	0,4181	0,0888	0,2
Расчет выбросов						
Объем выбросов газа при настройке оборудования ГРП, м <sup>3</sup>	Объем выбросов газа при проведении работ, м <sup>3</sup>	Объем выбросов газа, м <sup>3</sup> /год	Валовой выброс, т/год			
			метан	этилмеркантан		
ГРП905-18						
22,4	1,04	23,49	0,047	1,13E-06		
ГРПОБ-2-50						
22,4	0,22	22,66	0,045	1,09E-06		

## Исходные данные:

Вариант	Давление при работе оборудования ГРП, МПа	Давление при настройке оборудования ГРП, МПа	Коэффициент сжимаемости газа при рабочем давлении и температуре	Диаметр свечи, м	Объем газопроводной полости ГРП, м <sup>3</sup>		Фактическое время выброса природного газа, ч	Периодичность обслуживания, мес.	Условия эксплуатации
					ГРП905-18	ГРПОБ-2-50			
0	0,005	0,0043	0,9897	0,02	0,4181	0,0888	0,2	4	техническое обслуживание и плановый ремонт
1	0,005	0,0043	0,9897	0,03	0,3888	0,07688	0,3	4	
2	0,3	0,155	0,96	0,022	0,4181	0,0888	0,15	3	
3	0,6	0,265	0,928	0,015	0,3267	0,06589	0,2	4	
4	1,2	0,43	0,8572	0,03	0,4597	0,07963	0,25	3	ввод в эксплуатацию
5	0,005	0,0043	0,9897	0,022	0,3888	0,07688	0,35	4	
6	0,3	0,155	0,96	0,015	0,4181	0,0888	0,4	3	
7	0,6	0,265	0,928	0,03	0,3267	0,06589	0,3	4	
8	1,2	0,43	0,8572	0,022	0,4597	0,07963	0,15	3	присоединение нового трубопровода
9	0,005	0,0043	0,9897	0,015	0,3888	0,07688	0,2	4	
10	0,3	0,155	0,96	0,03	0,4181	0,0888	0,25	3	
11	0,6	0,265	0,928	0,022	0,3267	0,06589	0,35	2	
12	1,2	0,43	0,8572	0,015	0,4597	0,07963	0,4	3	ввод в эксплуатацию
13	0,005	0,0043	0,9897	0,03	0,3888	0,07688	0,3	3	
14	0,3	0,155	0,96	0,022	0,4181	0,0888	0,15	2	

## Лабораторная работа № 6

### Выбросы загрязняющих веществ от объектов магистральных газопроводов

#### Цель работы:

1. Ознакомиться с источниками выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации объектов магистральных трубопроводов.
2. Ознакомиться с подходами к расчету выбросов загрязняющих веществ от газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

#### Основные сведения

Выделяют основные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от следующих объектов магистральных газопроводов:

- компрессорные станции;
- подземные хранилища газа;
- газораспределительные и газоизмерительные станции;
- автомобильные газонаполнительные компрессорные станции;
- линейные сооружения магистральных газопроводов.

Виды загрязняющих веществ, входящих в состав контролируемых и рассчитываемых, соответствуют приведенным в Л.р. № 5.

#### 1 Компрессорные станции

Компрессорные станции (далее - КС) предназначены для компримирования природного газа, транспортируемого по магистральному газопроводу. Природный газ из магистрального газопровода через ответвления (шлейфы) поступает в компрессорные цехи станции, оснащенные газоперекачивающими агрегатами (ГПА) и рядом вспомогательных систем (агрегатных и общецеховых), которые обеспечивают эксплуатацию ГПА и другого оборудования КС.

В состав КС входят:

- установки очистки природного газа;
- установки охлаждения природного газа после его компримирования;
- системы топливного, пускового, импульсного газа;
- система электроснабжения и электрические устройства различного назначения (выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух отсутствуют);
- система автоматического управления (выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух отсутствуют).

По типу привода газоперекачивающих агрегатов, установленных на КС, компрессорные станции разделяют на:

- станции, оборудованные ГПА с электроприводом;
- станции, оборудованные ГПА с газотурбинным приводом (далее - ГТУ);
- станции, оборудованные ГПА с газомоторным приводом (далее - ГМК).

Кроме компрессорных цехов, в комплекс КС входят котельные, общестанционные системы водоснабжения и канализации с насосными станциями, электростанции собственных нужд или трансформаторные подстанции, системы

связи, автотранспортные парки, механические мастерские, различные административные и хозяйственные сооружения.

Эксплуатация установок КС сопровождается выбросами в атмосферный воздух природного газа и продуктов его сгорания (при эксплуатации газотурбинных и газомоторных приводов ГПА): азота диоксида ( $\text{NO}_2$ , код 0301), азота оксида ( $\text{NO}$ , код 0304), углерода оксида ( $\text{CO}$ , код 0337).

### **1.1 Установки очистки природного газа**

В установках очистки транспортируемый природный газ очищается от механических примесей (песка, окалины) и капельной влаги перед поступлением его на компримирование. В зависимости от условий эксплуатации компрессорного цеха может быть предусмотрена одно - или двухступенчатая схема очистки природного газа. Первая ступень - пылеуловители различных типов, вторая - фильтры-сепараторы. Аппараты оборудованы системой сброса уловленных примесей и капельной влаги (сброс дренажа).

Сброс дренажа из пылеуловителей может производиться как автоматически, так и вручную. По мере заполнения сборники продувают природным газом.

Выбросы природного газа в атмосферный воздух при выполнении регламентных операций в процессе эксплуатации установок его очистки определяются:

- при стравливании природного газа из аппаратов и коммуникаций, в том числе при остановках оборудования для проведения осмотра и ремонта;
- при продувке аппаратов и коммуникаций после внутреннего осмотра;
- при продувке аппаратов и коммуникаций с вытеснением из них жидкости через емкости сбора конденсата.

### **1.2 Газоперекачивающие агрегаты**

В процессе эксплуатации ГПА при проведении регламентных операций имеют место выбросы в атмосферный воздух природного газа, которые определяются:

- при стравливании природного газа из участков коммуникаций ;
- при продувке оборудования и коммуникаций;
- при продувке маслоуловителей, расположенных на выходе ГМК;
- при стравливании природного газа из контура нагнетателей при остановке агрегатов;
- при работе турбодетандера (при производстве пусков ГПА);
- при продувке контура нагнетателей при пуске ГПА;
- при стравливании природного газа из полости газомаслоотделителей, через уплотнения компрессорных цилиндров ГМК, сухие уплотнения центробежных нагнетателей;
- при обслуживании контрольно-измерительных приборов и систем автоматики (далее - КИП).

На КС, оборудованных ГПА с газотурбинным приводом или газомотокомпрессорами, помимо природного газа, в атмосферный воздух выбрасываются продукты сгорания топливного газа (аналогично расчету газовых котлов).

### **1.3 Установка охлаждения природного газа после его компримирования**

Нагретый после сжатия природный газ подвергают охлаждению в аппаратах воздушного охлаждения (далее – АВО). При эксплуатации АВО выделения загрязняющих веществ в атмосферный воздух не происходит.

### **1.4 Системы топливного, пускового, импульсного газа**

Система топливного и пускового газа обеспечивает подачу природного газа с требуемым давлением и в необходимом количестве к ГПА. Отбираемый из газопровода пусковой и топливный газ поступает на узел редуцирования, где установлены регуляторы давления.

Топливный газ предварительно пропускают через сепараторы (с целью его осушки и очистки) и расходомерное устройство. После узла редуцирования пусковой и топливный газ подходит к ГПА по двум различным системам трубопроводов. Пусковой газ подается к турбодетандерам для запуска турбоагрегатов в работу. Система топливного и пускового газа включает:

- трубопроводы и коллекторы с продувочными устройствами;
- регуляторы давления;
- запорную и предохранительную арматуру;
- расходомерные устройства для контроля расхода топливного газа на каждый ГПА и в целом по компрессорному цеху;
- сепараторы с продувочными и дренажными устройствами.

Подготовка импульсного газа заключается в дополнительной очистке природного газа от механических примесей и влаги.

При эксплуатации системы топливного и импульсного газа выбросы природного газа в атмосферный воздух определяются:

- при стравливании природного газа из аппаратов и коммуникаций (замерных ниток, вымораживателей и др.) при остановках оборудования для проведения осмотра и ремонта, в том числе для проверки калибровки шайб;
- при продувке аппаратов и коммуникаций;
- при продувке фильтров узла очистки;
- при проверке работоспособности предохранительных клапанов;
- при перестановке кранов.

При эксплуатации КС возможны выбросы природного газа от неплотностей в технологических аппаратах, трубопроводах, запорно-регулирующей арматуре, расположенных на открытых площадках установок, не оборудованных системами отвода выбросов на свечу.

## **2 Подземные хранилища газа**

Подземные хранилища газа (далее – ПХГ) предназначены для регулирования неравномерности газопотребления, связанной с сезонными колебаниями спроса на газовое топливо, а также для образования в основных газопотребляющих районах оперативного и стратегического резервных запасов топлива для поддержания стабильности транзитных экспортных поставок природного газа.

Оснащение ПХГ должно обеспечивать приемку природного газа от магистрального газопровода, очистку природного газа от механических примесей перед компримированием, компримирование природного газа, охлаждение и очистку его от компрессорного масла, распределение сжатого природного газа по скважинам, хранение природного газа под избыточным давлением в структурной ловушке (искусственной каверне), отбор природного газа, очистку и осушку перед подачей в газопровод.

В период закачки в ПХГ природный газ последовательно проходит:

- установку очистки;
- замер расхода;
- компримирование;
- установку охлаждения;
- установку маслоотделения;
- установку подготовки топливного и импульсного газа.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух определяются в период закачки. Выбросы природного газа в атмосферный воздух при выполнении регламентных операций в процессе эксплуатации установок в период его отбора из ПХГ определяются:

- при освобождении аппаратов и коммуникаций, сепараторов, шлейфов, замерных ниток, соединительных газопроводов, коллекторов газа и др., для промывки, осмотров и ремонтов скважин, оборудования и коммуникаций, при частичном стравливании природного газа из загидраченного участка для ликвидации гидратных пробок, обвязки сборного пункта и замерных газопроводов с использованием технологии снижения давления;

- при продувке шлейфов для ликвидации гидратообразований, фильтров очистки, сепараторов, других аппаратов через емкости сбора конденсата;

- при выполнении гидрогазодинамических исследований, проверке забойных клапанов-отсекателей и других технологических и геологических операций, необходимых для поддержания эксплуатационного режима скважин;

- при продувке технологического оборудования, трубопроводов (шлейфов) после окончания ремонта и проведения гидротиспытаний на герметичность, для удаления оставшейся жидкости;

- при дегазации пластовой воды (при ее удалении в период отбора природного газа из подземного хранилища);

- при разгрузке метанольной установки перед заправкой ее метанолом.

Выбросы от разгрузочных скважин определяются по измеренному расходу природного газа (Л. р. № 2).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух населенных мест, гигиенические нормативы 2.1.6.12-46-2005, утвержденные постановлением главного государственного санитарного врача Республики Беларусь №231 от 19.12.2005 г.

2. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт: ТКП 17.08-01-2006 (02120). – Введ. 2006–02–28. – Мн.: Минприроды, 2006. – 51 с.

3. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог: пособие П2-99 к СНБ 3.03.02-97.

4. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах: ТКП 17.08-03-2006 (02120). – Введ. 2006–07–28. – Мн.: Минприроды, 2006. – 23 с.

5. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов от животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик: ТКП 17.08-11-2006 (02120). – Введ. 2009–03–01. – Мн.: Минприроды, 2008. – 46 с.

6. Справочное руководство ЕМЕП/КОРИНЭЙР по кадастрам атмосферных выбросов, пересмотренная и дополненная редакция, 2007 г.

7. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г., том 4, Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, часть 2.

8. Киотский протокол к Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата.

9. Региональное руководство БАСРЕК по процедурам совместного осуществления в регионе Балтийского моря.

Учебное издание

*Составители:*

*Шешко Николай Николаевич  
Шпедик Наталья Николаевна*

## **Методические указания по выполнению лабораторных работ**

***по курсу «Основы природопользования»***

**для студентов специальности 1 – 33 01 07**

**«Природоохранная деятельность»**

Ответственный за выпуск: Шешко Н.Н.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная верстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 05.03.2014 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 2,8. Уч. изд. 3,0. Заказ № 1331. Тираж 50 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.