

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И ЗАКИСИ АЗОТА В УКРАИНЕ

*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, Украина

Анотація. У статті запропоновані алгоритми є формалізованим описом обчислювальних схем визначення величин викидів метану і закису азоту в Україні. Це передбачає розрахунок величин викидів метану від полігонів твердих побутових відходів, промислових і господарсько-побутових стічних вод, а так само закису азоту від промислових стічних вод і життєдіяльності населення. Розглянуті алгоритми орієнтовані на діючу в Україні національну систему оцінки антропогенних викидів та поглинання парникових газів (ПГ), а також підготовку кадастрів ПГ відповідно до нормативних документів України, що регламентують підготовку національних повідомлень.

Ключові слова: тверді побутові відходи (ТПВ), стічні води (СВ), величини викидів метану від полігонів ТПВ, промислові та господарсько-побутові СВ, закису азоту від промислових СВ і життєдіяльності населення.

Аннотация. В статье предложены алгоритмы, которые являются формализованным описанием вычислительных схем определения величин выбросов метана и закиси азота в Украине. Это предусматривает расчет величин выбросов метана от полигонов твердых бытовых отходов, промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, а также закиси азота от промышленных сточных вод и жизнедеятельности населения. Рассматриваемые алгоритмы ориентированы на действующую в Украине национальную систему оценки антропогенных выбросов и поглощения парниковых газов (ПГ), а также подготовку кадастров ПГ в соответствии с нормативными документами Украины, регламентирующими подготовку национальных сообщений.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы (ТБО), сточные воды (СВ), величины выбросов метана от полигонов ТБО, промышленные и хозяйственно-бытовые СВ, закиси азота от промышленных СВ и жизнедеятельности населения.

Abstract. The proposed algorithms are formalized description of the computational schemes of determination of methane outburst and nitrous oxide in Ukraine. This involves the calculation of methane outburst from municipal solid waste, industrial and household wastewater, as well as nitrous oxide from industrial wastewater and life of the population. Considered algorithms are focused on acting in Ukraine national system for estimating anthropogenic emissions and absorbing of greenhouse gases (GHGs), and the preparation of GHG inventories in accordance with requirements document of Ukraine regulating the preparation of national communications.

Keywords: municipal solid waste (MSW), wastewater (WW), methane outburst from MSW, industrial and household WW, nitrous oxide from industrial WW and life of the population.

1. Введение

Как известно [6], основными секторами выбросов метана в атмосферу являются сельское хозяйство, энергетика и отходы. Выбросы метана занимают второе место после выбросов углекислого газа и составляют около 16% от общих выбросов парниковых газов в мире. Эмиссии метана, образующиеся вследствие разложения органической части ТБО, оцениваются в 14% от общего количества выбросов метана. Поскольку количество образуемых отходов в мире ежегодно растет, то эмиссии метана имеют тенденцию роста и, следовательно, должны надлежащим образом определяться и учитываться для оценки влияния ПГ на климат Земли.

Процесс биологического разложения органических отходов на полигонах ТБО приводит к образованию биогаза с содержанием метана около 50%. Биогаз – главная причина возгораний на полигонах, которые практически не поддаются тушению и приводят к выб-

росам в атмосферу большого количества токсичных веществ. Кроме того, метан является газом, парниковый эффект которого более чем в 21 раз больше, чем в углекислого газа [7].

Выбросы метана от свалок ТБО составляют 69,6 % от общего выброса ПГ от отходов, выбросы ПГ от систем очистки бытовых и промышленных СВ составляют соответственно 16,6 % и 0,3%. От СВ жизнедеятельности человека поступает 11,9 % общего выброса ПГ от отходов, от сжигания отходов – 1,6 % [6].

Рассматриваемые алгоритмы ориентированы на действующую в Украине национальную систему оценки антропогенных выбросов и поглощения ПГ, а также подготовку кадастров ПГ в соответствии с нормативными документами Украины, регламентирующими подготовку национальных сообщений.

2. Выбросы метана при захоронении ТБО на полигонах. Общие сведения

Количество метана, образующегося из ТБО, вывезенных на полигоны, определяются по формуле [1]

$$Q(t) = GWP_{CH_4} \cdot \sum_{i=t_0}^t \sum_{j=1}^m A \cdot k_j \cdot MWS_{T_{ji}} \cdot MWS_{F_{ji}} \cdot L_{0_{ji}} \cdot e^{-k_j(t-i)}, \quad (1)$$

где $GWP_{CH_4} = 21,0$ – коэффициент пересчета метана (CH_4) в углекислый газ ($CO_{2 \text{ экв.}}$) [1];

t – год, для которого определяются выбросы;

t_0 – начальный год выбросов;

m – количество категорий (фракций) ТБО;

$A = (1 - e^{-k_j})/k_j$ – нормализующий множитель, корректирующий суммирование;

k_j – скорость образования метана j -ой фракцией ТБО;

$MWS_{T_{ji}}$ – общее количество ТБО j -ой фракции, образованной в i -ом году;

$MWS_{F_{ji}}$ – доля ТБО j -ой фракции, вывезенная на полигоны ТБО в i -ом году;

$L_{0_{ji}}$ – потенциал образования метана в i -ом году, причем

$$L_{0_{ji}} = \frac{16}{12} \cdot DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot MCF_i,$$

где $16/12$ – коэффициент пересчета углерода в метан;

DOC_j – общее количество органического углерода способного биологически разлагаться в течение одного года для j -ой фракции;

$DOC_F = 0,55$ – доля фактически разложившегося в течение одного года органического углерода [1];

$F = 0,5$ – доля метана (по объему) в газе [1];

MCF_i – фактор коррекции метана за год i .

Выбросы метана за i -ый год определяются отдельно для каждой из трех категорий полигонов, а именно: управляемых, неуправляемых неглубоких и неуправляемых глубоких.

Полагается, что:

1. $MCF_i = MCF_1^* = 1,0$, $MCF_i = MCF_2^* = 0,4$, $MCF_i = MCF_3^* = 0,8$ – соответственно поправочные коэффициенты выбросов метана для управляемых, неуправляемых неглубоких и неуправляемых глубоких полигонов ТБО [1].

$$2. MWS_{F_{ji}} = A_{ji},$$

где A_{ji} – доля j -ой фракции ТБО, захороненной в i -й год.

Расшифровка категорий ТБО и рекомендованные параметры k_j и DOC_j для расчета величин выбросов метана соответственно национальной модели приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1. Категории ТБО и рекомендованные параметры k_j и DOC_j для расчета величин выбросов метана

Категории ТБО		k_j	DOC_j
A_{1i}	Древесина	0,024	0,43
A_{2i}	Бумага, картон	0,048	0,40
A_{3i}	Пищевые отходы	0,110	0,15
A_{4i}	Текстиль	0,048	0,24
A_{5i}	Садово-парковые и др. органические отходы	0,070	0,20
A_{6i}	Неорганические отходы	0	0

Примечание 1. Категория A_{6i} из рассмотрения опускается, поскольку $DOC_{6i} = 0$. С учетом сделанных предположений соотношение (1) приобретает вид

$$Q(t) = \frac{4}{3} \cdot GWP_{CH_4} \cdot F \cdot DOC_F \times \times \sum_{k=1}^3 MCF_k^* \cdot \sum_{i=t_0}^t \sum_{j=1}^5 MWS_{T_{ji}} \cdot A_{ji} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(t-i)} \cdot (1 - e^{-k_j}). \quad (2)$$

Общее количество выбросов метана от полигонов ТБО, образующегося в год t , определяется по формуле

$$Q_{CH_4-ТБО} = [Q(t) - R] \cdot (1 - OX), \quad (3)$$

где R – собранный метан;

OX – фактор окисления метана.

Примечание 2. Так как в Украине нет данных, документально подтверждающих степень окисления метана на полигонах ТБО, то полагается, что $OX = 0$ [1].

Входные данные:

1. $MWS_{T_{ji}}$, A_{ji} (т. С / т. ТБО).

2. k_j (1 / год).

Примечание 3. Данные о промышленных отходах, захороненных на полигонах ТБО, определяются на основе данных Госстата Украины по статистической форме отчетности № 1 – отходы «Обращение с отходами».

Выходные данные:

1. $Q^{em}(t)$ (тис. т).

3. Выбросы метана при обработке промышленных СВ. Общие сведения

Выбросы метана при обработке промышленных СВ в учетный год составляют [3]

$$Q_{CH_4-XПК} = \sum_{i=1}^N ((TOW_i - S_i) \cdot EF_i - R_i), \quad (4)$$

где N – число отраслей промышленности;

TOW_i – общая масса органических загрязнений, удаляемая с СВ i -ой отрасли промышленности за учетный год;

$S_i = 0$ – масса органических загрязнений, удаленная с осадками СВ;

EF_i – коэффициент выбросов метана для i -ой отрасли промышленности;

R_i – количество рекуперированного метана (ввиду отсутствия достоверных данных о сжигании метана, выделяемого вследствие процессов очистки производственных СВ на промышленных предприятиях, следуя [2], $R_i = 0$).

Общее количество ХПК (TOW_i), попадающих в промышленные СВ, составляет [3]

$$TOW_i = \sum_j P_{ij} \cdot COD_{ij} \cdot W_{ij}, \quad (5)$$

где P_{ij} – количество выпуска i -ой отраслью промышленности i -го вида продукции в учетном году;

COD_{ij} – концентрация ХПК в производственных СВ (общий сток), образующаяся при производстве i -ой отраслью промышленности i -го вида продукции в учетном году;

W_{ij} – среднегодовой удельный объем образования загрязненных СВ i -ой отраслью промышленности при производстве единицы i -го вида.

Коэффициенты выбросов метана EF_i от СВ и их осадков для i -ой отрасли промышленности в год t определяются по формулам [4]

$$EF_{w i t} = B_0 \cdot F_{anaer w i t}, \quad (6)$$

$$EF_{s i t} = B_0 \cdot F_{anaer s i t}, \quad (7)$$

где $B_0 = 0,25$ – теоретический потенциал образования CH_4 при биохимическом распаде 1 кг ХПК [2];

$F_{anaer w i t}$ – доля органических загрязнений ХПК, разлагающихся анаэробно с выделением метана при обработке СВ от i -ой отрасли промышленности в году t ;

$F_{anaer s i t}$ – доля (в %) органических загрязнений ХПК, разлагающихся анаэробно с выделением метана при обработке осадков СВ i -ой отрасли промышленности в году t .

Органические загрязнения, разлагающиеся анаэробно с выделением метана при обработке СВ i -ой отрасли промышленности в году t , составляют [2]:

$$F_{anaer w i t} = \sum_{k=1}^4 (F_{ХПК i н о t k} + F_{ХПК i н о t k} \cdot e_{н о к}) \cdot E_{ХПК k} \cdot MCF_{w k} + F_{ХПК i б о t}, \quad (8)$$

где $F_{ХПК i н о t k}$ – доля органических загрязнений ХПК в составе промышленных СВ i -ой отрасли промышленности, отнесенная к категории нормативно очищенных и проходящая обработку k -м способом в году t ;

$F_{ХПК i н о t k}$ – доля органических загрязнений ХПК в составе промышленных СВ i -ой отрасли промышленности, отнесенная к категории недостаточно очищенных, проходящая обработку k -м способом в году t ;

$e_{\text{ндо } k}$ – доля полноты очистки СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных k -ым способом очистки СВ, принимается за 80% (кроме потоков СВ, проходящих доочистку, где такой показатель принято за 100 %);

$E_{\text{ХПК } k}$ – общая эффективность удаления ХПК при очистке СВ k -ым способом;

$MCF_{w k}$ – коэффициент MCF для k -го способа очистки промышленных СВ;

$F_{\text{ХПК } i \text{ бо } t}$ – доля (в %) потока ХПК от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенная к категории неочищенных, в году t .

Фактор конверсии MCF и эффективность удаления ХПК для каждого из способов обработки промышленных СВ приведены в табл. 2.

Органические загрязнения, разлагающиеся анаэробно с выделением метана при обработке осадков СВ i -ой отрасли промышленности в году t , составляют [2]:

$$F_{\text{анаер } s i t} = \sum_{k=1}^4 (F_{\text{ХПК } i \text{ но } t k} + F_{\text{ХПК } i \text{ ндо } t k} \cdot e_{\text{ндо } k}) \cdot E_{\text{ХПК } k} \cdot (1 - F_{\text{аер } k}) \cdot MCF_{s k}, \quad (9)$$

где $F_{\text{аер } k}$ – доля органических загрязнений ХПК в составе промышленных СВ, разлагающихся аэробно при обработке k -ым способом;

$MCF_{s k}$ – коэффициент MCF для k -го способа обработки осадков промышленных СВ.

Таблица 2. Факторы конверсии и эффективность удаления ХПК для каждого из способов обработки промышленных СВ

k	Способ обработки СВ	$MCF_{w k}$	$MCF_{s k}$	$E_{\text{ХПК } k}$ (%)	$e_{\text{ндо } k}$ (%)	$F_{\text{аер } k}$ (%)
1	Станции аэрации	0	0,299	83,9	80	30
2	Накопители, отстойники, пруды	0,05	0,299	3,0	100	0
3	Физико-химическая очистка	0	0,299	80,0	80	0
4	Механическая очистка	0,05	0,299	34,0	80	0
5	Сброс в открытые водоемы	0,1	0,0	–	–	–

Доли потоков ХПК для i -ой отрасли промышленности, проходящие обработку различными способами, определяющиеся следующим образом.

А. Доля СВ, отнесенных к категории нормативно очищенных, из них для биологической очистки (доочистки) на станциях аэрации

Для биологической очистки доля (в %) потока ХПК от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории нормативно очищенных, проходящей очистку в году t , составляет [3]:

$$F_{\text{ХПК } i \text{ но } t 1} = F_{\text{ХПК } i \text{ биол } no t} \cdot (1 - F_{\text{ХПК } i \text{ до } t}), \quad (10)$$

где

$$F_{\text{ХПК } i \text{ биол } no t} = \frac{Q_{\text{но } i \text{ биол } t}}{Q_{\Sigma i t}}, \quad (11)$$

$Q_{но\ i\ биол\ t}$ – общий объем СВ от i -ой отрасли промышленности в году i , отнесенных к категории нормативно очищенных на очистных сооружениях биологической очистки;

$Q_{\Sigma\ i\ t}$ – общий объем СВ от i -ой отрасли промышленности в году t , сбрасываемой в поверхностные водные объекты;

$F_{ХПК\ i\ до\ t} = 0,05$ (5 %) – доля потока ХПК от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, проходящей биологическую доочистку на станциях аэрации в году t ($F_{ХПК,\ i,\ до,\ y} = 5\%$).

Для биологического доочищения доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории нормативно очищенных и проходящих биологическую доочистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ но\ t\ 2} = F_{ХПК\ i\ биол\ но\ t} \cdot F_{ХПК\ i\ до\ t} \quad (12)$$

Для физико-химической очистки доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенная к категории нормативно очищенных и проходящая очистку в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ но\ t\ 3} = \frac{Q_{но\ i\ ф-х\ t}}{Q_{\Sigma\ i\ t}}, \quad (13)$$

где $Q_{но\ i\ ф-х\ t}$ – общий объем оборотных вод от i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенный к категории нормативно очищенных на сооружениях физико-химической очистки.

Для механической очистки доля (в %) потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ вод, отнесенных к категории нормативно очищенных и проходящих очистку в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ но\ t\ 4} = \frac{Q_{но\ i\ мех\ t}}{Q_{\Sigma\ i\ t}}, \quad (14)$$

где $Q_{но\ i\ мех\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенных к категории нормативно очищенных на сооружениях механической очистки.

В. Доля СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных, из них для биологической очистки на станциях аэрации

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных и проходящих биологическую очистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ биол\ ндо\ t} = (Q_{ндо\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ биол\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}), \quad (15)$$

где $Q_{ндо\ i\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенных к категории недостаточно очищенных;

$Q_{но\ i\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенных к категории нормативно очищенных.

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных и проходящих биологическую очистку на станциях аэрации в году t , составляет [2]:

$$F_{ХПК\ i\ ндо\ t\ 1} = F_{ХПК\ i\ биол\ ндо\ t} \cdot (1 - F_{ХПК\ i\ ДО\ t}). \quad (16)$$

Для очистки (доочистки) в биологических прудах

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных и проходящих биологическую очистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ ндо\ t\ 2} = F_{ХПК\ i\ биол\ ндо\ t} \cdot F_{ХПК\ i\ ДО\ t}. \quad (17)$$

Для физико-химической очистки

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных и проходящих физико-химическую очистку в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ ндо\ t\ 3} = (Q_{ндо\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ ф-х\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}). \quad (18)$$

Для механической очистки

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных и проходящих механическую очистку в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ ндо\ t\ 4} = (Q_{ндо\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ мех\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}). \quad (19)$$

С. Для сточных вод, которые относятся к категории неочищенных

Доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории неочищенных в году t , составляет:

$$F_{ХПК\ i\ бо\ t} = Q_{бо\ i\ t} / Q_{\Sigma\ i\ t}, \quad (20)$$

где $Q_{бо\ j\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенных к категории неочищенных.

Общее количество выбросов метана при обработке промышленных СВ от N отраслей промышленности, образующихся за год t , с учетом соотношений (1)–(6), определяется по формуле

$$Q_{CH_4-ХПК(w)} = B_0 \sum_{i=1}^N \sum_j P_{ij} \cdot COD_{ij} \cdot W_{ij} \cdot F_{анаер\ w\ i\ t}, \quad (21)$$

а при обработке осадков промышленных СВ по формуле

$$Q_{CH_4-ХПК(s)} = B_0 \sum_{i=1}^N \sum_j P_{ij} \cdot COD_{ij} \cdot W_{ij} \cdot F_{анаер\ s\ i\ t}. \quad (22)$$

Примечание. Определение $F_{анаер\ w\ i\ t}$ и $F_{анаер\ s\ i\ t}$ осуществляется с использованием формул (7)–(16).

Таким образом, общие выбросы метана при обработке промышленных СВ определяются по формуле

$$Q_{CH_4\ tot} = Q_{CH_4-ХПК(w)} + Q_{CH_4-ХПК(s)}. \quad (23)$$

Входные данные:

$B_0 = 0,25$ (кг CH_4 / кг ХПК) – [2];

P_{ij} (тыс.) – данные Госстата Украины;

COD_{ij} ($г/л$) – [9];

W_{ij} ($м^3$) – [10];

$Q_{но i t}$, $Q_{но j биол t}$, $Q_{\Sigma j t}$, $Q_{но j ф-x t}$, $Q_{но j мех t}$, $Q_{ндо j t}$, $Q_{бо j t}$ ($млн / год$) – данные Госво-
дагентства Украины - статистическая форма № 2-ТП (водхоз).

Выходные данные:

$Q_{CH_4 tot}$ ($тыс. т / год$).

4. Выбросы закиси азота при обработке промышленных СВ

Суммарные выбросы закиси азота, образующиеся в год t вследствие сброса СВ в откры-
тые водоемы i -ой отраслью промышленности, определяются по формуле [2]

$$E_{N_2O t i} = \frac{44}{28} \cdot M_{N i t} \cdot F_{N i Вод t} \cdot EF, \quad (24)$$

где $44/28$ – коэффициент преобразования N в N_2O-N ;

$M_{N i t}$ – общая масса азота, которая попадает в СВ от i -ой отрасли промышленности в
году t ;

$F_{N i Вод t}$ – доля потока $N_{заг}$ i -ой отрасли промышленности, которая попадает в откры-
тые водные объекты в год t ;

$EF = 1$ (100 %) – степень диссоциации азота.

Общая масса азота (общего), попадающая в СВ при производстве каждого учетно-
го i -го вида продукции за год t , определяется по формуле [2]

$$M_{N j t} = P_{j t} \cdot C_{N j} \cdot q_j, \quad (25)$$

где $P_{j t}$ – выпуск i -го вида продукции в году t (учетных единиц);

$C_{N j}$ – концентрация азота (общего) в производственных СВ (общий сток), образу-
ющихся при производстве i -го вида продукции [5];

q_j – среднегодовой объем загрязненных производственных СВ [5].

Доля потока $N_{заг}$ от i -ой отрасли промышленности (в %), попадающая в открытые
водные объекты в году t , составляет [2]:

$$F_{N i Вод t} = \sum_k F_{N i t k} \cdot (1 - E_{N k}) + F_{N i бо t}, \quad (26)$$

где $F_{N i t k}$ – доля потока $N_{заг}$ i -ой отрасли промышленности, проходящая в году t очистку
 k -ым способом;

$E_{N k}$ – эффективность удаления $N_{заг}$ k -ым способом [2];

$F_{N i бо t}$ – доля потока $N_{заг}$ i -ой отрасли промышленности, сбрасываемая в водоемы с
СВ, отнесенными к категории неочищенных в году t .

Эффективность удаления $N_{заг}$ по способам очистки СВ приведена в табл. 3.

Таблица 3. Эффективность удаления $N_{\text{заг}}$ по способам очистки СВ

Системы обработки	Станции аэрации	Биопруды, накопители, поля орошения, прочее	Физико-химическая очистка	Механическая очистка
k	1	2	3	4
E_{N_k} (%)	19,6	2,7	57,0	0

Доли потоков $N_{\text{заг}}$ для различных отраслей промышленности, проходящие обработку k -ым способом, осуществляются аналогично, как для ХПК.

А. Для СВ, которые отнесены к категории нормативно очищенных, из них для биологической очистки на станциях аэрации

Для биологической очистки доля потока $N_{\text{заг}}$ от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенная к категории нормативно очищенной и проходящая биологическую очистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$F_{N_{i t 1}} = F_{N_{i \text{ биол } t}} \cdot (1 - F_{N_{i \text{ ДО } t}}), \quad (27)$$

где

$$F_{N_{i \text{ биол } t}} = \frac{Q_{\text{но } i \text{ биол } t}}{Q_{\Sigma i t}}, \quad (28)$$

$Q_{\text{но } i \text{ биол } t}$ – общий объем СВ от i -ой отрасли промышленности в году, отнесенных к категории нормативно очищенных на очистных сооружениях биологической очистки;

$Q_{\Sigma i t}$ – общий объем СВ от i -ой отрасли промышленности в году, сбрасываемой в поверхностные водные объекты.

$F_{N_{i \text{ ДО } t}} = 0,05$ (5 %) – доля потока $N_{\text{заг}}$ i -ой отрасли промышленности, проходящей биологическую доочистку в году t .

Для биологического доочищения доля потока ХПК i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории нормативно очищенных и проходящих биологическую доочистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$F_{N_{i t 2}} = F_{N_{i \text{ биол } t}} \cdot F_{N_{i \text{ ДО } t}} \quad (29)$$

Для физико-химической очистки

Доля потока $N_{\text{заг}}$ i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенная к категории нормативно очищенной и проходящей физико-химическую очистку в году t , составляет:

$$F_{N_{i t 3}} = \frac{Q_{\text{но } i \text{ ф-х } t}}{Q_{\Sigma i t}}, \quad (30)$$

где $Q_{\text{но } i \text{ ф-х } t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году, отнесенный к категории нормативно очищенной на сооружениях физико-химической очистки.

Для механической очистки

Доля потока $N_{\text{заг}}$ i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенной к категории нормативно очищенной и проходящей механическую очистку в году t , составляет:

$$F_{N_{i t 4}} = \frac{Q_{\text{но } i \text{ мех } t}}{Q_{\Sigma i t}}, \quad (31)$$

где $Q_{но\ i\ мех\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенный к категории нормативно очищенных на сооружениях механической очистки.

В. Для СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных

Для биологической очистки на станциях аэрации

$$\bar{F}_{N\ i\ t\ 1} = F_{N\ i\ биол\ ндо\ t} \cdot (1 - F_{N\ i\ ДО\ t}),$$

где
$$F_{N\ i\ биол\ ндо\ t} = (Q_{ндо\ i\ биол\ t} \cdot Q_{но\ i\ биол\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}), \quad (32)$$

$Q_{ндо\ i\ биол\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году, отнесенный к категории недостаточно очищенной и проходящий биологическую очистку на станциях аэрации в году t на очистных сооружениях биологической очистки;

$Q_{но\ i\ биол\ t}$ – общий объем оборотных вод i -ой отрасли промышленности в году, отнесенных к категории нормативно очищенных;

$Q_{\Sigma\ i\ t}$ – общий объем СВ i -го вида промышленности в году, сбрасываемый в поверхностные водные объекты.

Для очистки (доочистки) в биологических прудах

Доля потока $N_{заг}$ от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенная к категории недостаточно очищенной и проходящая биологическую очистку на станциях аэрации в году t , составляет:

$$\bar{F}_{N\ i\ t\ 2} = F_{N\ i\ биол\ ндо\ t} \cdot F_{N\ i\ ДО\ t}, \quad (33)$$

Для физико-химической очистки

$$\bar{F}_{N\ i\ ндо\ t\ 3} = (Q_{ндо\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ ф-х\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}). \quad (34)$$

Для механической очистки

$$\bar{F}_{N\ i\ ндо\ t\ 4} = (Q_{ндо\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ мех\ t}) / (Q_{\Sigma\ i\ t} \cdot Q_{но\ i\ t}). \quad (35)$$

С. Для СВ, которые относятся к категории неочищенных

Доля потока $N_{заг}$ от i -ой отрасли промышленности в составе СВ, отнесенных к категории неочищенных в году t , составляет:

$$F_{N\ i\ бо\ t} = Q_{бо\ i\ t} / Q_{\Sigma\ i\ t}, \quad (36)$$

где $Q_{бо\ i\ t}$ – общий объем оборотных вод от i -ой отрасли промышленности в году t , отнесенных к категории неочищенных.

Суммарные выбросы закиси азота, образующиеся вследствие сброса СВ в открытые водоемы в год t с учетом соотношений (24)–(36), определяются по формуле

$$Q_{N_2O-CB} = \frac{11}{7} \cdot EF \sum_{i=1}^N \sum_j P_{jt} \cdot C_{Nj} \cdot q_j \cdot \left(\sum_{k=1}^4 (F_{N\ i\ t\ k} + \bar{F}_{N\ i\ t\ k}) \cdot (1 - E_{Nk}) + F_{N\ i\ бо\ t} \right). \quad (37)$$

Входные данные:

P_{jt} (тыс. чел.) – данные Госстата Украины;

C_{Nj} (мг/л) – [8];

q_j (м³) – [8];

E_{Nk} (%) – [3];

$F_{Ni до t} = 0,05$ (5 %);

$Q_{\Sigma it}$ (млн. м³/год) – данные Госводагентства Украины - стат. форма № 2-ТП;

$Q_{но i биол t}$, $Q_{но i мех t}$, $Q_{но i ф-x t}$, $Q_{но i t}$, $Q_{ндо i t}$, $Q_{оо i t}$ (млн м³/год) – данные Госвод-агентства Украины).

Выходные данные:

Q_{N_2O-CB} (тыс. т).

5. Выбросы метана при обработке ХБСВ. Общие сведения

Выбросы метана при обработке ХБСВ составляют [4]:

$$Q_{CH_4-ХБСВ} = TOW \cdot EF - R, \quad (38)$$

где

$$TOW = P \cdot D_{dom}, \quad (39)$$

TOW – годовая масса органических загрязнений, удаляемая с ХБСВ за учетный год;

P – общая численность населения страны, принимаемая равной численности имеющегося населения на начало учетного года;

D_{dom} – удельное образование органических загрязнений в пересчете на 1000 жителей;

EF – коэффициент выбросов метана;

R – количество рекуперированного метана.

Потоки органических загрязнений БПК, удаляемых с ХБСВ, проходящие обработку j -ым способом за учетный год составляют:

$$TOW_j = P \cdot D_{dom} \cdot \alpha_j, \quad (40)$$

где α_j – доли СВ, проходящие очистку j -ым способом, причем:

– доли ХБСВ, прошедших нормативную очистку на станциях аэрации:

$$\alpha_1 = \frac{P_{DS} \cdot Q_{dom но}}{P \cdot Q_{dom tot}}; \quad (41)$$

– доли ХБСВ, прошедших недостаточную очистку на станциях аэрации:

$$\alpha_2 = \frac{P_{DS} \cdot Q_{dom ндо}}{P \cdot Q_{dom tot}}; \quad (42)$$

– доля загрязненных без очистки ХБСВ:

$$\alpha_3 = \frac{P_{DS} \cdot Q_{dom безо}}{P \cdot Q_{dom tot}}; \quad (43)$$

– доля ХБСВ, отведенных в септики:

$$\alpha_4 = \frac{P_{sept}}{P}; \quad (44)$$

– доля ХБСВ, отведенных в выгребные ямы:

$$\alpha_5 = (P_K - P_{DS}) - P_{sept}; \quad (45)$$

– доля ХБСВ, отведенных в латрины:

$$\alpha_6 = \frac{P - P_k}{P}; \quad (46)$$

где P_{DS} – численность населения, обеспеченного централизованным водоотведением;

P_{sept} – численность населения, подключенного к отводу ХБСВ в септики;

$Q_{dom\ tot}$ – общий объем оборотных вод, отнесенных к категории видов деятельности;

$Q_{dom\ но}$ – объем нормативно очищенных СВ;

$Q_{dom\ безо}$ – объем загрязненных СВ без очистки ХБСВ;

$Q_{dom\ недо}$ – объем недостаточно очищенных СВ.

Общее число жителей P_K , обеспеченных системами канализации, составляет [2]:

$$P_K = \frac{S_{tot} \cdot \beta_k}{s_i}, \quad (47)$$

где S_{tot} – общая площадь жилищного фонда в Украине;

β_k – удельная доля жилищного фонда, оборудованного канализацией;

s_i – средняя обеспеченность жилищной площадью с расчета на одного жителя.

Коэффициенты выбросов метана EF определяются по формулам [3]:

$$EF_{w\ j} = B_0 \cdot F_{anaer\ w\ j}, \quad (48)$$

$$EF_{s\ j} = B_0 \cdot F_{anaer\ s\ j}, \quad (49)$$

где $B_0 = 0,6$ – теоретический потенциал образования метана при биохимическом распаде 1 кг БПК;

$F_{anaer\ w\ j}$ и $F_{anaer\ s\ j}$ – доли органических веществ, распадающихся анаэробно при j -м способе обработки СВ и их осадков соответственно.

Доли органически загрязненных, распадающихся анаэробно в процессе очистки СВ с выделением метана отдельными потоками, определяются по формулам [2]:

– для СВ, нормативно очищенных на центральных станциях аэрации:

$$F_{anaer\ w\ 1} = F_{anaer\ w\ (но\ СА)} = e_{БПК\ но} \cdot MCF_{но} + (100 - e_{БПК\ но}) \cdot MCF_{вод}, \quad (50)$$

где $e_{БПК\ но} = 91,6\ \%$ – эффективность удаления БПК для нормативно очищенных СВ;

$MCF_{но} = 0$ – коэффициент MCF при обработке ХБСВ, отнесенных к категории нормативно очищенных на центральных станциях аэрации;

$MCF_{вод} = 0,1$ – коэффициент MCF при попадании СВ в открытые водоемы;

– для СВ, недостаточно очищенных на центральных станциях аэрации:

$$F_{anaer\ w\ 2} = F_{anaer\ w\ (недо\ СА)} = e_{БПК\ недо} \cdot MCF_{недо} + (100 - e_{БПК\ недо}) \cdot MCF_{вод}, \quad (51)$$

где $e_{\text{БПК}_{\text{ндо}}} = 84,0\%$ – эффективность удаления БПК для недостаточно очищенных СВ;

$MCF_{\text{ндо}} = 0,05$ – коэффициент MCF при обработке ХБСВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных на центральных станциях аэрации;

– для СВ, сбрасываемых в открытые водоемы без очистки:

$$F_{\text{анаер w 3}} = F_{\text{анаер w вод}} = MCF_{\text{вод}}; \quad (52)$$

– для СВ, очищаемых в септиках:

$$F_{\text{анаер w 4}} = F_{\text{анаер w sept}} = MCF_{\text{cen}}, \quad (53)$$

где $MCF_{\text{cen}} = 0,5$ – коэффициент MCF при обработке ХБСВ в септиках;

– для СВ, сбрасываемых в выгребные ямы:

$$F_{\text{анаер w 5}} = F_{\text{анаер w pit}} = \frac{F_{\text{анаер w 1}} + F_{\text{анаер w 2}}}{2}, \quad (54)$$

– для СВ, сбрасываемых в латрины:

$$F_{\text{анаер w 6}} = F_{\text{анаер w latr}} = MCF_{\text{лат}}, \quad (55)$$

где $MCF_{\text{лат}} = 0,1$ – коэффициент MCF при обработке ХБСВ в латринах.

Таблица 4. Способы обработки СВ и соответствующие коэффициенты MCF_j и $e_{\text{БПК}_j}$.

j	Способ обработки СВ	MCF_j	$e_{\text{БПК}_j}$ (%)
1	Станции аэрации (нормативно очищенные СВ)	0	91,6
2	Станции аэрации (недостаточно очищенные СВ)	0,05	84,0
3	Сброс в открытые водоемы	0,1	–
4	Септики	0,5	–
5	Латрины	0,1	–

Доли органических загрязнений, разлагающихся анаэробно с выделением метана при обработке осадков сточных вод, определяются по формулам [2]:

– для СВ, отнесенных к категории нормативно очищенных:

$$F_{\text{анаер s 1}} = F_{\text{анаер s но}} = (e_{\text{БПК}_{\text{но}}} - F_{\text{аер но}}) \cdot MCF_{\text{УА s}}, \quad (56)$$

где $F_{\text{аер но}} = 0,3$ – доля полного распада органических загрязнений при биохимическом очищении СВ в аэробных условиях;

$MCF_{\text{УА s}} = 0,299$ – национальный коэффициент MCF для систем обработки осадков на илистых площадках;

– для СВ, отнесенных к категории недостаточно очищенных:

$$F_{\text{анаер s 2}} = F_{\text{анаер s ндо}} = (e_{\text{БСК}_{\text{ндо}}} - F_{\text{аер ндо}} - MCF_{\text{ндо}}) \cdot MCF_{\text{УА s}}, \quad (57)$$

где $F_{\text{аер ндо}} = 0,15$ – доля полного распада органических загрязнений при биохимическом очищении СВ в аэробных условиях;

– для СВ, собираемых в выгребные ямы:

$$F_{\text{анаер s 3}} = F_{\text{анаер s pit}} = \frac{(F_{\text{анаер s 1}} + F_{\text{анаер s 2}})}{2}. \quad (58)$$

Общее количество выбросов метана при обработке хозяйственно-бытовых СВ, образующихся за год, с учетом (40)–(58), определяются по формулам:

$$Q_{CH_4-XBCB(w)} = B_0 \cdot P \cdot D_{dom} \cdot \sum_{j=1}^6 \alpha_j \cdot F_{anaer w j}, \quad (59)$$

$$Q_{CH_4-XBCB(s)} = B_0 \cdot P \cdot D_{dom} \cdot \left(\sum_{j=1}^2 \alpha_j \cdot F_{anaer s j} + \alpha_5 \cdot F_{anaer s 3} \right). \quad (60)$$

Общее количество выбросов метана от ХБСВ, образующегося за год, определяется по формуле

$$Q_{CH_4-XBCB(tot)} = Q_{CH_4-XBCB(w)} + Q_{CH_4-XBCB(s)}. \quad (61)$$

Входные данные:

P (тыс.), β_k (%), s_i ($m^2 / чел.$), S_{tot} (m^2) – данные Госстата Украины;

P_{DS} (тыс.) – данные Минрегионстроя Украины;

$Q_{dom tot}$, $Q_{dom no}$, $Q_{dom ндо}$, $Q_{dom безо}$ ($m^3 / год$) – данные Госводагентства, стат. форма № 2-ТП.

Константы:

B_0 (кг CH_4 / кг БПК) = 0,6;

D_{dom} (кг БПК / тыс. чел / год) = 18250;

R (кг CH_4 / год) = 0;

$e_{BPK no}$ (%) = 91,6;

$e_{BPK ндо}$ (%) = 84,0;

$F_{aer no}$ (%) = 0,3;

$F_{aer ндо}$ (%) = 0,15;

MCF_{UAs} = 0,299;

MCF_{no} = 0;

$MCF_{ндо}$ = 0,05;

$MCF_{вод}$ = 0,1;

MCF_{cep} = 0,5;

$MCF_{лат}$ = 0,1.

Выходные данные:

$Q_{CH_4-XBCB(tot)}$ (тыс. т).

6. Выбросы закиси азота от СВ жизнедеятельности человека

Общие выбросы закиси азота от СВ жизнедеятельности человека определяются по формуле [4]

$$Q_{N_2O-чел.} = X \cdot N \cdot P \cdot EF, \quad (62)$$

где X – потребление протеина;

$N = 0,16$ (кг N / кг протеина) – доля азота в протеине;

P – общая численность населения;

$EF = 0,01$ (кг ($N_2O - N$)/кг N) – коэффициент выбросов.

Входные данные:

X (кг), P (тыс.).

Выходные данные:

$Q_{N_2O-чел.}$ (тыс. т).

Примечание. Годовое потребление протеина на душу населения и численность населения принимаются в расчетах согласно данным Госстата Украины.

7. Заключение

1. Рассматриваемые алгоритмы ориентированы на действующую в Украине национальную систему оценки антропогенных выбросов и поглощения ПГ, а также подготовку кадастров ПГ в соответствии с нормативными документами Украины, регламентирующими подготовку национальных сообщений.
2. Предлагаемые алгоритмы являются формализованным описанием вычислительных схем определения величин выбросов метана и закиси азота, причем:
 - расчет величин выбросов метана от полигонов ТБО и промышленных СВ осуществляется соответственно по формулам (3) и (23);
 - расчет величин выбросов закиси азота при обработке промышленных СВ осуществляется по формуле (37);
 - расчет величин выбросов метана при обработке хозяйственно-бытовых СВ и жизнедеятельности населения осуществляется соответственно по формулам (61) и (62).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследования газообразования на наиболее крупных полигонах ТБО и переход на трехкомпонентную национальную модель расчетов выбросов ПГ от свалок ТБО в Украине / Институт технической теплофизики НАН Украины. – К., 2012 – 82 с. – № ГР 0112U001577.
2. Исследования выбросов метана и закиси азота при обработке сточных вод и разработка методики определения национальных коэффициентов / Институт технической теплофизики НАН Украины. – К., 2012 – 91 с. – № ГР 0112U001578.
3. Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 3 Volumes // IPCC. – 1996. – Vol. 2: Greenhouse Gas Inventory: Workbook.
4. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 5 Volumes / [TFI IPCC]; edited by H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe. – Hayama: IGES, 2006. – 2006. – Vol. 5: Waste.
5. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. – М.: Стройиздат, 1978. – 590 с.
6. Васильченко В.В. Украина и глобальный парниковый эффект / В.В. Васильченко, М.В. Рапцун // Источники и поглотители парниковых газов. – Киев, 1997.
7. Матвеев Ю.Б. Результаты исследований потенциала газообразования на украинских полигонах ТБО: материалы 5-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» / Ю.Б. Матвеев, А.Ю. Пухнюк. – Х.: ЭкоИнформ, 2008. – С. 183 – 185.

Стаття надійшла до редакції 18.02.2014