

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
**Кафедра охраны окружающей среды и рационального использования
природных ресурсов**

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Часть 1. Оценка воздействия на окружающую среду

Выполнение курсовой работы

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки

18.03.02 — Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии

Составители:
А. В. Левин
А. И. Чупина

Санкт-Петербург
2025

Утверждено
на заседании кафедры ООСиРИПР
11.04.2025 г., протокол № 9

Рецензент О. А. Шанова

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии». В методических указаниях представлен порядок выполнения и оформления курсовых работ. Приведены примеры расчета характеристик неопределенности измерений.

Методические указания предназначены для бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 31.07.2025 г. Рег.№ 5228/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. Общие положения	5
2. Введение.....	6
3. Исходные данные	7
4. Расчет количества дымовых газов.....	7
5. Расчет количества загрязняющих веществ.....	8
6. Расчет загрязнения атмосферного воздуха.....	14
7. Анализ результатов расчета загрязнения атмосферы.....	20
8. Мероприятия по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	24
9. Предложения по нормативам допустимых выбросов в атмосферу	26
10. Контроль за соблюдением нормативов ПДВ на предприятии	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	32

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курсовая работа на тему: «Обоснование нормативно допустимых выбросов (НДВ), (предельно допустимых выбросов – ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу и мероприятия по их достижению» выполняется на основе законодательных и нормативных документов в области нормирования выбросов в атмосферу [1, 2].

Курсовая работа выполняется студентами непосредственно в учебных семестрах. Поэтому в ее содержание включены не все вопросы, которые требуется рассматривать на практике при разработке нормативов ПДВ.

В отличие от реальных проектных материалов в курсовой работе не используются карта-схема предприятия и ситуационная карта-схема района города, в котором расположена предприятие. Для некоторого упрощения задачи нормирования выбросов в курсовой работе в качестве объекта для обоснования нормативов ПДВ задается только ТЭЦ или котельная. При этом учитывается, что для ТЭЦ и котельных требуемая ширина санитарно-защитной зоны (СЗЗ) определяется только по результатам расчета загрязнения атмосферы (РЗА).

В курсовой работе нормативы предельно допустимых выбросов могут быть установлены в зависимости от результатов одного или нескольких последовательно выполненных расчетов.

Готовая курсовая работа состоит из пояснительной записки объемом 35-50 страниц и распечатки расчетов на ЭВМ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Норматив ПДВ – масса загрязняющего вещества, содержащаяся в единицу времени в выбросах от одиночного источника или от группы источников и создающая в результате рассеивания в атмосферном воздухе приземную концентрацию, не превышающую ПДК с учетом фоновое загрязнение [3].

Данное определение можно выразить следующим условием: если фактический выброс загрязняющего вещества $M \leq \text{ПДВ}$, то

$$\frac{C+C_{\phi}}{\text{ПДК}} \leq 1, \quad (1)$$

где C – суммарная концентрация загрязняющего вещества, создаваемая группой источников, мг/м^3 ;

C_{ϕ} – фоновая концентрация загрязняющего вещества, мг/м^3 ;

ПДК – максимально разовая предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных пунктов, мг/м^3 .

Выполнимость условия устанавливается в результате расчета загрязнения атмосферы (РЗА).

Если данное условие не выполняется, то нормирование выбросов в атмосферу при разработке предпроектной и проектной документации производится в несколько этапов расчетов. На заключительной стадии это условие должно обеспечиваться.

Предлагаемые мероприятия по сокращению выбросов в атмосферу должны в итоге обеспечивать достижения нормативов ПДВ.

Оформленная курсовая работа должна содержать следующие разделы:

- аннотацию;
- введение;
- исходные данные;
- расчет количества домашних газов;
- расчет количества загрязняющих веществ;
- расчет загрязнения атмосферного воздуха;
- предложения по нормативам допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- контроль за соблюдением нормативов ПДВ;
- мероприятия по регулированию выбросов в атмосферу;
- предотвращение аварийных выбросов в атмосферу;
- библиографический список
- приложение – распечатки результатов РЗА на ЭВМ.

Варианты курсовой работы выдаются преподавателем.

Требования к оформлению курсовой работы представлены в методических рекомендациях «Оформление текстовой части курсовой работы и курсового проекта. Краткая выписка из ГОСТ 7.32-2017 “Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления”», доступных в электронной библиотеке по ссылке <http://nizrp.narod.ru/recomedation.pdf>.

Методические указания по выполнению и оформлению отдельных разделов курсовой работы рассматриваются ниже.

2. ВВЕДЕНИЕ

Во введении дается характеристика рассматриваемого источника загрязнения атмосферного воздуха и ставится задача курсовой работы.

На ТЭЦ и котельных могут использоваться следующие виды топлива: твердое (каменный или бурый угли, сланцы), жидкое (мазут), природный газ.

Топливо сжигается в котлах (паровых или водогрейных), оборудованных камерными или слоевыми топками. Последними могут быть оборудованы котлы относительно небольшой паропроизводительности, сжигающие твердое топливо.

В пояснительной записке требуется в соответствии с исходными данными конкретно описать объект (топливо, назначение котлов и т.д.)

Для осуществления более полного сжигания топлива воздух в топке котлов подают в количестве несколько большем, чем требуется теоретически. В связи с этим используются понятие «коэффициент избытка воздуха, α ». В реальных условиях значение коэффициента α за котлом составляет 1,25-1,4.

Твердое и жидкое топливо состоит из органической и неорганической минеральной частей. Органическая часть топлива сгорает, образуя продукты сгорания, основными компонентами которых являются диоксид углерода (углекислый газ) и водяной пар. Так же образуются газообразные загрязняющие вещества: оксиды азота (в пересчете на диоксид азота), оксид углерода, диоксид серы.

При сжигании природного газа, не содержащего в своем составе сероводород, диоксид серы не образуется.

Минеральная часть топлива является балластом. В результате сжигания топлива она частично оплавляется, образуя шлак, который удаляется через шлаковые воронки, расположенные под топкой, остальная доля минеральной части топлива называется золой. Наиболее крупные частицы золы осаждаются в топке, а более мелкие (летучая зола) – выносятся из топки продуктами сгорания. При работе котельной на мазуте в дымовых газах содержится мазутная зола.

Кроме того, при работе котлов на твердом и жидком топливе недогоревшие частицы топлива в виде сажи также выносятся с продуктами сгорания.

Образующиеся дымовые газы состоят, таким образом, из азота, углекислого газа, водяных паров, остаточного кислорода, газообразных примесей, из частиц летучей золы и сажи.

В целом при работе котлов на различных видах топлива, согласно методике, должны нормироваться следующие загрязняющие вещества:

- при работе котлов на мазуте расчет проводится по оксидам азота, диоксиду серы, оксиду углерода, мазутной золе, саже;
- при работе котлов на угле – по оксидам азота, диоксиду серы, летучей золе, саже, оксиду углерода;
- при работе котлов на природном газе – по оксидам азота, оксиду углерода.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Месторасположение ТЭЦ или котельной задается для выбора температуры наружного воздуха и коэффициента температурной стратификации (А).

Высоты (Н) источников выбросов и диаметры (D) устья трубы задаются в метрах, температура (Т) дымовых газов на выходе трубы – в °С.

Характеристики топлив включают вид (твердое жидкое газообразное), месторасположение, марку (для газа – наименование газопровода). Расчетный расход топлива (V_p) задается т/час или тыс. м³/ч (для газа) на один котел (паровой или водогрейный); кроме того, годовой расход топлива (В) в т/час для оценки валовых выбросов загрязняющих веществ.

Коэффициент избытка воздуха (α) задается одинаковым для всех источников выбросов.

Характеристики котлов задаются в виде их паропроизводительности, т/час, или теплопроизводительности, Гкал/ч. Одновременно задается число котлов, соединенных с конкретным источником (дымовой трубой).

Фоновое загрязнение может быть задано через фоновую концентрацию (Сф, мг/м³) конкретному загрязняющему веществу.

Координаты источников X и Y задаются в метрах. В задании на курсовую работу используют только условные координаты.

4. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Расчет количества дымовых газов определяется по формуле:

$$V_{г1} = \frac{V_r V_r (273+T)}{3,6 \cdot 273}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где V_r – выход продуктов сгорания топлива, $\frac{\text{нм}^3}{\text{кг}}$, $\frac{\text{нм}^3}{\text{нм}^3}$ при $\alpha > 1$;

V_r – расход топлива, т/ч, тыс.м³/ч;

T – температура отходящих дымовых газов, °С.

Величина V_r рассчитывается по формуле:

$$V_r = V_r^0 + (\alpha - 1)V^0, \quad (3)$$

где V_r^0 – выход продуктов сгорания при $\alpha = 1$;

V^0 – теоретически необходимое количество воздуха, нм³/кг, нм³/нм³;

α – коэффициент избытка воздуха.

5. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Методика расчета количества загрязняющих веществ изложена в методических материалах [4, 5]; данные о котельных установках, используемые при расчетах, можно найти в справочнике [6].

Оксиды азота

Валовый выброс оксидов азота при работе на угле определяется по формуле:

$$M = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2} \cdot \beta_r \cdot k_{п}, \text{ т/год}, \quad (4)$$

где B_p – расчетный расход топлива, т/год;

Расчетный расход топлива пересчитывается по следующей формуле:

$$B_p = B \cdot (1 - q_4/100), \quad (5)$$

где B – фактический расход топлива, т/год;

q_4 – потери тепла с уносом вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³;

K_{NO_2} – удельный выброс оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива, г/МДж, определяется по формуле:

$$K_{NO_2} = 11,0 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_T \cdot (1 + 5,46 \cdot (1 - R_6/100)) \cdot \sqrt[4]{Q_i^r \cdot q_r}, \quad (6)$$

где α_T – коэффициент избытка воздуха в топке, $\alpha_T = 1,4 - 2,5$;

R_6 – характеристика гранулометрического состава угля – остаток на сите с размером ячеек 6 мм, %; принимать $R_6 = 40$ % для угля, $R_6 = 50$ % для дров;

q_r – тепловое напряжение зеркала горения, МВт/м²; принимать $q_r = 1,3$ МВт/м² для каменного угля; для древесных отходов $q_r = 0,58$ МВт/м²;

β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование оксидов азота: $\beta_r = 1 - 0,75 \cdot \sqrt{r}$, где r – степень рециркуляции дымовых газов, %, принимать $\beta_r = 1$;

$k_{п}$ – коэффициент пересчета; при определении выбросов в тоннах в год, $k_{п} = 10^{-3}$.

При расчете г/с (максимальных) выбросов ряд величин следует подставлять в формулу в следующих единицах:

B_p – максимальный расчетный расход топлива, кг/с;

$k_{п}$ – коэффициент пересчета при определении выбросов в г/с, $k_{п} = 1$.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Оксид азота

Валовый выброс оксидов азота при работе на мазуте определяется по формуле:

$$M = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2} \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot k_{\Pi}, \text{ т/год}, \quad (7)$$

где B_p – расчетный расход топлива, т/год;

$$B_p = B \cdot (1 - q_4/100),$$

где B – фактический расход топлива, т/год.

Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³;

k_{NO_2} – удельный выброс оксидов азота при сжигании мазута, г/МДж, определяется по формуле:

для паровых котлов

$$K_{NO_2} = 0,01 \cdot \sqrt{D} + 0,1, \quad (8)$$

где D – фактическая паропроизводительность котла, т/ч;

для водогрейных котлов

$$K_{NO_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,1, \quad (9)$$

где Q_T – фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, МВт, определяемая по формуле:

$$Q_T = B_p \cdot Q_i^r, \quad (10)$$

где B_p – кг/с;

Здесь также следует обратить внимание на то, что как для расчета валовых выбросов (т/год), так и для расчета максимальных выбросов в (г/с) при расчете фактической тепловой мощности величина B_p подставляется в кг/с;

β_t – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, $\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{гв} - 30)$, где $t_{гв}$ – температура горячего воздуха, °С; принимать $\beta_t = 1$;

β_α – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота, в общем случае значение $\beta_\alpha = 1,113$, при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$;

β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота, при подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом, $\beta_r = 0,17 \cdot \sqrt{r}$, где r – степень рециркуляции дымовых газов, %, $\beta_r = 0$;

β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру, $\beta_\delta = 0,018 \cdot \delta$, где δ – доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела (в процентах от общего количества организационного воздуха); принимать $\beta_\delta = 0$;

k_{Π} – коэффициент пересчета: при определении выбросов в тоннах в год $k_{\Pi} = 10^{-3}$.

При расчете з/с (максимальных) выбросов ряд величин следует подставлять в формулу в следующих единицах:

V_p – максимальный расчетный расход топлива, кг/с;

k_{Π} – коэффициент пересчета при определении выбросов в г/с, $k_{\Pi} = 1$.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Оксиды азота

Валовый выброс оксидов азота при работе на газу определяется по формуле:

$$M = V_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2} \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_{\Pi}, \text{ т/год}, \quad (11)$$

где V_p – расчетный расход топлива, тыс. м³/год;

Расчетный расход топлива пересчитывается по следующей формуле:

$$V_p = V \cdot (1 - q_4/100),$$

где V – фактический расход топлива, т/год;

q_4 – потери тепла с уносом вследствие механической неполноты сгорания топлива, %;

Несмотря на то, что во всех формулах для расчета оксидов азота требуется подставлять расчетный расход топлива (V_p), при расчете оксидов азота подобный пересчет не имеет смысла, так как величина q_4 – потери тепла с уносом вследствие механической неполноты сгорания топлива, % – для природного газа равно нулю. Следовательно, формулу следует подставлять расход топлива на натуральных единицах, т.е. $V_p = V$;

Q_T^i – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³;

K_{NO_2} – удельный выброс оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива, г/МДж, определяется по формуле:

для паровых котлов

$$K_{NO_2} = 0,01 \cdot \sqrt{D} + 0,03,$$

где D – фактическая паропроизводительность котла, т/ч;

для водогрейных котлов

$$K_{NO_2} = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,1,$$

где Q_T – фактическая тепловая мощность котла по введенному в топку теплу, МВт, определяемая по формуле: $Q_T = V_p \cdot Q_i^r$, где V_p – кг/с;

Здесь следует обратить внимание на единицы, в которых подставляется V_p . Как для расчета валовых выбросов в (т/год), так и для расчета максимальных выбросов в (г/с) фактической тепловой мощностью величина V_p подставляется в нм³/с;

Согласно методике, расход топлива необходимо учитывать в нормальных м³. Подобный пересчет имеет смысл, например, преследующих условиях: производится подогрев подаваемого в топку воздуха и, вследствие

этого, температура подаваемого топлива также растет и в прочих подобных случаях. Но подобные условия для «малых» котлов встречаются нечасто, поэтому подобные пересчет производится не будет вслед следует принимать: $\text{нм}^3 = \text{м}^3/\text{с}$;

β_k – безразмерный коэффициент, учитывающий конструкцию горелки: для дутьевых горелок напорного типа $\beta_k = 1,0$; для горелок инжекционного типа $\beta_k = 1,6$; для горелок двухступенчатого сжигания $\beta_k = 0,7$;

β_t – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, $\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{\text{гв}} - 30)$, где $t_{\text{гв}}$ – температура горячего воздуха, °С; принимать $\beta_t = 1$;

β_α – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота, в общем случае значение $\beta_\alpha = 1,225$, при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$;

β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота, при подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом, $\beta_r = 0,16 \cdot \sqrt{r}$, где r – степень рециркуляции дымовых газов, %, $\beta_r = 0$;

β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру, $\beta_\delta = 0,022 \cdot \delta$, где δ – доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела (в процентах от общего количества организационного воздуха); принимать $\beta_\delta = 0$;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент пересчета, $k_{\text{п}} = 10^{-3}$.

При расчете г/с (максимальных) выбросов ряд величин следует подставлять в формулу в следующих единицах:

V_p – максимальный расчетный расход топлива, $\text{нм}^3/\text{с}$;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент пересчета при определении выбросов в г/с, $k_{\text{п}} = 1$.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Диоксид серы

Валовый выброс диоксида сера определяется по формуле:

$$M = 0,02 \cdot V \cdot S^p \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \text{ т/год}, \quad (12)$$

где V – расход натурального топлива рассматриваемый период, т/год;

S^p – содержание серы в топливе, %;

η'_{SO_2} – доля диоксидов серы, связываемых летучей золой топлива; для мазута – 0,02; для угля – 0,1 (кроме углей Канско–Ачинского бассейна),

η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе, принимать равным 0.

При расчете г/с (максимальных) выбросов:

V – максимальный расход топлива, г/с;

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Мазутная зола

Следует обратить внимание на данный расчет; эта формула используется только в случае работы котлов на мазуте. Во всех остальных случаях зола рассчитывается по другой формуле.

Валовый выброс мазутной золы в пересчете на ванадий определяется по формуле:

$$M = G_V \cdot B \cdot (1 - \eta_{oc}) \cdot (1 - \eta_{zy}/100) \cdot k_{\Pi}, \text{ т/год}, \quad (13)$$

где G_V – количество ванадия, находящегося в 1 т мазута, г/т, определяется по формуле:

$G_V = 2222 \cdot A^r$, где A^r – содержание золы в мазуте на рабочую массу, %;

B – расход натурального топлива, при определении выбросов в т/год;

η_{oc} – доля ванадия, оседающего с твердыми частицами на поверхности нагрева мазутных котлов, принимать равным 0,05;

η_{zy} – степень очистки дымовых газов от мазутной золы в золоулавливающих установках, %, принимать равным 0;

k_{Π} – коэффициент пересчета: при определении выбросов в тоннах в год $k_{\Pi} = 10^{-6}$.

При расчете г/с (максимальных) выбросов:

B – максимальный расход топлива, т/ч;

k_{Π} – коэффициент пересчета при определении выбросов, г/с,
 $k_{\Pi} = 0,278 \cdot 10^{-3}$.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Летучая зола

При сжигании угля (как и при сжигании любого вида твердого топлива) образуются твердые частицы, состоящие из летучей золы и несгоревшего топлива – сажи.

Валовый выброс летучей золы в пересчете на ванадий определяется по формуле:

$$M = 0,01 \cdot B \cdot a_{yH} \cdot A^r \cdot (1 - \eta_3), \text{ т/год}, \quad (14)$$

где B – расход натурального топлива, т/год;

a_{yH} – доля золы, уносимая газами из топки котла;

A^r – зольность топлива на рабочую массу, %;

η_3 – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, принимать равным 0.

При расчете г/с (максимальных) выбросов:

B – максимальный расход топлива, г/с.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Сажа

Количество недогоревшего топлива (сажи) при сжигании угля и количество сажи при сжигании мазута определяется по формуле:

$$M_c = 0,01 \cdot B \cdot q_4 \cdot \frac{Q_i^r}{32,68} \cdot (1 - \eta_3), \quad (15)$$

где q_4 – потери тепла с уносом вследствие механической неполноты сгорания топлива, %; $q_4 = 0,1$ % для мазута, $q_4 = 1 - 10$ % для угля;

Q_i^r – низшая теплота сгорания, МДж/кг;

η_3 – доля частиц сажи, улавливаемой в золоуловителях, принимать равным 0.

При расчете г/с (максимальных) выбросов:

B – максимальный расход топлива, г/с.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Оксид углерода

Валовый выброс оксида углерода определяется по формуле:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot q_3 \cdot R \cdot B \cdot Q_i^r \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \text{ т/год}, \quad (16)$$

где q_3 – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания, для газа и мазута $q_3 = 0,05 - 0,1$ %; для угля $q_3 = 0,1 - 1,0$ %;

R – коэффициент, зависящий от вида топлива; для газа $R = 0,5$; для мазута $R = 0,65$; для угля $R = 1,0$;

q_4 – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания, %.

При расчете г/с (максимальных) выбросов:

B – максимальный расход топлива, г/с.

Остальные величины подставляются в тех же единицах, что и при расчете в т/год.

Результаты расчетов количества загрязняющих атмосферу веществ сводятся в таблице 1.

Таблица 1

Источник	Вещество	Компоненты	
		г/с	т/год
1	2	3	4
Источник №1			
Источник №2			

6. РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Расчет производится на основе Приказа Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [3].

Основные положения этой методики приведены также в учебнике «Очистка и рекуперация промышленных выбросов» [7] (в дальнейшем сокращено «Учебник»).

Приведенные в исходных данных значения H , D , T , а также рассчитанные значения V_T и M_i (г/с), используют при РЗА.

Расчет вследствие его трудоемкости производится на ЭВМ по стандартным программам РЗА, разработанным на базе Приказа Минприроды России № 273.

В настоящем издании рассмотрена подготовка данных к расчету на ЭВМ по программе «Эколог» (версия 5.0) [8].

Исходные данные для расчетов записываются в табл. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 *Приложения 1*.

Программа «Эколог» (версия 5.0)

Программа расчета приземных концентраций вредных веществ в атмосфере реализует основные зависимости и положения методики [3].

Программа позволяет по данным об источниках выброса загрязняющих веществ и в зависимости от условий местности рассчитывать разовые приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Рассчитываются приземные концентрации, как отдельных веществ, так и групп веществ с суммирующимся вредным воздействием. Общее количество веществ и групп суммаций в одном расчете практически не ограничено.

Программа проста в обращении, работа ведется в диалоговом режиме, в помощь пользователю предусмотрена система подсказок.

Для проведения расчетов загрязнения атмосферного воздуха программа использует исходные данные, структура которых представлена на рисунке 1.

Совокупность исходных данных, которых достаточно для проведения одного или нескольких расчетов загрязнения атмосферы, называют объектом расчета.

Меню отвечает за настройку древовидного представления исходных данных. Иерархия исходных данных следующая:

Город (данные о городе)

Район (данные о районе)

Предприятия (общие данные о предприятии)

Вариант исходных данных (исходный данные источников)

Вариант расчета (условия и результаты расчета).

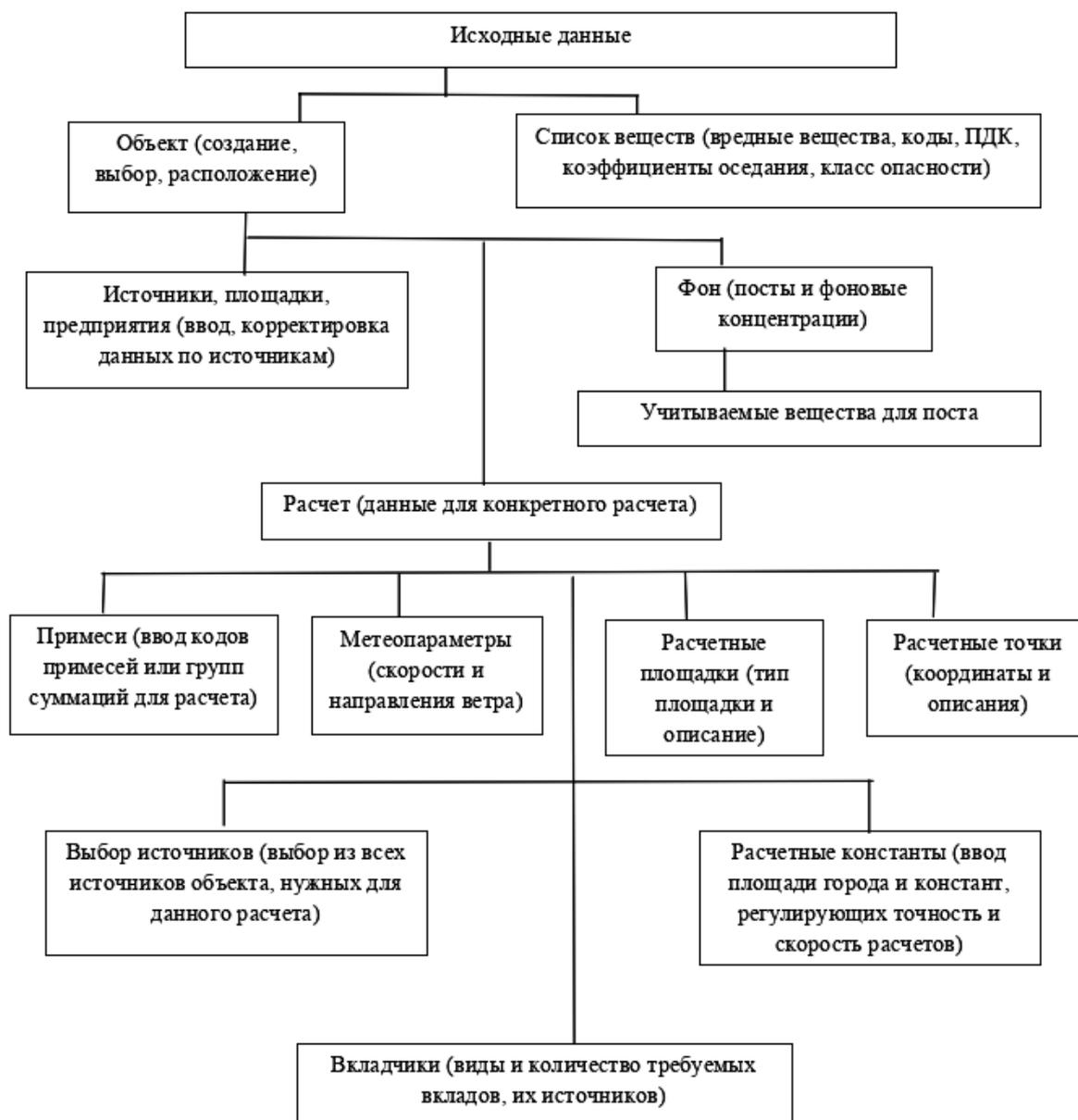


Рисунок 1 – Структура исходных данных к программе «Эколог»

Для заведения следующего уровня иерархии необходимо предварительное занесение всех предыдущих уровней.

Каждое предприятие обозначается своим номером.

Данные о предприятии заносит таблицу 1.1 *Приложения 1*:

- наименование предприятия;
- классификация отраслей и вида экономической деятельности (для курсовой работы заполнение необязательно);
- реквизиты предприятия (для курсовой работы заполнение необязательно);
- метеоусловия:
 - минимальная температура (зима), °С;

- максимальная температура (лето), °С;
- коэффициент стратификации – температурный коэффициент, зависящий от географической широты (в пределах от 100-500);
- максимальная скорость ветра – скорость, превышаемая в данной местности в среднем многолетнем режиме, наблюдается не более чем 5 % случаев.

Значение коэффициента стратификации, температуры окружающего воздуха (летний и зимний) и скорости ветра приведены в *Приложениях 4 и 5*.

В таблицу 1.2 «Справочник веществ и групп суммации» *Приложения 1* заносят информацию о загрязняющих веществах и группах суммации, подлежащую расчету. Данные о каждом веществе в группе суммации последовательно размещают в графах одной строки таблицы:

- код вещества – официальный четырехзначный код вещества (для кодов меньших 1000, первый нуль опускается);
- ПДК_{м.р.} – максимально-разовая предельно допустимая концентрация вещества;
- ПДК_{с.с.} – среднесуточная предельно допустимая концентрация вещества. В случае выбора ПДК среднесуточного при проведении расчетов оно автоматическим умножается на 10;
- ОБУВ – ориентировочно безопасный уровень воздействия вещества. Для групп суммации в этой графе находится значение коэффициента потенцирования;
- что используется – указывается какой из трех критериев используется при расчете концентрации в долях ПДК;
- коэффициент оседания – отражает скорость оседания загрязняющих веществ из воздуха на землю. Значение, занесенное в справочник, будет устанавливаться по умолчанию при добавлении данного вещества в состав выбора источника;
- класс опасности (I – V);
- агрегатное состояние.

Данные о веществах и группах суммаций берутся из справочника «Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух» СПб., 2012 г.

Данные, характеризующие источники выброса загрязняющих веществ в атмосферу, заносятся в таблицу 1.3 «Источники» *Приложения 1*.

Информация о каждом источнике выброса:

- Графа 1. Номер источника. Каждый источник выброса загрязняющих веществ инфицируется с помощью четырех чисел.
- Графа 2. Наименование источника.
- Графа 3. Тип источника – точечный, линейный или неорганизованный (в программе имеются 7 разных типов источников, но по набору исходных данных их можно разделить только на 3 группы).

- Графа 4. Площадка/Цех. Характеризуется, на какой площадке и в каком цеху расположены источник (в курсовой работе не заполняется).
- Графа 5. Высота источника над уровнем земли, в м.
- Графа 6. Диаметр устья источников, в м (для точечных источников).
- Графа 7. Объем (расход) газовой смеси, м³/с (для точечного линейного источника).
- Графа 8. Скорость выброса газа воздушной смеси, м/с (для точечного линейного источника). Для линейного источника в обязательном порядке заносится объем (расход) и скорость выброса газовой смеси. Для точечного источника заносятся любые два параметра из следующих трех: диаметр устья источника, объем (расход) и скорость выброса газовой смеси. Для расчета важно взаимное расположение источников, поэтому для расчета рассеивания от одиночного источника в ряде случаев координаты можно не заносить.
- Графа 9. Температура выбрасываемой газовой смеси, °С (для точечного линейного источника).
- Графы 10-14. Координаты источника на карте – схеме предприятия или местности.

Для расчета распределения приземных концентраций примесей на местности задают положение источников выбросов на этой местности:

- Положение точечного источника выбросов задается значениями координат X , Y (м) источника в прямоугольной системе координат.
- Положение линейного источника задается координатами двух противоположных концов, т.е. двумя парами чисел X_1 , Y_1 и X_2 , Y_2 .
- Положение и размеры площадного источника, который может быть только прямоугольным, задаются двумя парами координат X_1 , Y_1 и X_2 , Y_2 середин его противоположных сторон и шириной, определяемой величиной одной из этих сторон (рис. 2);

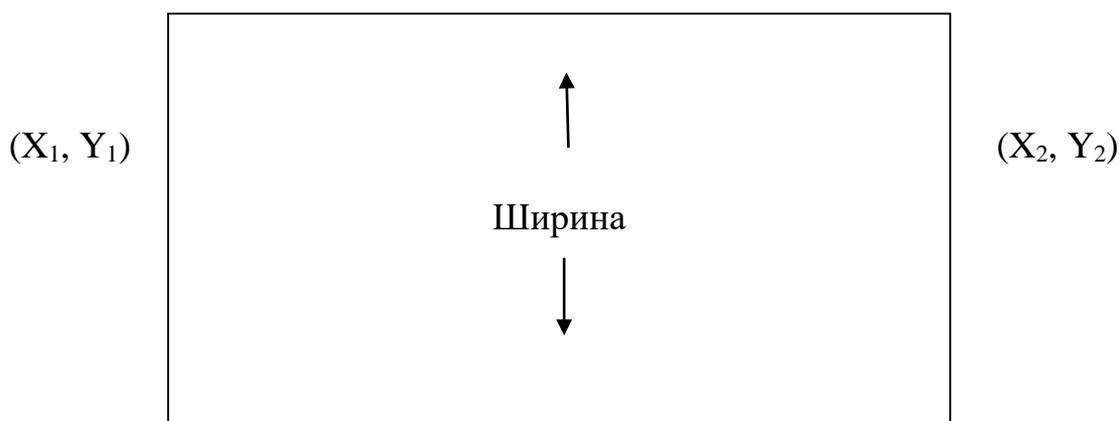


Рисунок 2 – Задание координат и ширины площадного источника

- Графа 15. Радиус нормативной санзоны (м) (в курсовой работе не заполняется, автоматически принимается 50).
- Графа 16. Коэффициент рельефа. Отражает влияние рельефа местности на рассеивание веществ. Равен 1, если в радиусе $R = 50 \cdot H$ от источника перепад отметок местности не превышает 50 м на 1 км (т.е. уклон не более 0,05).

В таблице 1.4 «Вещества» *Приложения 1* указывается, по каким из занесенных в окно «Вариант исходных данных для предприятия» веществ и как будет проводиться расчет. Кроме того, программа дает возможность учитывать интерполяцию фона (при его наличии), т.е. его затухание по мере удаления от поста. При отказе от интерполяции значение фоновой концентрации прибавляется к концентрации, создаваемой рассматриваемым источником в каждой расчетной точке.

При наличии фоновых концентраций сведения о них и о poste измерения фоновых концентраций заносят в таблицы 1.5 «Фон» и 1.6 «Учитываемые вещества для поста» *Приложения 1*. В графы 1-5 Таблицы 1.5 заносят номер, название и координаты поста, на котором измерены фоновые концентрации, а также учет этого поста в расчете. Для списка учитываемых веществ (графы 6) учитываются данные из таблицы 1.6. В этой таблице записывают код вещества, и параметры фоновых концентраций.

Множество значений величин скоростей и направлений ветра, рассматриваемое при поиске максимума концентраций в каждой расчетной точке, задается в таблице 1.7 «Справочник наборов метеопараметров» *Приложения 1*. Справочник наборов метеопараметров имеет вспомогательное значение. Вы можете воспользоваться им, если планируете использовать при проведении расчетов рассеивания по разным вариантам исходных данных или разным предприятиям одни и те же правила перебора метеопараметров (скоростей и направления ветра) в процессе определения их наилучшего сочетания.

В графе «Скорость ветра» задается множество скоростей ветра, для которых производится расчет. Возможны следующие типы задания величин скоростей ветра: «1» соответствует заданию скорости в м/с; «2» – в долях от средневзвешенной опасной скорости ветра $U_{м/с}$ рассчитываемой автоматически по формуле (4):

$$U_{м/с} = \frac{U_{м1} \cdot C_{м1} + U_{м2} \cdot C_{м2} + \dots + U_{мN} \cdot C_{мN}}{C_{м1} + C_{м2} + \dots + C_{мN}}, \quad (17)$$

где $C_{м1}, C_{м2}, \dots, C_{мN}$ – максимальная концентрация загрязняющего вещества, которую создают в данной точке местности источниками выбросов 1, 2, ... N.

$U_{м1}, U_{м2}, \dots, U_{мN}$ – опасные скорости ветра для источников выбросов 1, 2, ... N.

В общем случае рекомендуемый набор перебираемых скоростей ветра в соответствии с ОНД – 86: 0,5 м/с; 0,5 $U_{м.с}$; $U_{м.с}$; 1,5 $U_{м.с}$; U^* , м/с.

Множество перебираемых направлений ветра, задаваемых в градусах, заносится в графу «Направление ветра» таблицы 1.7.

Направление ветра задается по метеорологическому стандарту, т.е. отсчет идет от направления на север по часовой стрелке.

Для управления скоростью и точностью вычислений задаются расчетные константы.

При задании расчетных констант E_1 и E_2 вся совокупность источников, участвующих в расчете, разбивается на две группы: определяющие и не определяющие. Для последних перебор метеопараметров ведется менее жестко.

Критерием такого разделения служит выполнение неравенств:

$$\sum_{i=1}^M \left(\frac{C_{mi}}{\text{ПДК}_i} \right) \cdot E_1 > \sum_{i=M+1}^N \frac{C_{mi}}{\text{ПДК}_i}, \quad (18)$$

$$\sum_{i=M}^N \frac{C_{mi}}{\text{ПДК}_i} < E_2, \quad (19)$$

где C_{mi} – максимальная приземная концентрация, создаваемая i – источником по порядку в ряду источников, упорядоченному по убыванию C_m ;

N – общее число учитываемых в расчете источников;

M – число определяющих источников в упорядоченном описанным образом ряду источников;

E_1, E_2 – критерии выделения определяющих источников.

Эффективным средством сокращения вычислений является отказ от расчетов полей концентрации в случае выполнения условия:

$$\sum_{i=M}^N \frac{C_{mi}}{\text{ПДК}_i} < E_3,$$

где E_3 – константа целесообразности проведения расчетов. Используется для оценки целесообразности расчета рассеивания по тому или иному веществу. По умолчанию $E_1 = E_2 = E_3 = 0,01$.

Площадь города (влияние фона) S , км². Определяет круг с центром в центре тяжести постов измерения фона, внутри которого при расчете концентрации загрязняющих веществ значения фона берутся такими, какими их занес пользователь, а за пределами которого применяется специальный алгоритм снижения фоновых концентраций.

Расчеты приземных концентраций приводятся для совокупности задаваемых на местности расчетных точек. В программе предусмотрены два возможных способа задания расчетных точек. Можно задать отдельные расчетные точки в таблице 1.8 «Расчетные точки» (Приложение 1). Здесь можно задать набор расчетных точек, в которых программа определит значение концентрации, и сделать задание на определение точек максимальной концентрации и источников, дающих в концентрацию максимальные вклады.

Обычно задается сразу целое множество расчетных точек, расположенных в узлах прямоугольной сетки. Для этого в таблицу 1.9 «Расчетные площадки» (Приложение 1) заносят следующие данные:

- Графа 1. Номер расчетной площадки (условный).
- Графа 2. Тип – способ занесения координат площадки: «Автомат» или «Полное описание».

- Графы 3-6. Координаты середины 1-й и 2-й сторон прямоугольника X_1, Y_1 и X_2, Y_2, m (аналогично заданию площадного источника – см. рис. 2).
- Графа 7. Ширина. Если выбран тип «Полное описание» – расстояние между двумя другими сторонами площадки. Если выбран тип «Автомат» – расстояние от крайнего источника до края площадки, м.
- Графы 8-9. Шаг по ширине и длине. Построение расчетной сетки, в узлах которой производится расчет.
- Графа 10. Высота расчетной площадки над землей.

Расчетную площадку следует выбирать так, чтобы в нее вошли точки с максимальными концентрациями. Максимальные концентрации создаются, как правило, на расстоянии $10H$ от источника (H – высота наиболее высокой трубы на промплощадке, м). Таким образом, расчетная площадка должна иметь размеры $40H \times 40H$ (т.е. по $20H$, отсчитывая расстояние от наиболее высокой трубы в каждую сторону).

Программа дает возможность задать требуемое число выводимых точек максимальных по прямоугольнику концентраций (упорядоченных по убыванию) и число вкладов отдельных источников (по убыванию концентраций) в точках максимальных концентраций, отдельных расчетных точках и в точках поля.

В каждой расчетной точке прямоугольника может быть напечатано до 4 вкладов, в точках максимальных концентраций или отдельных расчетных точках – до 20. Количество вкладов и точек максимальных концентраций задают в таблице 1.10 «Вкладчики» (Приложение 1).

7. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Программа расчета загрязнения атмосферы (ПРЗА) «Эколог» дает возможность получить результаты расчета для каждого загрязняющего вещества в виде распечаток:

- 1) полей концентраций (с учетом вкладов и без);
- 2) точек максимальных концентраций (с учетом вкладов и без);
- 3) концентраций с расчетных точек (с учетом вклада и без);
- 4) карт с изолиниями концентраций.

Распечатка «Поле максимальных концентраций» (пример представлен на рисунке 3) содержит информацию о величинах приземных концентраций в каждом узле расчетной площадки, вкладах конкретных источников в эти концентрации (по убыванию), а также о направлениях и скоростях ветра, при которых эти концентрации создаются.

Распечатка «Точки максимальных концентраций» (пример представлен на рисунке 4) представляет собой выборку точек с наибольшими величинами концентраций из всей совокупности узлов расчетной сетки (количество точек задается при задании параметров расчета рассеивания).

В распечатке «Множество расчетных точек» (пример представлен на рисунке5) представлена та же информация, что и в предыдущих, но для заданных в таблице 1.8 *Приложения 1* расчетных точек, задаваемых обычно на границе СЗЗ, жилой зоне, в зоне отдыха населения, вблизи детских учреждений, больниц и т.д.

Основное назначение распечатки «Карта изолиний» (изолинии строятся по точкам с одинаковыми концентрациями, в долях ПДК) – получение наглядной картины загрязнения атмосферы на расчетной площадке (пример представлен на рисунке 6). Кроме того, по карте изолиний можно оценить правильность выбора расчетной площадки. Если границы, размеры расчетной площадки и шаги по Хи У выбраны правильно, то максимальные суммарные концентрации попадут на расчетную площадку, а по изолинии можно будет судить о возрастании концентраций до максимума и последующем их снижении в пределах расчетной площадки.

Результаты расчета и вклады по веществам (расчетные площадки)

Вещество: 0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)

Площадка: 1

Поле максимальных концентраций

Коорд X(м)	Коорд Y(м)	Концентр. (д. ПДК)	Напр. ветра	Скор. ветра	Фон (д. ПДК)	Фон до исключения
1450	26498	0,01	41	1,73	0,000	0,000
1450	26534	0,01	43	1,73	0,000	0,000
1450	26570	0,01	46	1,73	0,000	0,000
1450	26606	0,01	48	1,73	0,000	0,000
1450	26642	0,01	52	1,73	0,000	0,000
...						
15224	27290	0,01	221	1,73	0,000	0,000

Рисунок 3 – Результаты РЗА. После максимальных концентраций (вывод данных программы «Эколог»)

Чтение информации: первая строчка – в точке на местности с координатами X = 14540 м и Y = 26498 м суммарная концентрация диоксида азота в долях ПДК равна 0,01. Эта концентрация устанавливается при направлении ветра 41 ° и скорости ветра 1,73 м/с. Данные по фону не установлены.

Результаты расчета и вклады по веществам(расчетные площадки)

Вещество: 0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)

Коорд X(м)	Коорд Y(м)	Концентр. (д. ПДК)	Напр. ветра	Скор. ветра	Фон (д. ПДК)	Фон до исключения
15014	26981	0,02	216	0,78	0,000	0,000

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,02	99,65
0	0	1	6,3 e-5	0,35

14896	26828	0,02	37	0,78	0,000	0,000
-------	-------	------	----	------	-------	-------

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,02	94,33
0	0	1	9,8 e-4	5,67

14778	26974	0,02	102	1,32	0,000	0,000
-------	-------	------	-----	------	-------	-------

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,021	71,65
0	0	1	4,8 e-3	28,35

Рисунок 4 – Результаты РЗА в точке максимальных концентраций (вывод данных программы «Эколог»)

Чтение информации: точка 1 – в точке на местности с координатами X = 15014 м и Y = 26981 м суммарная концентрация диоксида азота в долях ПДК равна 0,02. Эта концентрация устанавливается при направлении ветра 216° и скорости ветра 0,78 м/с. Данные по фону не установлены. Вклад источника № 6002 составляет 0,02 д. ПДК или 99,65 % от суммарного значения, источника № 0001 составляет 0,000063 д. ПДК или 0,35 %.

Максимальные концентрации и вклады по веществам (расчетные площадки)

Вещество: 0301 Азота диоксид (Азот (IV) оксид)

Площадка: 1

Коорд X(м)	Коорд Y(м)	Концентр. (д. ПДК)	Напр. ветра	Скор. ветра	Фон (д. ПДК)	Фон до исключения
14936	26858	0,03	24	0,50	0,000	0,000

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,03	99,63
0	0	1	9,9 e-5	0,37

14972	26930	0,02	208	0,50	0,000	0,000
-------	-------	------	-----	------	-------	-------

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,02	100,00
---	---	------	------	--------

15008	26930	0,02	247	0,50	0,000	0,000
-------	-------	------	-----	------	-------	-------

Площадка Цех Источни Вклад в д. ПДК Вклад %

0	0	6002	0,020	99,81
0	0	1	4,6 e-5	0,19

Рисунок 5 – Результаты РЗА по множеству расчетных точек (вывод данных программы «Эколог»)

Чтение информации: точка 1/первая строчка – в точке максимальной концентрации с координатами $X = 14936$ м и $Y = 26858$ м суммарная концентрация диоксида азота в долях ПДК равна 0,03. Эта концентрация устанавливается при направлении ветра 24° и скорости ветра 0,50 м/с. Данные по фону не установлены. Вклад источника №0001 – 0,00009 д. ПДК или 0,37 %.

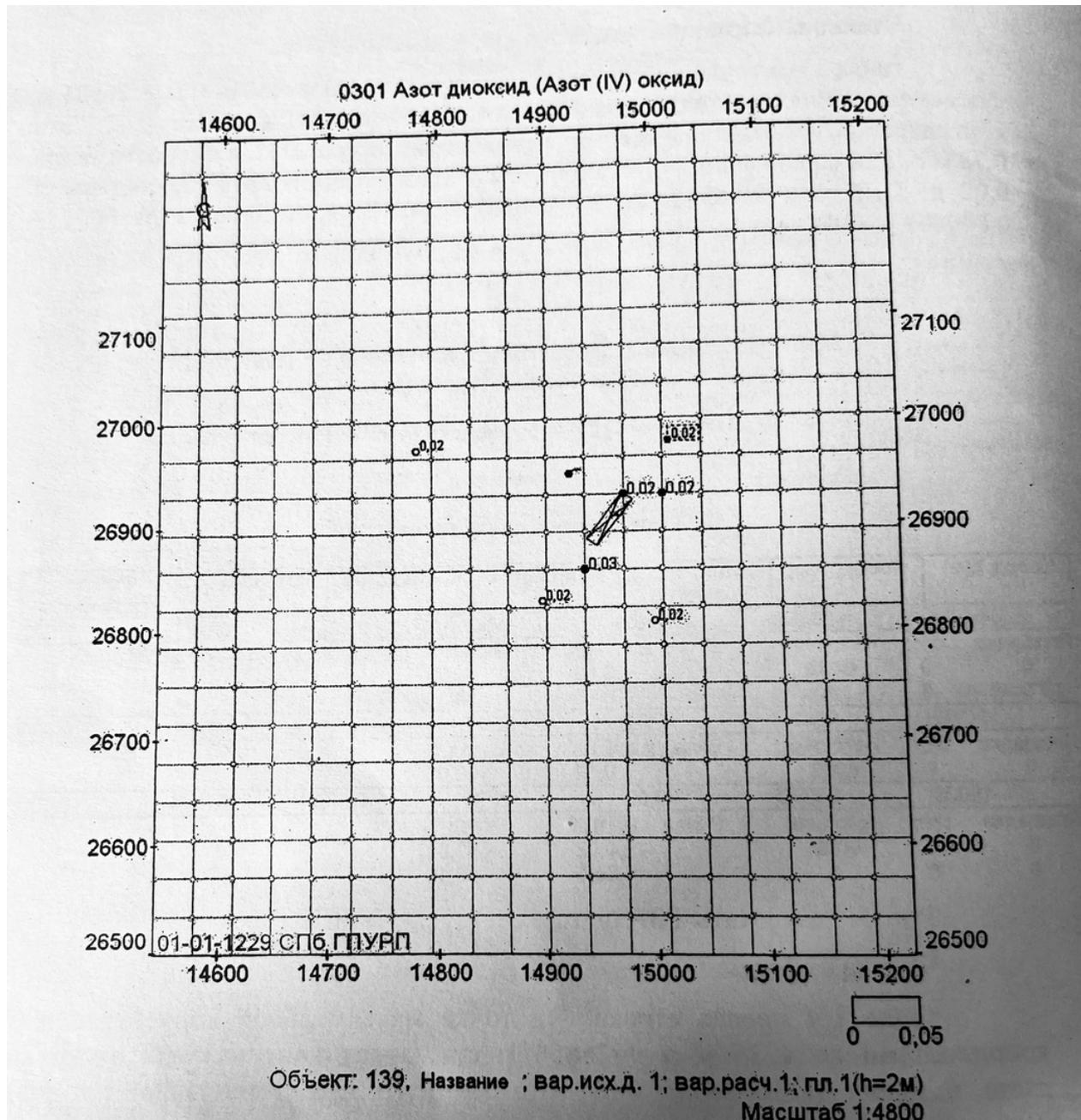


Рисунок 6 – Карта с изолиниями концентраций

Анализ результатов расчета ведется по распечаткам «Точки максимальных концентраций» в тех случаях, когда суммарные максимальные концентрации в них создаются в жилой зоне, а не на промплощадке предприятия, или по распечаткам «Множество расчетных точек», если суммарные максимальные концентрации, создаваемые в жилой зоне, выше в них.

Результаты анализа сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Перечень источников, дающих максимальные вклады в уровень загрязнения атмосферы

Код и наименование вещества	№ контрольной точки	Расчетная максимальная концентрация в жилой зоне, д. ПДК	Источники, дающие наибольший вклад в максимальную концентрацию	
			№ источника на карте-схеме	% вклада
1	2	3	4	5

При наличии фона указывается суммарная наибольшая концентрация с учетом фона.

8. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

При необходимости поэтапного нормирования должны быть предложены мероприятия, позволяющие сократить выбросы до такого уровня, при котором условие $\frac{c+c_{\text{ф}}}{\text{ПДК}} \leq 1$ выполняется [9].

Для веществ, не образующих группу суммации, мероприятия рассчитываются следующим образом.

Допустим, при анализе по саже выявлено, что суммарная концентрация составляет 1,7 долей ПДК, при этом вклад ист. №1 – 1,5 долей ПДК; ист. №2 – 0,2 долей ПДК.

Основное условие: c (в д. ПДК) ≤ 1

Вклад ист. № 2 – 0,2 ПДК, таким образом, если не оснащать очисткой ист. № 1 составит: $1 - 0,2 = 0,8$ ПДК

Тогда требуемая степень очистки ист. № 1 составит:

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{c_{\text{н}} - c_{\text{к}}}{c_{\text{н}}} \cdot 100 \% = \frac{1,5 - 0,8}{1,5} \cdot 100 \% = 46,7 \%, \quad (20)$$

где $C_{\text{н}}$ – начальная приземная концентрация, создаваемая в атмосферном воздухе, д. ПДК;

$C_{\text{к}}$ – конечная концентрация, которую следует достигнуть, д. ПДК.

Данному условию удовлетворяет, например, пылевая камера с $\eta = 50 \%$.

Далее определяется мощность выброса M' от источника после установки системы очистки:

$$M' = M (1 - \eta/100), \quad (21)$$

где M – мощность выброса до установки системы очистки, г/с; т/год.

Ниже приведены ориентировочные значения достигаемых степеней очистки для некоторых видов пылеулавливающего оборудования:

1. Установка пылевой камеры – $\eta = 50$ % (за исключением мазутной золы).
2. Установка инерционного осадителя – $\eta = 70$ % (за исключением мазутной золы).
3. Установка циклонной установки – $\eta = 80-90$ %.

Схема выбранного способа очистки дымовых газов должна быть приведена и описана в пояснительной записке.

По согласованию с руководителем курсовой работы в качестве мероприятия может быть предложено применение топлива с меньшим содержанием S_p %, если требуется осуществить мероприятия по сокращению выбросов SO_2 .

Степень очистки для мероприятий по уменьшению выбросов диоксида серы составляют:

1. Известняковый способ (очистка взвесью $CaCO_3$): η – до 70 %.
2. Известковый способ (очистка взвесью $Ca(OH)_2$): η – до 90 %.
3. Натронный способ (очистка взвесью $NaOH$): η – до 99 %.

Сокращение выбросов оксидов азота в атмосферу может быть достигнуто уменьшением коэффициента избытка воздуха, а также рециркуляцией части дымовых газов в топке котла. При этом может быть достигнуто сокращение выбросов оксидов азота на 30-50 %.

Для веществ, образующих группу суммации, например, SO_2 и NO_2 , анализ ведется следующим образом (табл. 3):

Таблица 3 – Результаты РЗА

№ источника	Концентрации загрязняющих веществ и группы суммации, д.ПДК		
	SO_2	NO_2	группа
Ист. №1	0,3	0,7	1,0
Ист. №2	0,4	0,1	0,5
По группе суммации	0,7	0,8	1,5

Требуется выполнить условие:

$$Q = \frac{C_{SO_2}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} \leq 1 \quad (22)$$

или представить эту формулу более подробно:

$$\frac{C_{SO_2}^1}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{SO_2}^2}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{NO_2}^1}{ПДК_{NO_2}} + \frac{C_{NO_2}^2}{ПДК_{NO_2}} \leq 1. \quad (23)$$

В данном случае выбор мероприятий следующий.

По ист. № 1 предлагаются мероприятия по внедрению системы подавления выбросов от NO₂ за счет рециркуляции дымовых газов и уменьшения коэффициента избытка воздуха. Эффективность данного мероприятия составит примерно 50т %.

Тогда:

$$c'_{NO_2} = c_{NO_2} \cdot (1-\eta/100) = 0,70 \cdot (1-50/100) = 0,35 \text{ ПДК}$$

Квота для ист. №1 по SO₂ в этом случае составит:

$$1 - (0,35+0,4+0,1) = 0,15 \text{ ПДК}$$

Тогда для ист. №1 по SO₂ требуемая степень очистки должна быть равной:

$$\eta_{\text{тр.}SO_2}^1 = \frac{c_H - c_K}{c_K} \cdot 100 \% = \frac{0,3 - 0,15}{0,3} \cdot 100 \% = 50 \%. \quad (24)$$

Выбираем известняковый способ очистки выбросов от диоксида серы с эффективностью до 70 %. В этом случае для ист. №1 установка очистки выбросов не требуется.

Далее необходимо рассчитать мощность выбросов после установки очистки: M'_{SO_2} и M'_{NO_2}

Степень очистки для прочих мероприятий по уменьшению выбросов можно найти в работах Родионова Л.В., Вальдберга, А. Ю. и справочнике по пыле- и золоулавливанию [10, 12, 13].

Полученные величины количеств загрязняющих веществ предлагаются в качестве нормативов ПДВ.

Если с помощью средств очистки не удастся сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу до ПДВ, то в качестве дополнительного мероприятия может быть предложено сокращение тепловой мощности ТЭЦ на 10-20 %.

В исключительных случаях и по согласованию с органами экологической экспертизы нормирование может быть осуществлено в 2-3 этапа с временными промежутками между этапами в 2-3 года.

На каждый этап нормирования производится РЗА на ЭМВ с анализом полученных результатов.

9. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО НОРМАТИВАМ ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Если в результате анализа будет установлено, что для любого вещества обеспечивается условие выражения (1), то нормативы ПДВ обосновываются в один этап.

Предложения по нормативам ПДВ базируются в этом случае на данных таблицы 1 и сводятся в таблицу 4.

Если по результатам РЗА условие выражения (1) не обеспечивается, то необходимо предложить мероприятия по уменьшению выбросов загрязняющих

веществ в атмосферу. Тогда на первом этапе предлагаются нормативы, которые также базируются на данных таблицы 1 (существующие положение – до мероприятий), а начиная со следующего года после внедрения мероприятий – рассчитанные в разд. 8 величины выброса.

Таблица 4 – Нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Код	Наименование вещества	№ Ист	Выброс веществ сущ. положение на 2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030	
			г/с	т/год	г/с	т/год	г/с	т/год	г/с	т/год	г/с	т/год	г/с	т/год	г/с	т/год
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	2	3														

10. КОНТРОЛЬ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ НОРМАТИВОВ ПДВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Контроль за соблюдением нормативов ПДВ на предприятии производится непосредственно на источниках выбросов.

В данной работе контроль соблюдения нормативов ПДВ разрабатывается на существующее положение (до мероприятий).

При контроле источников выбросов должно обеспечиваться условие:

$$M \leq \text{ПДВ}. \quad (25)$$

Система контроля за соблюдением нормативов ПДВ включает контроль за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу от источников предприятия с целью определения их соответствия установленным значениям ПДВ (ВСВ).

Согласно Приказу Минприроды России [11] все источники загрязнения предприятия, подлежащего контролю, делят на четыре категории (I, II, III, IV) с подразделением I, II и III категорий на 2 подкатегории (IA, IB; IIA, IIB; IIIA, IIIB).

К I категории относятся источники, для которых выполняются условия:

$$\text{IA: } C_i / \text{ПДК} \geq 0,5 \text{ и } M / (\text{ПДК} * H) > 5;$$

$$\text{IB: } C_i / \text{ПДК} \geq 0,5 \text{ и } 0,001 < M / (\text{ПДК} * H) \leq 5,$$

где C_i – максимальная расчетная приземная концентрация i -го загрязняющего вещества, создаваемая данным источником загрязнения на границе ближайшей жилой застройки;

M – максимальная величина загрязняющего вещества из источника, г/с;

H – высота источника, м.

Ко II категории относятся источники, для которых выполняются условия:

$$\text{IIA: } C_i / \text{ПДК} < 0,5 \text{ и } M / (\text{ПДК} * H) > 5;$$

$$\text{ШБ: } C_i/\text{ПДК} < 0,5 \text{ и } 0,001 < M/(\text{ПДК} \cdot H) \leq 5$$

и для рассматриваемого источника разработаны мероприятия по сокращению выбросов данного вещества в атмосферу.

К **III категории** относятся источники, для которых выполняются условия:

$$\text{ША: } C_i/\text{ПДК} < 0,5 \text{ и } M/(\text{ПДК} \cdot H) > 5;$$

$$\text{ШБ: } C_i/\text{ПДК} < 0,5 \text{ и } 0,001 < M/(\text{ПДК} \cdot H) \leq 5$$

и за норматив ПДВ принимается фактический выброс.

К **IV категории** относятся источники, для которых выполняются условия:

$$\text{IV: } C_i/\text{ПДК} < 0,5 \text{ и } M/(\text{ПДК} \cdot H) < 0,001.$$

Периодичность контроля на источниках в зависимости от категории:

IA категория – 1 раз в месяц; **IB категория** – 1 раз в квартал; **IIA категория** – 1 раз в квартал; **IIB категории** – 2 раза в год; **IIIA категория** – 2 раза в год; **IIIB категория** – 1 раз в год; **IV категория** – 1 раз в 5 лет.

Исходные данные и результаты расчета категорий источников представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета категорий источников

Ист. выброса, номер	Вещество		C _i /ПДК	M, г/с	ПДК м.р., мг/м ³	H, м	M/(ПДК·H)	Категория выброса
	Код	Название						
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Методики и средства контроля приведены в методическом пособии по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [9], а нормативы на содержание загрязняющих веществ в атмосфере – приведены в санитарных правилах и нормах СанПиН 1.2.3685-21 [14].

Форма плана-графика контроля за соблюдением нормативов выбросов на источниках приведена в таблице 6.

Форма плана-графика контроля загрязнения атмосферного воздуха на стационарных постах приведена в таблице 7. Для контроля выбирают 2-3 контрольных точки.

Координаты постов X и Y выбираются из распечатки результатов РЗА на ЭВМ преимущественно в точках расчетной площадки, в которой концентрации загрязняющих веществ имеют наибольшие значения.

Расчетные концентрации, приведенные в распечатках для соответствующих точек, рассматриваются при контроле как эталон.

Нормативы ПДВ будут соблюдаться, если измеренные на стационарных постах концентрации не будут превышать значений, указанных в таблице.

Следует указать, что при такого рода контроле отборы проб производятся по правилам, соответствующим контролю максимальных разовых ПДК.

Методика и средства контроля загрязнения атмосферного воздуха указываются согласно стандартам методики [12].

Таблица 6 – План-график контроля за соблюдением нормативов ПДВ на источниках выбросов

Наименование источника	Номер	Выбрасываемое вещество		Периодичность контроля	Норматив выброса		Кем осуществляется контроль	Методика проведения контроля
		Код	Наименование		г/с	мг/м ³		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 7 – План-график контроля за соблюдением нормативов выбросов по измерениям концентраций в атмосферном воздухе

Наименование источника	Номер источника	Контрольная точка			Контролируемое вещество		Концентрация в атмосферном воздухе, мг/м ³	Метеоусловия		Периодичность контроля	Кем осуществляется	Методика проведения контроля
		Номер	Координаты, м		Код	Наименование		Направление ветра, град	Скорость, м/с			
			Х	У								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 15.04.2025). – Текст : электронный.
2. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов = Nature protection. Atmosphere. Air quality control regulations for populated areas : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3995 : введен впервые : дата введения 1987-01-01. – М. : Стандартинформ, 2005. – 4 с. – Текст: непосредственный.
3. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» : [Зарегистрирован в Минюсте России 10.08.2017 № 47734] // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765/ (дата обращения: 15.04.2025). – Текст : электронный.
4. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или меньше 20 Гкал в час. – М. : Издание подготовлено при участии Фирмы «Интеграл», 1999. – 27 с. – Текст : непосредственный.
5. Методическое письмо НИИ «Атмосфера» № 335/33-07 от 17 мая 2000 г. «О проведении расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час». – СПб 2000. – 10 с. – Текст : непосредственный.
6. Роддатис, К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Роддатис. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 488 с. – Текст : непосредственный.
7. Очистка и рекуперация промышленных выбросов : учебник для вузов / В. Ф. Максимов, И. В. Вольф, Т. А. Винокурова [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 416 с. – Текст : непосредственный.
8. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог» версия 5.0. Инструкция пользователя. – СПб.: Фирма «Интеграл», 2008. – 14 с. – Текст : непосредственный.
9. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. – перераб. и доп. – СПб.: НИИ «Атмосфера», 2012. – 145 с. – Текст : непосредственный.
10. Техника защиты окружающей среды / Л. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников [и др.]. – М.: Химия 1989. – 512 с. – Текст : непосредственный.
11. Российская Федерация. Законы. Приказ Минприроды России от 19.11.2021 № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации

стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки». – 2021. – 29 с. – Текст: непосредственный.

12. Вальдберг, А. Ю. Технология пылеулавливания / А. Ю. Вальдберг, Л. М. Исянов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 192 с. – Текст : непосредственный.

13. Справочник по пыле- и золоулавливанию / под общ. ред. А. А Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 76 с. – Текст : непосредственный.

14. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 (ред. от 30.12.2022) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"» // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/ (дата обращения: 05.04.2025). – Текст : электронный.

15. Оформление текстовой части курсовой работы и курсового проекта. Краткая выписка из ГОСТ 7.32-2017 «Отчет о научно- исследовательской работе. Структура и правила оформления» : методические рекомендации для студентов и преподавателей / сост.: М. Д. Баранова, А. Ю. Котова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. – 20 с. – URL: <http://nizrp.narod.ru/recomedation.pdf> (дата обращения: 05.04.2025). – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Форма заполнения исходных данных для расчета загрязнения атмосферного воздуха

Таблица 1.1. – Данные предприятия

Название предприятия	Метеоусловия			
	Минимальная температура (зима), °С	Максимальная температура (лето), °С	Коэффициент стратификации	Максимальная скорость ветра, м/с
1	2	3	4	5

Таблица 1.2 – Справочник веществ и групп суммации

Код вещества	Наименование вещества	ПДК				Коэффициент оседания	Класс опасности	Агрегатное состояние
		Максимально разовая	Среднесуточная	ОБУВ	Что используют			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 1.3 – Источники

Номер источника	Наименование источника	Площадь/цех	Высота, м	Диаметр устья, м	Объем (расход) ГСВ, м ³ /с	Температура ГСВ, °С
1	2	3	4	5	6	7
Локальные координаты, м				Ширина площадного источника (м)	Радиус нормативной санзоны источника (м)	Коэффициент рельефа
X1	X2	Y1	Y2			
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 1.4 – Вещества

Код вещества	Название вещества	ПДК	Расчет вещества	Учет фона	Интерполяция фона	Поправочный коэффициент к ПДК/ОБУВ
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 1.5 – Фон

Номер поста	Название поста	Координаты поста (м)		Учет поста	Список учитываемых веществ
		X	Y		
1	2	3	4	5	6

Таблица 1.6 – Учитываемые вещества для поста

Код вещества	Название вещества	Фоновые концентрации				
		Штиль	Север	Восток	Юг	Запад
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 1.7 – Справочник наборов метеопараметров

Скорости ветра		Направления ветра			Фиксированные пары	
Размерность	Скорость	Шаг (град)	Начальный сектор (град)	Конечный сектор (град)	Направление ветра (град)	Скорость ветра (град)

Таблица 1.8 – Расчетные точки

Номер точки	Координаты точки (м)		Тип точки	Высота точки	Комментарии	Расчетная площадка
	X	Y				
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 1.9 – Расчетные площадки

Номер площадки	Тип	Полное описание площадки				Шаг		Высота площадки, м	
		Координаты середины 1-ой стороны, м		Координаты середины 2-ой стороны, м		Ширина, м	По ширине		По длине
		X1	Y1	X2	Y2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 1.10 – Вкладчики

Вклад от...	Код предприятия	Площадка/цех	Источник	Комментарии
1	2	3	4	5

Приложение 2

Выборка из справочника «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"»

Код	Наименование	Размерность	ПДК м.р.	ПДК с.с.	ОБУВ	Класс	Твердое	ЛОС	Формула
110	диВанадий пентоксид (пыль) (Ванадия пятиокись)	мг/м ³	–	0,002	–	1	да	нет	O ₅ V ₂
123	диЖелезо триоксид/в пересчете на железо/ (Железо оксид)	мг/м ³	–	0,04	–	3	да	нет	Fe ₂ O ₃
138	Магний оксид	мг/м ³	0,4	0,05	–	3	да	нет	MgO
143	Марганец и его соединения/в пересчете на марганец (IV) оксид/	мг/м ³	0,01	0,001	–	2	да	нет	–
178	Ртуть оксид/в пересчете на ртуть/ (Ртуть окись красная; Ртуть окись желтая)	мг/м ³	–	0,0003	–	1	да	нет	HgO
228	Хрома трехвалентные соединения /в пересчете на Cr(3+)/	мг/м ³	–	–	0,01	–	да	нет	–
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	мг/м ³	0,2	0,004	–	3	да	нет	NO ₂
302	Азотная кислота/по молекуле HNO ₃ /	мг/м ³	0,4	0,15	–	2	нет	нет	HNO ₃
303	Аммиак	мг/м ³	0,2	0,04	–	4	нет	нет	NH ₃
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	мг/м ³	0,4	0,06	–	3	нет	нет	NO
322	Серная кислота	мг/м ³	0,3	0,1	–	2	нет	нет	H ₂ O ₄ S
328	Углерод (Сажа)	мг/м ³	0,15	0,05	–	3	да	нет	C
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	мг/м ³	0,5	0,05	–	3	нет	нет	O ₂ S
331	Сера элементарная	мг/м ³	–	–	0,07	–	да	нет	S
332	диСера дихлорид (Сера хлорид)	мг/м ³	–	–	0,01	–	нет	нет	Cl ₂ S ₂
333	Дигидросульфид (Сероводород)	мг/м ³	0,008	–	–	2	нет	нет	H ₂ S
337	Углерод оксид	мг/м ³	5	3	–	4	нет	нет	CO
402	Бутан	мг/м ³	200	–	–	4	нет	да	C ₄ H ₁₀
410	Метан	мг/м ³	–	–	50	–	нет	нет	CH ₄

Код	Наименование	Размерность	ПДК м.р.	ПДК с.с.	ОБУВ	Класс	Твердое	ЛОС	Формула
703	Бенз/а/пирен (3,4 – Бензпирен)	мг/м3	–	0,000001	–	1	да	нет	C_2OH_{12}
1088	Глюкоза	мг/м3	–	–	0,1	–	да	нет	$C_6H_{12}O_6$
2732	Керосин	мг/м3	–	–	1,2	–	нет	да	–
2902	Взвешенные вещества (недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов)	мг/м3	0,5	0,15	–	3	да	нет	–
2903	Зола сланцев	мг/м3	0,3	0,1	–	3	да	нет	–
2904	Мазутная зола теплостанций/в пересчете на ванадий	мг/м3	–	0,002	–	2	да	нет	–
2905	Пыль аэрозоле образующих взрыв подавляющих составов/по хлориду натрия/	мг/м3	–	–	0,1	–	да	нет	–
2906	Мелиорант (смесь: кальций карбонат, хлорид, сульфат – 79 %; кремний диоксид – 10-13 %; магний оксид – 3,5 %; железо оксид – 1,6 % и др.) (Пыль мелиоранта)	мг/м3	0,5	0,05	–	4	да	нет	–
2907	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния более 70 % (динас и др.)	мг/м3	0,15	0,05	–	3	да	нет	–
2908	Пыль неорганическая, содержащая 70-20 % двуокиси кремния (шамон, цемент, пыль цементного производства – глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола кремнезем и др.)	мг/м3	0,3	0,1	–	3	да	нет	–

Код	Наименование	Размер- ность	ПДК м.р.	ПДК с.с.	ОБУВ	Класс	Твердое	ЛОС	Формула
2909	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния менее 20 % двуокиси кремния (доломит, пыль цементного производства – и звестняк, мел, огарки, сырьевая смесь, пыль вращающихся печей, боксит и др.)	мг/м ³	0,5	0,15	–	3	да	нет	–
2962	Пыль бумаги	мг/м ³	–	–	0,1	–	да	нет	–
3714	Зола углей Подмосковского, Печерского, Кузнецкого, Донецкого, Экибастузского, марки Б1 Бабаевского и Тюльганского месторождений (с содержанием SiO ₂ свыше 20 до 70 %)	мг/м ³	–	–	0,3	–	да	нет	–

Вид, марка, характеристика продуктов сгорания топлива

Вид топлива	Марка топлива	Характеристика продуктов сгорания	
		Объем воздуха, V^0 , м ³ /кг (нм ³ / нм ³)	Выход продуктов сгорания, V_{Γ}^0 , м ³ /кг (нм ³ / нм ³)
твердое	Уголь Кузнецкий марки Т	6,87	7,28
твердое	Уголь Кузнецкий марки Д	6,49	7,07
твердое	Уголь Кузнецкий марки С	6,86	7,34
твердое	Уголь Печорский марки Ж	6,82	7,28
твердое	Уголь Печорский марки Д	4,88	5,35
твердое	Уголь Экибастузский	4,55	4,95
твердое	Уголь Донецкий марки М	5,52	6,06
жидкое	Мазут малосернистый М-100	10,62	11,48
жидкое	Мазут сернистый М-100	10,45	11,28
жидкое	Мазут высокосернистый М-100	10,2	10,99
газообразное	Газ природный (нитка Серпухов-Ленинград)	10,0	11,22
газообразное	Газ природный (смесь из Западной Сибири)	9,72	10,91

Средние температуры наружного воздуха наиболее холодного и наиболее теплого месяца года

Город, поселок	Средняя температура наружного воздуха	
	наиболее холодного месяца	наиболее теплого месяца
Пос. Сясьстрой (Ленинградская область)	- 8,4	19,6
г. Воркута (республика Коми)	- 20,2	15,5
г. Липецк	- 8,4	24,4
г. Вологда	- 10,8	21,1
г. Екатеринбург	- 13,7	20,7
г. Сегежа (республика Карелия)	- 12,7	21,6
г. Сургут	- 21,2	19,6
г. Кириши (Ленинградская область)	- 8,7	21,6
г. Инта (республика Коми)	- 17,0	19,1
г. Петрозаводск (республика Карелия)	- 10,1	18,6
г. Архангельск	- 12,0	18,6
г. Бийск (Алтайский край)	- 14,2	24,2
г. Санкт-Петербург	- 7,0	20,6
г. Тихвин (Ленинградская область)	- 6,2	20,9
г. Сыктывкар (республика Коми)	- 14,6	20,3
г. Барнаул (Алтайский край)	- 15,0	23,9
г. Омск	- 17,5	22,4
г. Кемерово	- 17,1	21,8
г. Белгород	- 6,5	24,8
г. Новокузнецкий (Кемеровская область)	- 15,1	24,1

Рекомендуемое значение $U^* = 7,0$ м/с для всех перечисленных в таблице объектов

**Значение коэффициента стратификации А
(выборка из приказа Минприроды № 273)**

Значение коэффициента А, соответствующие неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

а) 250 – для районов Средней Азии южнее 40° с. ш., Бурятии и Читинской области;

б) 200 – для европейской территории РФ: для районов РФ южнее 50° с. ш., для остальных районов Нижняя Поволжья, Кавказа, Молдавии; для азиатской территории РФ: для Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и средней Азии;

в) 180 – для Европейской территории РФ и Урала от 50 до 52° с. ш., за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов и Украины;

г) 160 – для Европейской территории РФ и Урала севернее 52° с. ш. (за исключением центра ЕТС), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне 50 до 52° с. ш., – 180, а южнее 50 с. ш. – 200);

д) 140 – для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Примечание: Для других территорий значений коэффициента А должны приниматься соответствующими значениями коэффициента А для районов РФ с сходными климатическими условиями турбулентного объема.