

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра экологии и природопользования

РАСЧЁТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рекомендовано к изданию Редакционно – издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения «Оренбургский государственный университет» в качестве
методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего
образования для всех специальностей и направлений подготовки

Оренбург
2016

УДК 502.3:614.3/4(076.5)

ББК 20.18я7+51.21я7

Р 24

Рецензент – заведующий кафедрой машиноведения ОГУ, кандидат технических наук, доцент А.В. Колотвин

Авторы: Т.А. Евстифеева, А.С. Степанов, М.А. Коваль, Е.Л. Хвостенко

Р 24 Расчёт предельно-допустимых выбросов и определение границ санитарно-защитной зоны предприятий: методические указания /Т.А. Евстифеева, А.С. Степанов, М.А. Коваль, Е.Л. Хвостенко; Оренбургский государственный университет.- Оренбург: ОГУ, 2016.-32 с.

Методические указания разработаны для студентов, изучающих дисциплину «Экология», содержат методику и пример расчета величины предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в воздушный бассейн, а также перечень воздухоохраных мероприятий.

УДК 502.3:614.3/4(076.5)

ББК 20.18я7+51.21я7

© Евстифеева Т.А.,

Степанов А.С.,

Коваль М.А.,

Хвостенко Е.Л., 2016

© ОГУ, 2016

Содержание

1	Общие положения.....	4
2	Методика расчета.....	11
3	Варианты заданий и пример расчета.....	17
4	Мероприятия по охране воздушного бассейна.....	28
5	Содержание отчета по выполненной работе.....	30
6	Список использованных источников.....	32

Общие положения

Под загрязнением атмосферы понимают поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

Единственным природным способом предотвращения загрязнения атмосферы является её способность к самоочищению.

Загрязняющие вещества выводятся из атмосферы в составе жидких и твёрдых осадков, в процессах сухого осаждения, а также нейтрализуются, вступая в реакции с природными соединениями. Но объёмы и концентрации современных промышленных, транспортных и бытовых выбросов в атмосферу намного превышают её природные способности к самоочищению.

Это приводит к изменению состава атмосферы, ее свойств, ухудшает качество атмосферного воздуха и вызывает локальные, региональные и глобальные проблемы. Их проявления сопровождаются причинением серьезного социально-экономического ущерба.

Различают природное и антропогенное загрязнение атмосферы.

Природное загрязнение может быть вызвано вулканами, пылевыми бурями, лесными пожарами, процессами разложения растений и животных.

К основным антропогенным источникам загрязнения относят предприятия топливно-энергетического комплекса, транспорт, металлургические, химические предприятия и предприятия тяжелой промышленности.

Загрязняющие вещества выбрасываются в атмосферу в виде пыли, дыма, тумана, пара и газообразных веществ. Наиболее распространенными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух от техногенных источников, являются: оксиды углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, пыль, сажа.

Газовые выбросы классифицируются:

1) по температуре:

- нагретые (больше температуры воздуха)
- холодные;

2) по наличию очистки:

- выбрасываемые без очистки;
- выбрасываемые после очистки.

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу классифицируются по следующим признакам:

1) по назначению:

- технологические, предназначенные для отведения газовой смеси непосредственно от технологических аппаратов в ходе технологического процесса (например, трубы электростанций);
- вентиляционные, предназначенные для местных отсосов от оборудования, общеобменной вытяжки с целью поддержания гигиенических условий труда;

2) по степени организации:

- организованные (выбросы, поступают в атмосферу через специально сооруженные газоотводы, воздухопроводы, трубы);
- неорганизованные (выбросы поступают в виде ненаправленных потоков газа в результате нарушений герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу газа в местах загрузки, выгрузки и хранения продукта).

Выбросы вредных веществ осуществляются, преимущественно, через дымовые трубы, главное назначение которых – отводить образующиеся газы в верхние слои атмосферы и рассеивать их. Рассеивание является одним из способов достижения установленных нормативов качества воздуха в приземном слое атмосферы в районе расположения предприятия.

На процесс рассеивания выбросов существенное влияние оказывает состояние атмосферы, расположение предприятий, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота источника, диаметр устья и т. п.

Горизонтальное перемещение примесей определяется, в основном, скоростью ветра, а вертикальное - распределением температур. Определяющую роль в рассеивании загрязняющих веществ в атмосфере играет диффузия.

Диффузия (от латинского *diffusio* - распространение, растекание, рассеивание) - перенос вещества, обусловленный выравниванием его концентрации в первоначально неоднородной системе. Диффузия может возникать также при наличии разности температуры. В движущейся среде может возникать конвективная диффузия, при вихревом движении газа или жидкости - турбулентная диффузия.

Стратификация атмосферы (от лат. *stratum* - слой) - распределение температуры воздуха по вертикали, благоприятствующее или неблагоприятствующее развитию вертикальных перемещений воздуха (коэффициент стратификации (A)) учитывается при расчете максимальной приземной концентрации загрязняющих веществ (C_m).

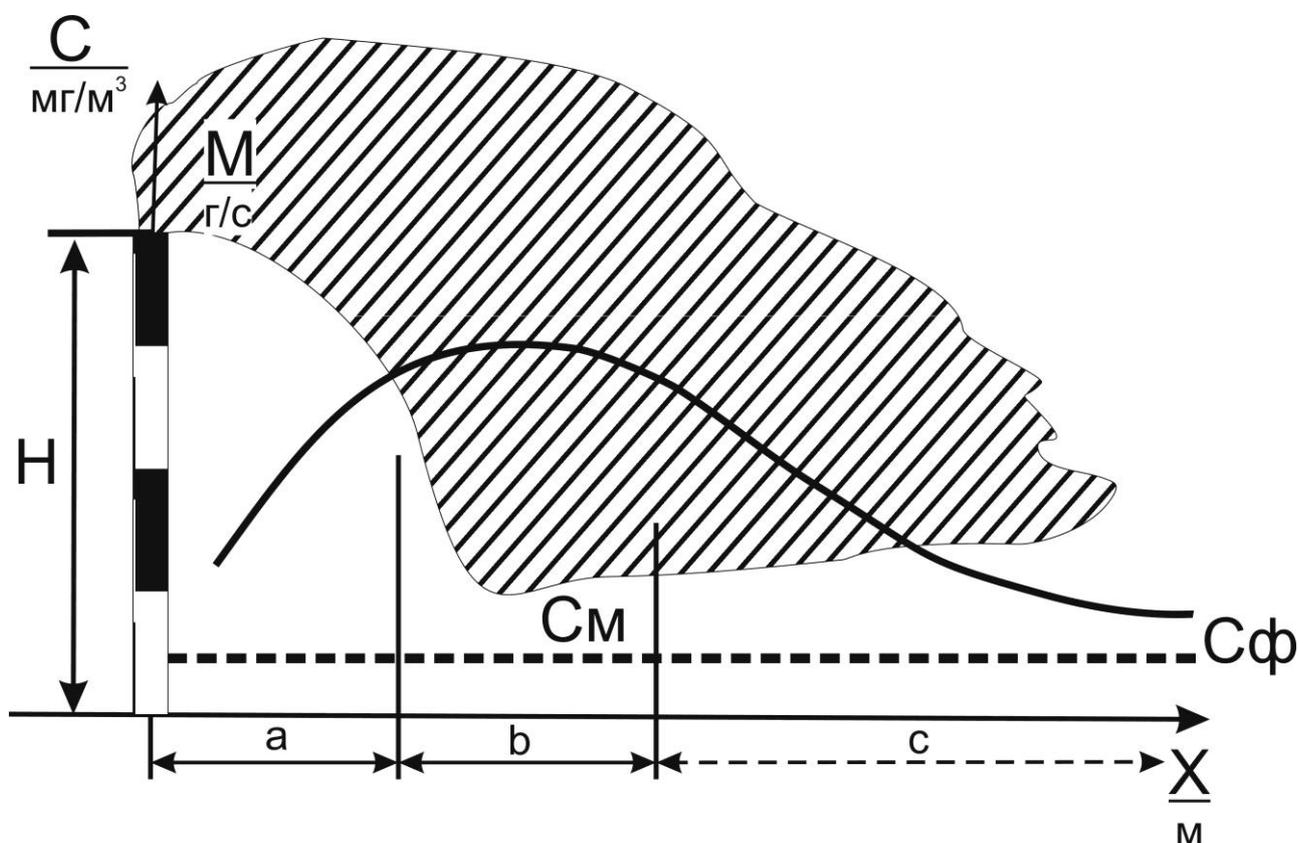


Рисунок 1 - Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере от организованного высокого источника выбросов

Пространство под факелом по мере удаления от источника выброса можно условно разделить на три зоны (рисунок 1):

- а - зону переброса факела, характеризующуюся сравнительно невысоким содержанием вредных веществ;

- б - зону задымления с максимальным содержанием вредных веществ, которая распространяется на расстоянии 10 - 49 высот трубы (эта зона исключается из селитебной (жилой) застройки);

- с - зону постепенного снижения концентрации вредных веществ.

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания и определения приземных концентраций, создаваемых выбросами промышленных предприятий, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86». В основу методики положено условие, при котором суммарная концентрация каждого вредного вещества не должна превышать максимальную разовую предельно допустимую концентрацию данного вредного вещества в атмосферном воздухе, т.е.

$$C_m + C_{\phi} \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}}, \quad (1.1)$$

где C_m (максимальная приземная концентрация) - максимальная концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы (от поверхности земли до высоты 2-х метров), создаваемая источниками выбросов, мг/м³;

C_{ϕ} (фоновая концентрация) - концентрация загрязняющего вещества в атмосфере, создаваемая всеми источниками выбросов на данной территории, исключая рассматриваемый (принимается по данным территориального управления Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС)), мг/м³.

ПДК (предельно-допустимая концентрация) - максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не

оказывает на него и на окружающую среду в целом вредного влияния, включая отдаленные последствия.

Для оценки качества атмосферного воздуха установлены две категории ПДК: максимальная разовая (ПДК_{м.р}) и среднесуточная (ПДК_{с.с}).

ПДК_{м.р} – концентрация химического вещества в воздухе населенных мест (мг/м³). Эта концентрация при вдыхании в течение 20-30 мин не должна вызывать отрицательных рефлекторных реакций в организме человека (тошнота, жжение слизистых, кашель, насморк, першение в горле и т. д.). Максимально-разовая ПДК является основной характеристикой опасности вредного вещества.

ПДК_{с.с} – концентрация, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании (мг/м³).

Нормативы ПДК для атмосферного воздуха являются единичными для территории отдельно взятой страны. Установленные в других странах значения ПДК могут отличаться. Для зон санитарной охраны, курортов и зон отдыха ПДК установлены на 20 % меньше, чем для жилых регионов.

Для каждого проектируемого и действующего объекта, являющегося стационарным источником загрязнения воздушного бассейна, определяют нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

ПДВ (предельно допустимый выброс) – это максимальное количество загрязняющего вещества, разрешенное к выбросу от данного источника и не создающее в приземном слое атмосферы концентраций, опасных для живых организмов (г/с, т/г).

Срок действия ПДВ устанавливается на 5 лет.

Величина ПДВ устанавливают с учетом того, что выполняется условие формулы 1.1.

Если на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в данном регионе, значение ПДВ не могут быть немедленно достигнуты, устанавливают временно согласованный выброс (ВСВ). Норматив ВСВ

устанавливают на период разработки и организации воздухоохраных мероприятий, обеспечивающих достижение нормативов ПДВ.

При наличии 2-х или более примесей в составе выбросов возможно появление эффекта суммации. Эффект суммации – это однонаправленное неблагоприятное влияние на организм нескольких разных веществ.

Существует несколько десятков групп суммации, в одну из которых, например, входит фенол и ацетон, а в другую - диоксид азота и диоксид серы. В том случае, когда в воздухе присутствуют вещества, входящие в одну группу суммации, они усиливают негативное действие друг друга на организмы.

Для того чтобы оценить действие веществ, обладающих эффектом суммации, используется формула:



(1.2)

где $C_1, C_2 \dots C_N$ - фактические концентрации вредных веществ в воздухе;

$ПДК_1, \dots ПДК_N$ - величины их предельно допустимых концентраций.

В целях обеспечения безопасности населения вокруг источников выбросов, оказывающих негативное воздействие на среду обитания и здоровье человека устанавливается специальная территория с особым режимом использования (далее - санитарно-защитная зона (СЗЗ)), размер которой обеспечивает уменьшение воздействия загрязнения до значений, установленных гигиеническими нормативами. Каждому предприятию в соответствии со степенью его опасности присваивается определенный класс и в зависимости от класса устанавливается нормативная ширина СЗЗ. Минимальная протяженность СЗЗ для предприятий составляет:

- I класса - 1000 м;
- II класса - 500 м;
- III класса - 300 м;
- IV класса - 100 м;
- V класса - 50 м.

При построении границ санитарно-защитной зоны рекомендуется учитывать среднегодовую повторяемость ветра и производить её корректировку с учетом полученных результатов.

В метеорологии направление ветра определяют по 8 или по 16 румбам.

Направление ветра — сторона (точка) горизонта, откуда дует ветер. Таким образом, северный ветер всегда дует на юг, юго-восточный — на северо-запад и т.д.

Роза ветров — диаграмма, показывающая повторяемость ветров различных направлений для какого-либо пункта. Строится обычно по средним многолетним данным для месяца, сезона, года. Диаграмма представляет собой пучок лучей, исходящих из одной точки и направленных по румбам горизонта. На каждом луче от центра в сторону, откуда дует ветер, откладывается в определенном масштабе отрезок, пропорциональный повторяемости ветра данного направления. Концы отрезков обычно соединяются прямыми линиями.

2 Методика расчета

Максимальная приземная концентрация вредного вещества, C_m , при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеоусловиях на расстоянии, $X_m(m)$, от источника определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \times M \times F \times m \cdot n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V_1 \times \Delta T}} \quad (2.1)$$

где A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы в регионе и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе в данной местности (для Европейской территории и Урала севернее 52° с.ш. - 180);

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

η - безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности (при ровной местности с перепадом высот не более 50 м на 1 км $\eta = 1$);

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе ($F_{\text{газов}} = 1$, $F_{\text{сажи}} = 3$);

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из источника выброса;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b , °С ;

V_1 – расход газовой смеси, м³/с.

Масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, определяется по формуле

$$M = C \times V_1 \times 10^{-3}, \text{ г/с} \quad (2.2)$$

где C – концентрация вредного вещества в выбрасываемой газовой смеси, мг/м³;

V_1 – расход газовой смеси, м³/с.

Величину, ΔT (°C), следует определять, принимая температуру окружающего атмосферного воздуха T_b по средней температуре наружного воздуха в 13 часов наиболее жаркого месяца года по СНиП 23-01-99 "Строительная климатология", а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси T_r - по действующим для данного производства технологическим нормативам.

Средняя линейная скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, W_0 (м/с), определяется по формуле

$$W_0 = \frac{4 \times V_1}{\pi \times D^2}, \text{ м/с} \quad (2.3)$$

где D - диаметр устья источника выброса, м;

V_1 - расход газовой смеси, м³/с.

Безразмерный коэффициент m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1 \times \sqrt{f} + 0.34 \times \sqrt[3]{f}} \quad (2.4)$$

Расчет параметра f производится по формуле

$$f = 10^3 \cdot \frac{W_0^2 \times D}{H^2 \times \Delta T}, \text{ м/с}^2 \cdot \text{град} \quad (2.5)$$

Значение безразмерного коэффициента n определяется в зависимости от параметра v_m :

при $v_m \leq 0,3$, $n = 3$;

при $0,3 \leq v_m \leq 2$

$$n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3) \times (4,36 - v_m)} \quad (2.6)$$

при $v_m > 2$, $n = 1$

Расчет параметра v_m производится по формуле

$$v_m = 0,65 \times \sqrt[3]{\frac{V_1 \times \Delta T}{H}} \quad (2.7)$$

Вычисленные по формуле (2.1) максимальные приземные концентрации, C_m , для каждого отдельного вещества, подставляют в формулы (1.1).

Если в воздухе содержатся вещества, обладающие эффектом суммации, то определяется одна, приведенная по ПДК к одному из этих веществ концентрация. Основным веществом выбирают то, которое относится к наибольшему классу опасности.

$$C_m^{прив.} = C_m^1 + C_m^2 \cdot \frac{ПДК^{C1}}{ПДК^{C2}} + \dots + C_m^n \cdot \frac{ПДК^{C1}}{ПДК^{Cn}} \quad (2.8)$$

Например, эффектом суммации действия обладают диоксид серы (сернистый ангидрид) и диоксид азота. Основным веществом является диоксид азота (второй класс опасности).

Далее оценивают результаты (с учетом суммации и фоновых концентраций) и делают вывод о необходимости и объеме проведения технологических, санитарно-технических и архитектурно-планировочных мероприятий.

Если, по результатам расчетов $C_m^n + C_\phi^n \leq ПДК_{м.р.}^n$, то величину выброса утверждают как ПДВ и новых воздухоохраных мероприятий не планируют.

При превышении ПДК по твердым веществам (сажа), производится расчет необходимого количества циклонов, позволяющих снизить фактическую массу выброса.

В случае, если $C_m^n + C_\phi^n$ превышает $ПДК_{м.р.}^n$, расчет продолжается с целью вычисления расстояния X (в метрах) на котором концентрации вредных веществ будут равны ПДК (т.е. определить границы санитарно-защитной зоны).

На расстоянии, X_m (м), от источника выброса при неблагоприятных метеорологических условиях по оси факела выброса, достигается максимальная (наибольшая) приземная концентрация вредных веществ, C_m .

Величина X_m для газообразных веществ определяется по формуле

$$X_m = d \times H \quad (2.9)$$

где d - безразмерная величина, определяемая по формулам в зависимости от значения v_m

$$\text{при } v_m \leq 2 \quad d = 4.95 \times v_m \times (1 + 0.28\sqrt[3]{f}) \quad (2.10)$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad d = 7 \times \sqrt{v_m} \times (1 + 0.28\sqrt[3]{f}) \quad (2.11)$$

Для сажи величина X_m определяется по формуле

$$X_m = \frac{(5 - F)}{4} \times d \times H, \text{ м} \quad (2.12)$$

Далее рассчитывается проверочная величина S_1

$$S_1 = \frac{ПДК^{NO_2}_{м.р.}}{C_m^{прив^{NO_2}} + C_\phi^{NO_2}} \quad (2.13)$$

При значениях $S_1 < 1$ коэффициент расширения санитарно-защитной зоны рассчитывается по формуле

$$\frac{X}{X_m} = \sqrt{\frac{1,13 - S_1}{0,13 \times S_1}} \quad (2.14)$$

Для определения безопасного расстояния X , на котором $C_m^i = \text{ПДК}^i$, значение X_m умножается на коэффициент расширения.

Полученный по расчету размер санитарно-защитной зоны "X" (в метрах) должен уточняться (в сторону увеличения) в зависимости от розы ветров на участке расположения предприятия по формуле

$$L_i = L_0 \times \frac{P}{P_0}, \text{ м} \quad (2.15)$$

где L_0 - расчетное расстояние, от источников загрязнения до границ санитарно-защитной зоны (без учета поправки на розу ветров), до которого концентрации вредных веществ больше ПДК, м;

P - среднегодовая повторяемость направлений ветров рассматриваемого румба, процент;

P_0 - повторяемость направлений ветров одного румба (при восьми румбовой розе ветров $P_0 = 12.5\%$).

Построение чертежа санитарно-защитной зоны на карте местности производится в соответствии с выбранным масштабом (например, в 1 мм : 5000 мм или 1 мм : 10000 мм и т.п.), по направлениям, противоположным соответствующему румбу (например, восточный ветер вызывает отклонение факела выброса в западную зону).

Можно определить величину ПДВ по основной формуле рассеивания выбросов на расстоянии X_m , принимая $C_m = \text{ПДК}$:

$$ПДВ = \frac{(C_{ПДК} - C_{\phi}) \times H^2 \times \sqrt[3]{V_1 \times \Delta T}}{A \times F \times m \times n \times \eta}, \text{ г/с} \quad (2.16)$$

На практике в большинстве случаев пользуются защитой расстоянием (санитарно-защитная зона) или увеличением высоты выброса (трубы). Однако, уменьшить мощность фактического выброса, M , до ПДВ, можно путем применения пылегазоулавливающих аппаратов и технологических мероприятий, уменьшающих выброс вредных веществ в воздушный бассейн.

3 Варианты заданий и пример расчета

В расчете использованы материалы о химическом составе и концентрациях выбрасываемых в атмосферу веществ с отходящими газами действующих в Оренбургской области заводских и коммунальных котельных.

Используя данные таблицы 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4 студент определяет ПДВ и минимальную высоту трубы котельной, составляет чертеж санитарно-защитной зоны и проектирует комплекс необходимых технологических и санитарно-технических воздухоохраных мероприятий.

Таблица 3.1 - Варианты заданий для котельных

№ варианта	Высота трубы (H), м	Диаметр трубы (D), м	Температура выброса (Tг), °C	Объем выброса (V ₁), м ³ /с	Концентрации загрязнителей, измеренные в трубах (отходящих газах) котельных (C), мг/м ³			
					SO ₂	NO ₂	CO	сажа
1	9,5	1,5	180	7,4	550	87	310	94
2	29,9	1,5	160	8,3	520	72	290	58
3	35,0	1,5	196	9,2	540	100	340	105
4	20,0	1,5	182	6,1	540	65	296	120
5	15,0	1,5	160	5,8	580	58	270	68
6	27,0	1,5	188	7,6	585	80	305	187
7	10,0	1,5	120	5,6	540	46	250	92
8	32,0	1,5	190	8,4	560	90	320	110
9	19,0	1,5	170	6,5	590	98	300	98
10	15,0	1,5	140	5,0	470	75	290	125
11	20,0	1,5	175	7,6	450	60	250	124
12	29,5	1,5	220	8,0	565	90	240	135
13	12,0	1,5	150	5,8	610	68	300	120
14	20,0	1,5	180	7,4	580	82	280	146
15	31,0	1,5	200	8,8	590	76	305	108
16	18,0	1,5	170	6,0	530	70	260	125
17	10,0	1,5	130	5,0	592	60	200	150
18	29,0	1,5	160	8,3	580	68	240	120
19	34,0	1,5	182	6,1	595	60	230	138
20	15,0	1,5	162	5,8	580	75	250	125
21	27,5	1,5	188	8,0	600	80	210	140
22	10,5	1,5	120	5,7	580	45	250	128
23	31,5	1,5	190	8,5	600	72	198	129
24	19,5	1,5	170	6,6	581	62	208	110
25	16,0	1,5	145	5,5	502	67	190	130

Таблица 3.2 - Фоновые концентрации вредных веществ на участке строительства (эксплуатации) котельной

Номер варианта	Город	С _ф , мг/м ³			
		SO ₂	NO ₂	CO	Сажа
1-5	Оренбург	0,11	0,011	1,2	0,08
6-10	Медногорск	0,15	0,013	1,2	0,08
11-15	Новотроицк	0,15	0,013	1,2	0,08
16-20	Орск	0,12	0,012	1,2	0,09
21-25	Бузулук	0,10	0,011	1,1	0,08

Таблица 3.3 - Роза ветров на участке строительства (эксплуатации) котельной

Номер варианта	Город	Среднегодовая повторяемость ветра (роза ветров)								Т _в °С температура наружного воздуха	А коэффициент стратификации
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
1-5	Оренбург	8	12	18	7	13	15	19	8	26.9	180
6-10	Медногорск	8	14	19	6	13	17	16	7	25.8	180
11-15	Новотроицк	8	14	19	6	13	17	16	7	26.3	180
16-20	Орск	7	14	20	6	15	16	16	6	26.3	180
21-25	Бузулук	7	11	8	4	18	20	22	10	25.6	180

Таблица 3.4 - ПДК м.р. для данных вредных веществ, мг/м³

ПДК ^{SO₂} _{м.р.}	ПДК ^{NO₂} _{м.р.}	ПДК ^{CO} _{м.р.}	ПДК ^{сажи} _{м.р.}
0,5	0,2	5,0	0,15

Примечание - ПДК одинаковы для всех регионов страны.

Пример расчета

Постановка задачи

Требуется рассчитать:

- а) максимальные приземные концентрации (C_m) для SO_2 , NO_2 , CO и сажи;
- б) расстояние (X_m) по оси факела, на которой они достигаются. Полученные значения ($C_m + C_\phi$) сравнить с величиной ПДК_{м.р.}; в случае превышения ПДК_{м.р.} необходимо рассчитать расстояние (X) (в метрах), на котором ($C_m + C_\phi$) будет равно ПДК или количество циклонов или необходимую высоту трубы котельной;
- в) Значения ПДВ для каждого из загрязняющих веществ.

Исходные данные для котельной: (пример расчета и оформления)

Таблица 3.5

№ варианта	Высота трубы (H), м	Диаметр трубы (D), м	Температура выброса (Tг), °C	Объем выброса (V ₁), м ³ /с
-	10,5	1,5	160	9,3

Таблица 3.6 - Концентрации вредных веществ, измеренные в трубах, мг/м³

C^{SO_2}	C^{NO_2}	C^{CO}	$C_{сажи}$
507	194	247	106

Таблица 3.7 - Фоновые концентрации вредных веществ, C_ϕ , мг/м³

Город	$C_\phi^{SO_2}$	$C_\phi^{NO_2}$	C_ϕ^{CO}	$C_\phi^{сажи}$
Бузулук	0,11	0,011	1,2	0,08

Таблица 3.8 - Среднегодовая повторяемость ветра (P), %

Город	Среднегодовая повторяемость ветра								Т _в °С температура наружного воздуха	А коэффициент стратификации
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
Оренбург	12	14	15	11	13	12	10	13	25,6	180

Ход решения

Расчет массы выброса в атмосферу по каждому из вредных веществ производится по формуле (2.4)

$$M_{SO_2} = C^{SO_2} \cdot V_1 \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}$$

$$M_{SO_2} = 507 \cdot 9,3 \cdot 10^{-3} = 4,715, \text{ г/с}$$

$$M_{NO_2} = C^{NO_2} \cdot V_1 \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}$$

$$M_{NO_2} = 194 \cdot 9,2 \cdot 10^{-3} = 1,804, \text{ г/с}$$

$$M_{CO} = C^{CO} \cdot V_1 \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}$$

$$M_{CO} = 247 \cdot 9,3 \cdot 10^{-3} = 2,297, \text{ г/с}$$

$$M_{сажи} = C_{сажи} \cdot V_1 \cdot 10^{-3}, \text{ г/с}$$

$$M_{сажи} = 106 \cdot 9,3 \cdot 10^{-3} = 0,986, \text{ г/с}$$

Расчет ΔT (разности температур)

$$\Delta T = T_{Г} - T_{В}$$

где $T_{Г}$ - температура отходящего газа, $T_{Г} = 160$ °С (по заданию);

$T_{В}$ температура окружающего воздуха; для расчета принята средняя температура наружного воздуха в 13 часов наиболее жаркого месяца года; для г.Бузулука $T_{В} = 25,6$ °С.

$$\Delta T = 160 - 25,6 = 134,4 \text{ °С}$$

Расчет средней скорости выхода газозооушной смеси (отходящих газов) из устья источника выброса производится по формуле (2.3)

$$W_0 = \frac{4 \times V_1}{\pi \times D^2}, \text{ м/с,}$$

$$W_0 = \frac{4 \times 9,3}{3,14 \times 1,5^2} = 5,265 \text{ м/с}$$

Расчет параметра, f , производится по формуле (2.5)

$$f = 10^3 \frac{W_0^2 \times D}{H^2 \times \Delta T}, \text{ м/с}^2 \times \text{град}$$

$$f = 10^3 \frac{5,265^2 \times 1,5}{10,5^2 \times 134,4} = 2,807 \text{ м/с}^2 \times \text{град}$$

Расчет безразмерного параметра, m производится по формуле (2.2)

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \times \sqrt{f} + 0,34 \times \sqrt[3]{f}}$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \times \sqrt{2,807} + 0,34 \times \sqrt[3]{2,807}} = 0,759$$

Расчет параметра v_m производится по формуле (2.7)

$$v_m = 0,65 \times \sqrt[3]{\frac{V_1 \times \Delta T}{H}} = 0,65 \times \sqrt[3]{\frac{9,3 \times 134,4}{10,5}} = 3,198 \text{ м/с.}$$

Расчет безразмерного параметра n производится по одной из трех формул (2.6) и в нашем примере, когда $v_m > 2$, $n = 1$.

Расчет максимальной приземной концентраций вредных веществ производится по формуле (2.1)

$$C_m = \frac{A \times M \times F \times m \times n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V_1 \times \Delta T}}$$

где $F_{газов} = 1$;

$F_{сажи} = 3$;

$\eta=1$ -для случая ровной или слабо пересеченной местности с перепадом, не превышающим 50 м/км (ОНД 86);

$$C_M^{SO_2} = \frac{180 \times 4,715 \times 1 \times 0,759 \times 1,0 \times 1,0}{(10,5)^2 \times \sqrt[3]{9,3 \times 134,4}} = 0,543 \text{ мг/м}^3,$$

$$C_M^{NO_2} = \frac{180 \times 1,804 \times 1 \times 0,759 \times 1,0 \times 1,0}{(10,5)^2 \times \sqrt[3]{9,3 \times 134,4}} = 0,208 \text{ мг/м}^3$$

$$C_M^{CO} = \frac{180 \times 2,297 \times 1 \times 0,759 \times 1,0 \times 1,0}{(10,5)^2 \times \sqrt[3]{9,3 * 134,4}} = 0,264 \text{ мг/м}^3$$

$$C_M^{\text{сажи}} = \frac{180 \times 0,986 \times 3 \times 0,759 \times 1,0 \times 1,0}{(10,5)^2 \times \sqrt[3]{9,3 \times 134,4}} = 0,340 \text{ мг/м}^3$$

Из перечня вредных веществ, выбрасываемых из трубы котельной, эффектом суммации действия обладают диоксид азота и диоксид серы.

Определяем приведенную к диоксиду азота концентрацию этих веществ, так как диоксид азота относится к наибольшему (второму) классу опасности (формула 2.8)

$$C_M^{\text{прив } NO_2} = C_M^{NO_2} + (C_M^{SO_2} \times \frac{ПДК_{м.р.}^{NO_2}}{ПДК_{м.р.}^{SO_2}}), \text{ мг/м}^3$$

$$C_M^{\text{прив } NO_2} = 0,208 + (0,543 \times \frac{0,2}{0,5}) = 0,425, \text{ мг/м}^3$$

Проверяем условие $C_M + C_{\phi} \leq ПДК_{м.р.}$

$$C_M^{\text{прив } NO_2} + C_{\phi}^{NO_2} = 0,425 + 0,011 = 0,436, \text{ мг/м}^3 \quad \rangle \quad ПДК_{м.р.}^{NO_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3$$

$$C_M^{CO} + C_{\phi}^{CO} = 0,264 + 1,2 = 1,46418, \text{ мг/м}^3 \quad \langle \quad ПДК_{м.р.}^{CO} = 5,0 \text{ мг/м}^3$$

$$C_M^{\text{сажи}} + C_{\phi}^{\text{сажи}} = 0,340 + 0,080 = 0,420, \text{ мг/м}^3 \quad \rangle \quad ПДК_{м.р.}^{\text{сажи}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$$

Расчет ПДВ

В нашем примере условие соблюдения ПДВ не выполняется для диоксида азота и сажи. Для оксида углерода предельно-допустимый выброс составит (есть соблюдение ПДК по СО)

$$\text{ПДВ}_{\text{СО}} = M_{\text{СО}} = 2,297 \text{ г/с} = 72,441 \text{ т/год}$$

или $(2,297 \text{ г/с} \times 3600 \text{ секунд} \times 24 \text{ часа} \times 365 \text{ дней}) : 10^6 = 72,441 \text{ т/год}$.

Мероприятия по достижению ПДК_{м.р.} на границе санитарно-защитной зоны по саже, диоксиду серы и диоксиду азота могут быть технологическими, санитарно-техническими, архитектурно-планировочными.

В данном примере решения задачи рассматривается организация санитарно-защитной зоны в зависимости от результатов рассеивания для диоксида азота и санитарно-технические мероприятия по снижению выбросов сажи. С целью уменьшения массы выбросов сажи подбираем по каталогам пылеулавливающих аппаратов циклоны типа ЦН-24, с производительностью очистки 2.5 тыс.м³/час отходящих газов.

Количество циклонов составит

$$n = \frac{V_1 \times 3600}{2500} = \frac{9,3 \times 3600}{2500} = 14 \text{ штук}$$

Эффективность улавливания сажи Э циклонами ЦН-24 равна согласно каталогу 80 % (или 0,8), тогда

$$\text{ПДВ}_{\text{сажи}} = M_{\text{сажи}} - (M_{\text{сажи}} \times \text{Э})$$

$$\text{ПДВ}_{\text{сажи}} = 0,986 - (0,986 \times 0,8) = 0,197 \text{ г/с} = 6,218 \text{ т/год};$$

Расчет безопасного расстояния до жилой застройки для NO₂ и SO₂

Расчет расстояния по оси факела выброса от источника выброса X_m , на котором достигается величина максимальной приземной концентрации C_m производится по формуле (2.9).

$$X_m = d \times H$$

Поскольку в нашем примере $v_m > 2$ м/с, величину вспомогательного параметра d определяем по формуле (2.11)

$$d = 7 \times \sqrt{v_m} \times (1 + 0,28 \times \sqrt[3]{f})$$
$$d = 7 \times \sqrt{3,198} \times (1 + 0,28 \times \sqrt[3]{2,807}) = 17,46$$

$$X_m = d \times H = 17,46 \times 10,5 = 183,338 \text{ м (для газов SO}_2, \text{ NO}_2)$$

Для сажи $F = 3$, по формуле (2.12).

$$X_m = \frac{(5 - F)}{4} \times d \times H$$
$$X_m = \frac{(5 - 3)}{4} \times 17,46 \times 10,5 = 91,669 \text{ м}$$

Величины приземных концентраций вредных веществ (C_m) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях X (метров) определяются по формуле:

$$C = S_1 \times (C_m^{\text{привNO}_2} + C_{\text{ф}}^{\text{NO}_2}), \text{ мг/м}^3$$

Приравниваем $C = ПДК_{\text{м.р.}}^{\text{NO}_2}$ и рассчитываем S_1

$$S_1 = \frac{ПДК_{\text{м.р.}}^{\text{NO}_2}}{C_m^{\text{привNO}_2} + C_{\text{ф}}^{\text{NO}_2}} = \frac{0,2}{0,425 + 0,011} = 0,459$$

Далее, по формуле

$$\frac{X}{X_m} = \sqrt{\frac{1,13 - S_1}{0,13 \times S_1}} = \sqrt{\frac{1,13 - 0,459}{0,13 \times 0,459}} = 3,352$$

Тогда $X = 3,352 \times X_m = 3,352 \times 183,48 = 614,708$ м

При таком расстоянии фактический выброс диоксида азота и двуокиси серы является ПДВ, т.е. обеспечивает соблюдение ПДК.

$$\text{ПДВ}_{\text{NO}_2} = M_{\text{NO}_2} = 1,804 \text{ г/с} = 56,897 \text{ т/год},$$

$$\text{ПДВ}_{\text{SO}_2} = M_{\text{SO}_2} = 4,715 \text{ г/с} = 148,695 \text{ т/год};$$

Построение границ санитарно-защитной зоны (СЗЗ)

Санитарно-защитная зона – территория специального назначения, отделяющая границу промышленной площадки от жилой застройки, ландшафтно-рекреационной зоны, зоны отдыха, курорта с обязательным обозначением границ специальными информационными знаками. При построении границ санитарно-защитной зоны рекомендуется учитывать среднегодовую повторяемость ветра и производить её корректировку с учетом полученных результатов.

В метеорологии направление ветра определяют по 8 или по 16 румбам.

Направление ветра — сторона (точка) горизонта, откуда дует ветер. Таким образом, северный ветер всегда дует на юг, юго-восточный — на северо-запад и т.д.

Роза ветров — диаграмма, показывающая повторяемость ветров различных направлений для какого-либо пункта. Строится обычно по средним многолетним данным для месяца, сезона, года. Диаграмма представляет собой пучок лучей, исходящих из одной точки и направленных по румбам горизонта. На каждом луче от центра в сторону, откуда дует ветер, откладывается в определенном масштабе отрезок, пропорциональный повторяемости ветра данного направления. Концы отрезков обычно соединяются прямыми линиями.

Итак, для газов SO_2 , NO_2 , безопасное расстояние $X = 614,708$ м

Используя исходные данные о розе ветров и формулу (2.15), вычисляем размеры санитарно-защитной зоны по восьми румбам:

$$L_i = L_0 \times \frac{P}{P_0}, \text{ м}$$

где – L_i - безопасное расстояние по i -ому румбу;

$$L_0 = X;$$

$$P_0 = 12.5 \% (100\% : 8 \text{ румбов }).$$

$$L_c = 614,708 \times \left(\frac{12}{12.5} \right) = 590,119 \text{ м}$$

$$L_{с6} = 614,708 \times \left(\frac{14}{12.5} \right) = 668,473 \text{ м}$$

$$L_6 = 614,708 \times \left(\frac{15}{12.5} \right) = 737,649 \text{ м}$$

$$L_{ю6} = 614,708 \times \left(\frac{11}{12.5} \right) = 540,943 \text{ м}$$

$$L_{ю} = 614,708 \times \left(\frac{13}{12.5} \right) = 639,296 \text{ м}$$

$$L_{ю3} = 614,708 \times \left(\frac{12}{12.5} \right) = 590,119 \text{ м}$$

$$L_3 = 614,708 \times \left(\frac{10}{12.5} \right) = 491,766 \text{ м}$$

$$L_{с3} = 614,708 \times \left(\frac{13}{12.5} \right) = 639,296 \text{ м}$$

Задаемся масштабом в 1 мм: 10000 мм и строим окружность $R=X$ с центром по месту расположения источника выброса. Проводим восемь основных направлений ветра и откладываем расстояние l_i , учитывая, что северный ветер смещает выбросы на юг и т.д. (рисунок 2.1).

В тех случаях, когда расстояние $L_i < L_0$ влияние направления ветра не учитывается и по данному румбу откладывается расстояние равное L_0 для гарантии безопасности. На рисунке 3.1 внутри санитарно-защитной зоны для газов показана санитарно-защитная зона для сажи, следовательно, в нашем примере циклоны для улавливания сажи не нужны.

В тех вариантах, где C_m газов не превышает ПДК, а C_m сажи превышает ПДК, циклоны потребуются или же санитарно-защитная зона (без циклонов) будет рассчитана по l_i для сажи.

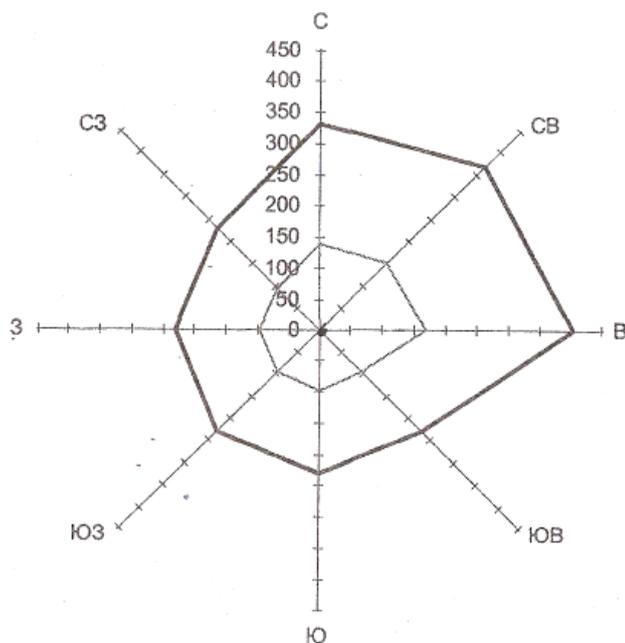


Рисунок 3.1- Чертеж санитарно-защитной зоны (масштаб 1:10000)

4 Мероприятия по охране воздушного бассейна

Для достижения величины ПДВ применяют комплекс технологических, архитектурно-планировочных и санитарно-технических мероприятий, выбирая среди них наиболее экономически целесообразные. Эти мероприятия подробно описаны в рекомендуемых учебных пособиях .

Наиболее часто на практике применяют следующие мероприятия:

Технологические мероприятия:

- соблюдение технологических норм расхода электроэнергии и пара на единицу продукции;
- очистка сырья от вредных примесей (например, удаление серы из топлива), использование малосернистого мазута с содержанием серы 2 % и менее; перевод котельной с угля на мазут или природный газ; перевод предприятия на централизованное теплоснабжение с закрытием местной котельной;
- создание малоотходных технологических процессов (количество отходов меньше 10 % от количества сырья); применение рециркуляции отходящих газов (до 100 %) в технологическом процессе;
- использование вторичных энергоресурсов (ВЭР): установка экономайзеров, утилизация тепла вытяжного воздуха в системах вентиляции для подогрева приточного воздуха;
- замена сухих способов переработки пылящих материалов мокрыми;
- применение пневмотранспорта для транспортировки пылящих материалов в деревообрабатывающих цехах, в силикатной промышленности и т.д.

Архитектурно-планировочные мероприятия:

- выбор участка под строительство с учетом розы ветров, рельефа местности, размещения существующих промузлов или промзоны;
- организация санитарно-защитных зон радиусом от 50 до 1000 м и более в зависимости от класса предприятия и результатов расчета рассеивания (L_0);
- посадка в санитарно-защитных зонах лесополос шириной 50 м с газонным разрывом 20 м, отдавая предпочтение районированным на Южном Урале газоустойчивым деревьям и кустарникам (боярышник обыкновенный, смородина золотистая, клен ясенелистный, клен татарский и т.д.), а так же деревьям с высокими пылезащитными свойствами (вяз гладкий, ясень остролистый, можжевельник и т.д.).

Санитарно-технические мероприятия:

- организация местной аспирационной сети и общеобменной вентиляции цеха (участка) в соответствии с расчетами выбросов по каждому вредному веществу (г/с) и необходимой степени очистки;
- объединение мелких источников в единый источник одной аспирационной сетью;
- установка пылеочистного оборудования с выбором по паспортам и с учетом необходимой степени очистки (Э, %), производительности (m^3/c), температурного режима и себестоимости очистки, возможности переработки уловленных вредных веществ в полупродукты или товарные продукты;
- установка газоочистного оборудования, снижающего концентрации вредных веществ в выбросах на основе процессов: абсорбции, адсорбции, каталитического сжигания, окисления. Например, применение мокрого скруббера, угольного адсорбера, печей сжигания, системы нейтрализации отработавших газов (СНОГ) и т.д.

5 Содержание отчета по выполненной работе

Отчет о выполненной работе оформляется в виде реферата.

Содержание отчета включает:

- исходное задание;
- формулы и результаты расчетов;
- чертеж санитарно-защитной зоны в масштабе 1:5000 или 1:10000 (пример приведен на рис. 3.1);
- план конкретных воздухоохраных мероприятий по данному варианту в том числе:
 - а) технологические мероприятия;
 - б) санитарно-технические мероприятия;
 - в) архитектурно-планировочные мероприятия.

Вопросы для самопроверки

1. Определение понятий ПДВ, ПДК, «Фоновая концентрация», единицы измерения.
2. Классификация ПДК по времени осреднения.
3. Загрязнение и самоочищение атмосферы.
4. Природное и антропогенное загрязнение атмосферы.
5. Классификация газовых выбросов.
6. Факторы, влияющие на процесс рассеивания выбросов.
6. Классификация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.
7. Определение понятия «Диффузия».
8. Стратификация атмосферы. Определение понятия.
9. Эффект суммации.
10. Санитарно-защитная зона предприятия.
11. Технологические мероприятия по охране атмосферы от загрязнения вредными веществами.
12. Архитектурно-планировочные мероприятия по охране атмосферы от загрязнения вредными веществами.
13. Санитарно-технические воздухоохраные мероприятия.

Список использованных источников

1. Буренин, В. В. Эффективная очистка газовоздушных выбросов промышленных предприятий от пыли и вредных примесей / В. В. Буренин // Безопасность жизнедеятельности, 2006. - N 4. - С. 30-37.
2. Буренин, В. В. Очистка и обезвоживание пылегазовоздушных выбросов предприятий теплоэнергетики / В. В. Буренин // Промышленная энергетика, 2009. - N 8. - С. 49-54.
3. Бянкин, А. Г. Разрешения на выброс: учет фоновых концентраций / А. Г. Бянкин // Экология производства, 2013. - № 10. - С. 42-48.
4. Защита атмосферы от выбросов ТЭС и котельных // Промышленная энергетика. - 2006. - N 11. - С. 57.
5. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Введ. 1986- 04-08 -. Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. – 94 С.
6. СанПиН 2.1.6.983-00. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений, санитарная охрана воздуха. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – Введ. 2000-01.10.-Москва: Из-во стандартов, 2000.- 16 С.
7. Холодилина, Т. Н. Расчеты выбросов в атмосферу от промышленных источников выделения [Электронный ресурс]: практикум / Т. Н. Холодилина; "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,35 МБ). - Оренбург : ОГУ, 2013.
8. Холодилина, Т. Н. Нормирование и расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [Электронный ресурс]: методические указания / Т. Н. Холодилина, П. В. Дебело; "Оренбург. гос. ун-т", Электрон. текстовые дан. (1 файл: 736,16 КБ). - Оренбург : ОГУ, 2014.
9. Шевелева, О. В. Ошибки при сборе данных к инвентаризации источников выбросов / О. В. Шевелева // Экология производства, 2013. - № 11. - С. 59-67.