

УДК 324.354(478)+504.062

И. В. Войтов

Белорусский государственный технологический университет

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА, ОЦЕНОК И РАСЧЕТОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КАК ВАЖНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ «ЗЕЛеной» ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В статье изложены научно-методические, предметно-аналитические и теоретические материалы, отражающие экологическое состояние основных природных сред – атмосферного воздуха, водных объектов, почвенного покрова.

Уделено большое внимание анализу, оценкам и расчетам наиболее важных источников загрязнения природной окружающей среды, минимизация которых исключительно важна для нормального проживания населения в городах с развитой промышленной инфраструктурой и в сельской местности.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, экологическое состояние природной среды, «зеленая» экономика.

I. V. Voitau

Belarusian State Technological University

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF ANALYSIS, EVALUATION AND CALCULATION OF INDICATORS OF SOURCES OF ENVIRONMENTAL POLLUTION AS IMPORTANT FACTORS, INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF THE “GREEN” ECONOMY IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The article describes the methodological, substantive, analytical and theoretical materials that reflect the ecological condition of the major natural environment – atmospheric air, water objects, soil cover.

Much attention is paid to the analysis, assessment and calculation of the most important sources of pollution of the natural environment, the minimization of which is extremely important for the normal living of the population in cities with developed industrial infrastructure and in rural areas.

Key words: environmental pollution, ecological state of the environment, “green” economy.

Введение. В данной статье представлялось целесообразным проанализировать и теоретически обобщить известные работы в области анализа и оценки экологического состояния природных сред и природно-ресурсного потенциала территорий регионального уровня, осуществить выбор и сформировать систему показателей, критериев и методических рекомендаций, адекватно отражающих качество окружающей среды, и на этом основании разработать математическое обеспечение (предметную область) создаваемой промышленной «зеленой» экономики на основе автоматизированной системы анализа и оценки качества окружающей среды (ОС), создаваемой на базе информационно-аналитической системы эколого-экономического оценки состояния природно-ресурсного потенциала (ПРП), включая поддержку принимаемых решений в области охраны окружающей среды в Республике Беларусь как важных факторов развития промышленной «зеленой» экономики.

Основная часть. Прежде всего, следует определиться с общепринятыми и используемыми предметными формулировками в области экологии, которые будут применены в дальнейшей работе по анализу и оценке экологиче-

ского состояния ПРП и отдельных природных сред, а именно [1, 2]:

- качество окружающей среды;
- экологическое состояние окружающей (природной) среды;
- экологическая ситуация;
- экологическая обстановка;
- экологическая опасность (угроза);
- загрязнение окружающей среды;
- источники загрязнения природной среды;
- дифференциальные, интегральные и комплексные показатели (оценки) загрязнения природных сред и др.

Под качеством окружающей среды понимается ее состояние, характеризующееся, как правило, комплексом физических, химических, биологическими и (или) иных показателей или их совокупностью. Следовательно, экологическое состояние окружающей (природной) среды целесообразно отождествлять с ее качеством, а его контроль – с комплексной оценкой. Под экологической опасностью понимается реальное состояние ОС, которое отражает степень ее опасности для здоровья человека в данное время в результате воздействия антропогенных факторов [1–3].

В рамках данной работы будут рассматриваться и другие показатели, характеризующие степень остроты экологических ситуаций или опасности загрязняющих вредных веществ.

Ниже приведены расчетные показатели анализа экологического состояния основных природных сред (атмосферного воздуха, водных объектов, почвенного покрова), на которые оказывают вредное воздействие выбросы и стоки от промышленных объектов, транспорта, жизнедеятельности населения и др.

Критерии оценки экологической опасности промышленных объектов [3–5]. Выбор критериев для отнесения производственных объектов к повышенно опасным для окружающей среды и населения, а следовательно, для установления обязательности экологического аудита предприятия, может базироваться на результатах анализа введенных норм законодательства о безопасности производственного объекта.

Основные подходы к оценке безопасности производственного объекта представлены в следующих законодательных и нормативно-правовых документах: Закон Республики Беларусь «О промышленной безопасности» от 5 января 2016 г.; постановление Совета Министров Республики Беларусь от 5 августа 2016 г. № 613 «О некоторых мерах по реализации Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности»» и др. В соответствии со ст. 8 Закона Республики Беларусь от 5 января 2016 г. «О промышленной безопасности» утверждены следующие документы: Положение о порядке проведения идентификации опасных производственных объектов; Положение о порядке регистрации опасных производственных объектов; Положение о порядке ведения государственного реестра опасных производственных объектов; Положение о порядке регистрации потенциально опасных объектов; Положение о порядке выдачи разрешений (свидетельств) на право выполнения отдельных видов работ (оказания отдельных видов услуг) при осуществлении деятельности в области промышленной безопасности [4, 5].

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» (ст. 6) государственное регулирование в области промышленной безопасности осуществляется Президентом Республики Беларусь, Советом Министров Республики Беларусь, Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, иными республиканскими органами госу-

дарственного управления, государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, Государственным комитетом судебных экспертиз Республики Беларусь, местными исполнительными и распорядительными органами в пределах их компетенции. В соответствии со ст. 4 Закона установлены типы опасных производственных объектов. Опасные производственные объекты в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них подразделяются в соответствии с критериями, указанными в приложении 1 к настоящему Закону, на три типа [4]:

– объект I типа опасности – опасные производственные объекты чрезвычайно высокой опасности;

– объект II типа опасности – опасные производственные объекты высокой опасности;

– объект III типа опасности – опасные производственные объекты средней опасности.

Категорирование предприятий по степени опасности в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ. Категория опасности предприятия (КОП) рассчитывается по формуле [1, 3]:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{i\text{ср}}}{\text{ПДК}_{i\text{ср}}} \right)^2, \quad (1)$$

где $M_{i\text{ср}}$ – среднесуточная масса выброса i -го вещества, т/год; $\text{ПДК}_{i\text{ср}}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация i -го вещества, мг/м³ (при отсутствии $\text{ПДК}_{i\text{ср}}$ используют значения максимально разовых ПДК, ОБУВ или уменьшенные в 10 раз значения предельно допустимых концентраций веществ рабочей зоны; для веществ, по которым отсутствует информация о ПДК или ОБУВ, значения КОП приравнивают к массе выбросов данных веществ); n – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием. Безразмерная константа a_i , позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью сернистого газа, определяется по табл. 1 [1, 3].

Значения КОП рассчитывают при условии, когда $M_i/\text{ПДК}_i > 1$, при $M_i/\text{ПДК}_i < 1$ значения КОП не рассчитывают и приравнивают к нулю.

По величине КОП предприятия делят на четыре категории опасности (табл. 2) [1, 3].

Таблица 1

Значения a_i для веществ различных классов опасности

Константа	Класс опасности			
	1	2	3	4
a_i	1,7	1,3	1,0	0,9

Таблица 2

**Граничные условия для деления предприятий на категории опасности
в зависимости от значения КОП**

Категория опасности предприятия	Значения КОП
I	КОП \geq 106
II	106 > КОП \geq 104
III	104 > КОП \geq 103
IV	КОП < 103

Категорирование предприятий по степени опасности воздействия их выбросов на атмосферный воздух при их учете и нормировании [1, 3, 6]. С целью создания единого методического подхода по определению категории предприятий по степени опасности воздействия их выбросов в атмосферный воздух можно использовать опыт Российской Федерации, где разработаны «Рекомендации по критериям опасности источников и вредных веществ, в том числе подлежащих нормированию». Нормативный документ определяет порядок расчета показателей, основанных на учете базовых параметров, характеризующих особенности рассеивания примесей в атмосфере и формирование уровней приземных концентраций.

Исходя из значений показателей устанавливается категория предприятия по значимости негативного воздействия его выбросов в атмосферный воздух (а по мере появления и утверждения экологических нормативов качества атмосферного воздуха – и на другие составляющие экосистемы), и на основании данных о результатах инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и их источников определяется перечень источников и вредных веществ, не подлежащих нормированию. Полученные результаты используются при учете и нормировании выбросов загрязняющих веществ от источников предприятий.

Показатели, регламентирующие необходимость учета источников выбросов и вредных веществ при нормировании выбросов, характеризует параметр Φ_j для каждого выбрасываемого вещества [1, 3]:

$$\Phi_j = A \cdot \eta \frac{M_{ji}^{\Phi}(r/c)}{H_j \cdot \text{ПДК}_{\text{мр},j}}, \quad (2)$$

где j – номер вещества или группы веществ, обладающих эффектом комбинации совместного действия; A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, его значения принимаются в соответствии с [3, 6]; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности в соответствии с разд. 4.0НД–86; $M_{ji}^{\Phi}(r/c)$ – суммарное значение выброса от всех источников предприятия,

соответствующее наиболее неблагоприятным из установленных условий (режимов) выброса предприятия в целом, определенное на основе результатов инвентаризации выбросов и источников их поступления в атмосферу:

$$M_{ji}^{\Phi} = \sum_i^n M_{ji}, \quad (3)$$

где n – число источников выброса вредных веществ в атмосферу на предприятии; \overline{H}_j – средневзвешенное значение высоты источников загрязнения предприятия, из которого выбрасывается данное вещество. В том случае, когда это значение оказывается меньше 2 м, полагается $\overline{H}_j = 2$:

$$\overline{H}_j = \max \{2\overline{H}_j^1\} \quad (4)$$

где \overline{H}_j^1 определяется по формуле

$$\overline{H}_j^1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{H}_j \cdot \overline{H}_{ji})}{M_j}, \quad (5)$$

$\text{ПДК}_{\text{мр},j}$ – разовая предельно допустимая концентрация j -го вещества в атмосферном воздухе населенных мест, мг/м³, в соответствии с [3, 6]. По значимости негативного воздействия выбросов предприятий в атмосферный воздух выделено пять категорий.

Целесообразно учитывать следующие случаи:

- если для какого-либо вещества $\text{ПДК}_{\text{мр},j}$ не установлена, используется ОБУВ _{j} этого вещества;
- если отсутствуют $\text{ПДК}_{\text{мр},j}$ и ОБУВ _{j} , используется величина $10\text{ПДК}_{\text{ср},j}$, где $\text{ПДК}_{\text{ср},j}$ – среднесуточная ПДК j -го вещества;
- если отсутствуют установленные для вещества $\text{ПДК}_{\text{мр},j}$, ОБУВ _{j} и $\text{ПДК}_{\text{ср},j}$, допускается на этапе определения категории предприятия использовать величину $0,3\text{ПДК}_{\text{рз},j}$, где $\text{ПДК}_{\text{рз},j}$ – ПДК j -го вещества в воздухе рабочей зоны.

В тех случаях, когда на стадии расчета для предприятия параметра Φ_j^1 определение режимов его работы с наибольшими значениями суммарного выброса (г/с) затруднено, можно в качестве M_j использовать сумму максимальных

значений мощностей выбросов из отдельных источников.

К 5-й категории относятся вещества, для которых выполняется условие:

$$\Phi_j^1 \leq 1. \quad (6)$$

Для веществ, не отнесенных к 5-й категории, необходим учет возможной суммации вредного воздействия. При определении параметра для группы веществ, обладающих эффектом комбинации их совместного действия (Φ^p), складываются параметры Φ_j^1 для отдельных веществ, входящих в эту группу, и сумма умножается на соответствующий коэффициент [3, 6]:

$$\Phi^p = \frac{1}{K_{сд,j}} \cdot \sum_j^p \Phi_j^1, \quad (7)$$

где $K_{сд,j}$ – коэффициент комбинации совместного гигиенического действия группы веществ, равный:

– $K_{сд,j} = 1$ – для групп веществ, обладающих эффектом суммации вредного действия;

– $K_{сд,j} = K_{кд}$ – для групп веществ, обладающих эффектом неполной суммации вредного действия, где $K_{кд}$ – значение коэффициента комбинированного действия рассматриваемой группы веществ (приведенной в списках Минздрава России);

– $K_{сд,j} = K_n$ для групп веществ, обладающих эффектом потенцирования вредного действия, где K_n – справочное значение коэффициента потенцирования рассматриваемой группы веществ, (приведенное в списках Минздрава России); p – число веществ в группе, при совместном присутствии которых в атмосферном воздухе проявляется эффект комбинации их совместного гигиенического действия (суммация, неполная суммация, потенцирование).

Параметр $\Phi_{пр}$ (для предприятия) соответствует наибольшему из всех Φ_j по отдельным веществам и группам суммации веществ:

$$\Phi_{пр} = \max\{\Phi_j^1\}. \quad (8)$$

К 4-й категории предприятий следует отнести те, для которых выполняется условие:

$$\Phi_{пр} \leq 10. \quad (9)$$

Для предприятий, не отнесенных к 4-й категории, для каждого j -го вещества, выбрасываемого источниками предприятия, в k -м режиме его выбросов рассчитываются параметры $Z_{j,k}$ и $g_{j,k}$, позволяющие дать предварительную оценку воздействия на качество атмосферного воздуха выбросов j -го вещества в рассматриваемом режиме источниками этой площадки.

Параметр $Z_{j,k}$ вычисляется по следующим формулам [3, 6]:

а) для отдельного вредного вещества, выбрасываемого предприятием в этом режиме выбросов:

$$Z_{j,k} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{j,k,i}}{\text{ПДК}_{\text{мп},j}}, \quad (10)$$

где $C_{j,k,i}$ – величина максимальной приземной концентрации j -го вещества в селитебной зоне, создаваемая выбросом его из i -го источника при k -м режиме выбросов предприятия без учета выбросов других источников загрязнения атмосферы. $C_{j,k,i}$ для выброса j -го вещества из i -го источника при k -м режиме выбросов предприятия рассчитывается с учетом метеорологических и орографических условий района расположения предприятия [3, 6];

б) для группы веществ, обладающих эффектом комбинированного совместного вредного действия [3, 6]:

$$Z_{j,k} = \frac{1}{K_{сг,j}} \cdot \sum_i^p Z_{j,k}. \quad (11)$$

Параметр $g_{j,k}$ рассчитывается по формуле

$$g_{j,k} = Z_{j,k} + \begin{cases} C_{\text{фм},j} & \text{при } Z_{j,k} > 0,1; \\ 0 & \text{при } Z_{j,k} > 0,1, \end{cases} \quad (12)$$

где $C_{\text{фм},j}$ – максимальное значение фоновой концентрации j -го вещества в зоне влияния источников выброса этого вещества. Зона влияния выбросов определяется в соответствии с [3, 6].

Параметр $g_{пр}$ (для предприятия) соответствует наибольшему из всех $g_{j,k}$ по отдельным режимам и веществам (группам веществ):

$$g_{j,k} = \max\{g_{j,k}\}. \quad (13)$$

Предприятия, не отнесенные к 4-й категории, для которых выполняется условие $g_{пр} \leq 1$, относятся к 3-й категории.

Для определения более значимых категорий (2-й и 1-й) целесообразно наряду с фактором непосредственного воздействия учесть и массу выбросов в атмосферу. Для предприятий, не отнесенных к 3-й категории, рассчитывается параметр K [3, 6]:

$$K = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{\text{ПДК}_{\text{сг},j}}, \quad (14)$$

где n – число веществ, выбрасываемых предприятием; M_j – масса выброса j -го вредного вещества источниками предприятия за год (т/год), при этом если $\text{ПДК}_{\text{сг},j}$ для какого-либо вещества не установлена, в знаменатель формулы (14) следует подставлять значение разовой предельно допус-

тимой концентрации этого вещества (ПДК_{мр, j}) или ОБУВ_j; в случае, когда и эти критерии для какого-либо вещества не установлены, но имеется установленное значение ПДК рабочей зоны, в знаменатель выражения (14) подставляется 0,1 величины этого критерия (0,1ПДК_{рз, j}).

Предприятия, для которых величина параметра K не превышает 104 (десять тысяч), относятся ко 2-й категории: $K \leq 104$.

Если значение критерия K превышает 104, то предприятие должно быть отнесено к 1-й категории: $K > 104$.

Примечание [3]: данные рекомендации ориентированы на гигиенические критерии качества атмосферного воздуха. По мере разработки и внедрения в практику воздухоохранной деятельности экологических нормативов в случаях, когда последние будут более жесткими, следует заменить значение гигиенических нормативов на соответствующие экологические нормативы.

Дифференциальные показатели загрязнения атмосферы воздуха [1–3, 6]. Атмосфера – один из элементов окружающей среды (ОС), который повсеместно подвержен воздействию человеческой деятельности. Последствия антропогенного воздействия на атмосферный воздух зависят от многих факторов и проявляются в изменении климата и химического состава атмосферы. Эти изменения являются существенным фактором влияния на биотическую составляющую среды, в том числе и на человека [1, 3].

Значение коэффициента эффекта совместного действия смеси веществ-загрязнителей, одновременно присутствующих в атмосферном воздухе населенных мест, представлено в табл. 3 [3, 6].

Более серьезное предположение для реализации комплексной оценки экологического со-

стояния окружающей среды выражается следующей системой уравнений [3, 6]:

$$\left. \begin{aligned} P &= f \cdot (P_0, P_1, P_2); \\ P^m &= 1 + \sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} b_i \cdot (R_i^m - 1)^2} - \sqrt{\sum_{i=n_1+1}^n b_i \cdot (R_i^m - 1)^2}; \\ i &= \overline{1, N_1} \text{ при } R \geq 1; \quad i = \overline{1, N_1} \text{ при } R < 1; \end{aligned} \right\} (15)$$

где P – комплексный критерий оценки качества эколого-экономического пространства (территории); P_0 – стандарт качества;

$$P_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i \cdot (R_i^m - 1)^2} - \text{сигнификатор меры}$$

ухудшения ОС для реципиентов m -го вида по отношению к базовому уровню;

$$P_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} b_i \cdot (R_i^m)^2} - \text{допустимый уровень ка-}$$

чества ОС для реципиентов m -го вида; b_i – весовой коэффициент для компоненты i -го типа; R_i^m – индекс ухудшения состояния i -й компоненты для реципиентов m -го вида.

Если для всех N компонентов среды их индексы R качества соответственно равны их стандартам, то принимается $P = P_0$. Если все индексы R всех компонентов не превышают их стандарты ($R_i < P_{0i}$), то принимается $P_0 = P_2$. Если все индексы R всех R_0 компонентов превышают их стандарты ($R_i > P_{0i}$), то принимается $P = P_0 + P_1$. Если для одних компонентов ($i = \overline{1, N_1}$) имеет место ухудшение качества ($R_i > P_{0i}$), а для других ($i = \overline{1, N_1, N}$) качество в пределах нормы ($R_i < P_{0i}$), тогда значение комплексной оценки вычисляется соответственно: $P = P_0 + P_1 + P_2$ [3, 6].

Таблица 3

Значение коэффициента эффекта совместного действия смеси веществ-загрязнителей, одновременно присутствующих в атмосферном воздухе населенных мест [3, 6]

Код	Эффект действия	Коэффициент эффекта (K_g)
1	Независимое действие примесей простой смеси из N веществ	N
2	Действие простой смеси из N веществ по типу суммации их эффектов при изолированном действии	1
3	Усиление эффектов действия веществ простой смеси по отношению к сумме их эффектов при изолированном действии	0,5
4	Ослабление эффектов действия веществ простой смеси	\sqrt{N}
5	Действие сложной смеси из N веществ с неизвестным характером их действия	\sqrt{N}
6	Комбинированное действие сложной смеси, состоящей из N_1 простых смесей (веществ), характер действия (K_g) которых известен, и из N_2 веществ с неизвестным характером действия с указанными смесями	$\sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} K_{gi}^2 + N_2}$

Анализ и оценка источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [6]. Для реализации по назначению приведенных выше методических подходов к анализу и оценке загрязнения атмосферного воздуха и основных природных сред необходима информация о различных параметрах загрязняющих веществ и, в первую очередь, об их массовых характеристиках. Это касается, прежде всего, расчета выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от автомобильных стоянок, передвижных средств транспорта (автотранспорта), от предприятий (источников) агропромышленного комплекса, химической промышленности (нефтеперерабатывающих и лакокрасочных предприятий), предприятий горячей обработки металлов, очистных сооружений и других объектов народного хозяйства, расчеты которых приведены в соответствующих нормативных и руководящих документах (РД).

Расчет выбросов загрязняющих веществ от стоянок автомобилей [3, 6]. Расчеты валовых и максимально разовых выбросов загрязняющих веществ проводятся с использованием удельных показателей, т. е. количества выделяемых загрязняющих веществ, приведенных к единицам использованного оборудования, времени работ автотранспортных средств или оборудования, пробега автотранспортных средств, массы расходуемых материалов.

Удельные показатели выделений (выбросов) загрязняющих веществ от производственных участков приведены на основании результатов исследований и наблюдений, проведенных различными научно-исследовательскими и проектными институтами.

В РД под стоянкой автомобилей понимается территория или помещения, предназначенные для хранения автомобилей в течение определенного периода времени. Автомобили могут размещаться:

- на обособленных открытых стоянках или в отдельных стоящих зданиях и сооружениях (закрытые стоянки), имеющих непосредственный въезд и выезд на дороги общего пользования;
- на открытых стоянках или в зданиях и сооружениях, не имеющих непосредственного въезда и выезда на дороги общего пользования и расположенных в границах объекта, для которого выполняется расчет.

Валовой и максимально разовый выброс загрязняющих веществ при выбранной расчетной схеме 1 определяются только для территории или помещения стоянки, а при схеме 2 – для каждой стоянки автомобилей и для каждого внутреннего проезда [3].

Расчет выбросов загрязняющих веществ выполняется для шести загрязняющих веществ:

оксида углерода – CO, углеводородов – CH, оксидов азота – NO_x, в пересчете на диоксид азота NO₂, твердых частиц – С, соединений серы, в пересчете на диоксид серы SO₂, и соединений свинца – Pb. Для автомобилей с карбюраторными двигателями на бензине рассчитывается выброс CO, CH, NO_x, SO₂ и Pb (Pb – только при использовании этилированного бензина); на сжатом и сжиженном газе – CO, CH, NO_x, SO₂; с дизелями – CO, CH, NO_x, С, SO₂.

Расчетная схема 1. Выбросы *i*-го вещества в граммах одним автомобилем *k*-й группы в сутки при выезде с территории или помещения стоянки (M_{1ik}) и возврате (M_{2ik}) рассчитываются по формулам (16) и (17) [3]:

$$M_{1ik} = m_{\text{пр}ik} \cdot t_{\text{пр}} + m_{\text{лик}} \cdot L_1 + m_{\text{хх}ik} \cdot t_{\text{хх}1}, \quad (16)$$

$$M_{2ik} = m_{\text{лик}} \cdot L_2 + m_{\text{хх}ik} \cdot t_{\text{хх}2}, \quad (17)$$

где $m_{\text{пр}ik}$ – удельный выброс *i*-го вещества при прогреве двигателя автомобиля *k*-й группы, г/мин; $t_{\text{пр}}$ – время прогрева двигателя, мин; $m_{\text{лик}}$ – пробеговый выброс *i*-го вещества автомобилем *k*-й группы при движении со скоростью 10–20 км/ч, г/км; L_1, L_2 – пробег автомобиля по территории стоянки, км; $m_{\text{хх}ik}$ – удельный выброс *i*-го вещества при работе двигателя автомобиля *k*-й группы на холостом ходу, г/мин; $t_{\text{хх}1}, t_{\text{хх}2}$ – время работы двигателя на холостом ходу при выезде с территории стоянки и возврате на нее, мин.

Значения удельных выбросов загрязняющих веществ $m_{\text{пр}ik}, m_{\text{лик}} > m_{\text{хх}ik}$ для различных типов автомобилей представлены в таблицах, в которых применяются следующие обозначения:

– тип двигателя: Б – бензиновый, Д – дизель, Г1 – газовый (сжатый природный газ), при использовании сжиженного нефтяного газа удельные выбросы загрязняющих веществ равны выбросам при использовании бензина, выброс Pb отсутствует;

– период года: Т – теплый, Х – холодный;

– условия хранения автомобилей: БП – открытая или закрытая неотапливаемая стоянка без средств подогрева; СП – открытая стоянка, оборудованная средствами подогрева. Для теплых закрытых стоянок удельные выбросы загрязняющих веществ в холодный и переходный периоды года принимаются равными удельным выбросам в теплый период.

При установке на автомобилях каталитических нейтрализаторов к данным удельных выбросов применяются понижающие коэффициенты.

Введение понижающих коэффициентов к удельным выбросам может осуществляться только по согласованию с региональными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Таблица 4

Значения коэффициентов снижения удельных выбросов

Тип двигателя	Значения k_i					
	CO	CH	NO ₂	C	SO ₂	Pb
Б	0,80	0,90	1,00	–	0,95	0,95
Д	0,90	0,90	1,00	0,80	0,95	–

При этом обязательным условием является наличие официального заключения независимой экспертизы, подтверждающего эффективность применения этих устройств на соответствующих моделях автомобилей в условиях, характерных для движения по территории стоянок.

При использовании на автотранспортных средствах двигателей, работающих по газодизельному циклу, удельные выбросы принимаются равными выбросам при работе на дизельном топливе.

Удельные выбросы загрязняющих веществ при прогреве и работе двигателя на холостом ходу соответствуют ситуации, при которой не осуществляется регулярный контроль и регулирование двигателей в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.2.03–87 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности» и ГОСТ 21393–75 «Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений».

При проведении экологического контроля удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями, г/мин, снижаются, следовательно $m_{прик}$ и $m_{ххик}$ должны рассчитываться по формулам (18, 19) [3, 6]:

$$m'_{прик} = m_{прик} \cdot k_i; \quad (18)$$

$$m''_{ххик} = m_{ххик} \cdot k_i, \quad (19)$$

где k_i – коэффициент, учитывающий снижение выброса i -го загрязняющего вещества при проведении экологического контроля (табл. 4) [3, 6].

Периоды года (холодный, теплый, переходный) условно определяются по величине среднемесячной температуры. Месяцы, в которых среднемесячная температура ниже -5°C , относятся к холодному периоду, месяцы со среднемесячной температурой выше $+5^\circ\text{C}$ – к теплому периоду, и с температурой от -5°C до $+5^\circ\text{C}$ – к переходному. Длительность расчетных периодов и среднемесячные температуры определяются с помощью «Справочника по климату Беларуси».

Время прогрева двигателя $t_{пр}$, мин, зависит от температуры воздуха (табл. 5) [3, 6].

Таблица 5

Время прогрева двигателя в зависимости от температуры воздуха (открытые и закрытые неотапливаемые стоянки), мин

Категория автомобиля	Время прогрева при температуре						
	выше $+5^\circ\text{C}$	$+5 \dots -5^\circ\text{C}$	$-5 \dots -10^\circ\text{C}$	$-10 \dots -15^\circ\text{C}$	$-15 \dots -20^\circ\text{C}$	$-20 \dots -25^\circ\text{C}$	ниже -25°C
Легковой автомобиль	3	4	10	15	15	20	20
Грузовой автомобиль или автобус	4	6	12	20	25	30	30

Примечания. 1. При хранении автомобилей на теплых закрытых стоянках принимаются значения $t_{пр} = 1,5$ мин.

2. Для маршрутных автобусов, хранящихся на открытых стоянках без средств подогрева при температуре воздуха ниже -10°C , принимается $t_{пр} = 8$ мин при условии периодического прогрева двигателя по 15 мин. Этот дополнительный выброс должен учитываться при расчете выбросов по формулам (18) и (19) [3, 6].

3. При хранении грузовых автомобилей и автобусов на открытых стоянках, оборудованных средствами подогрева, при температуре воздуха ниже -5°C $t_{пр} = 6$ мин, при хранении легковых автомобилей $t_{пр} = 4$ мин.

4. В неучтенных ситуациях $t_{пр}$ может приниматься по фактическим замерам.

Средний пробег автомобилей (в километрах) по территории или помещению стоянки L_1 (при выезде) и L_2 (при возврате) рассчитываются по формулам (20) и (21) [3, 6]:

$$L_1 = \frac{L_{1Б} + L_{1Д}}{2}, \quad (20)$$

$$L_2 = \frac{L_{2Б} + L_{2Д}}{2}, \quad (21)$$

где $L_{1Б}$, $L_{1Д}$ – пробег автомобиля от ближайшего к выезду и наиболее удаленного от выезда места стоянки до выезда со стоянки, км; $L_{2Б}$, $L_{2Д}$ – пробег автомобиля от ближайшего к въезду и наиболее удаленного от въезда места стоянки автомобиля до въезда на стоянку, км. Продолжительность работы двигателя на холостом ходу при выезде (въезде) автомобиля со стоянки $t_{хх1} = t_{хх2} = 1$ мин.

Валовой выброс i -го вещества M_{ij} автомобилями, т/год, рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле (22):

$$M_{ij} = \sum a_b \cdot (M_{1ik} + M_{2ik}) \cdot N_k \cdot D_p \cdot 10^{-6}, \quad (22)$$

где a_b – коэффициент выпуска (выезда); N_k – количество автомобилей k -й группы на территории или в помещении стоянки за расчетный период; D_p – количество дней работы в расчетном периоде (холодном, теплом, переходном); j – период года (Т – теплый, П – переходный, Х – холодный). Для холодного периода расчет M_{ij} выполняется для каждого месяца.

Коэффициент выпуска a_b определяется по формуле (23) [3, 6]:

$$a_b = \frac{N_{кв}}{N_k}, \quad (23)$$

где $N_{кв}$ – среднее на расчетный период количество автомобилей k -й группы, выезжающих в течение суток со стоянки.

Для станций технического обслуживания a_b определяется как отношение фактического количества автомобилей k -й группы, прошедших техническое обслуживание или ремонт за расчетный период, к максимально возможному количеству автомобилей.

Влияние холодного и переходного периодов года на выбросы загрязняющих веществ учитывается только для выезжающих автомобилей, хранящихся на открытых и закрытых неотапливаемых стоянках.

Общий валовой выброс, т/год, M_i рассчитывается по формуле (24) путем суммирования валовых выбросов одноименных веществ по периодам года:

$$M_i = M_i^T + M_i^П + M_i^X. \quad (24)$$

Максимально разовый выброс i -го вещества G_i , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле (25):

$$G_i = \frac{\sum M_{1ik} \cdot N_k}{3600}, \quad (25)$$

где N_k – количество автомобилей k -й группы, выезжающих со стоянки за 1 ч, характеризующийся максимальной интенсивностью выезда автомобилей. Из полученных значений G выбирается максимальное.

Расчетная схема 2 [3, 6]. Валовой выброс i -го вещества при движении автомобилей по внутреннему проезду расчетного объекта при выезде и возврате $M_{при}$ рассчитывается отдельно для каждого периода года по формуле (26):

$$M_{при}^j = \sum m_{1ik} \cdot L_p \cdot N_{кр} \cdot D_p \cdot 10^{-6}, \quad (26)$$

где L_p – протяженность внутреннего проезда, км; $N_{кр}$ – среднее количество автомобилей k -й группы, проезжающих по внутреннему проезду в сутки; j – период года.

Общий валовой выброс МП_{*i*}, т/год, рассчитывают по формуле (27) путем суммирования выбросов одноименных веществ по периодам года:

$$M_{Pi} = \sum (M_{при}^T + M_{при}^П + M_{при}^X). \quad (27)$$

Максимально разовый выброс i -го вещества для внутреннего проезда G_{pi} , г/с, рассчитывается для каждого месяца по формуле (28):

$$G_{pi} = \frac{\sum m_{1ik} \cdot L_p \cdot N_{кр}}{3600}, \quad (28)$$

где $N_{кр}$ – количество автомобилей k -й группы, проезжающих по проезду за 1 ч, характеризующийся максимальной интенсивностью движения.

Из полученных значений G_i выбирается максимальное.

Расчетная схема 3. Выброс i -го вещества, г, одним автомобилем k -й группы в сутки при выезде из многоэтажной стоянки (M_{1ik}) и возврате (M_{2ik}) рассчитывается по формулам (29), (30):

$$M_{1ik} = m_{приk} \cdot t_{пp} + m_{1ik} \times (L_1 + 0,5k_{ni} \cdot L_n) + m_{xxik}^x \cdot t_{хх1}; \quad (29)$$

$$M_{2ik} = m_{1ik} \cdot (L_2 + 0,5k \cdot L_n) + m_{xxik}^x \cdot t_{хх2}, \quad (30)$$

где L_n – длина пандуса многоэтажной стоянки, км; k_{ni} – коэффициент, учитывающий изменение выброса загрязняющих веществ при движении по пандусу при выезде и въезде на стоянку (табл. 6) [3, 6].

Валовой и общий валовой выброс i -го вещества, т/год, рассчитывается по формулам (29) и (30) [3, 6].

Таблица 6

Значения коэффициента изменения выброса загрязняющих веществ при движении по пандусу

Тип двигателя	Значения k_{ji}					
	CO	CH	NO _x	C	SO ₂	Pb
Б	$\frac{2,0}{0,5}$ *	$\frac{2,0}{0,5}$	$\frac{3,0}{0,2}$	–	$\frac{1,4}{0,5}$	$\frac{1,4}{0,5}$
Д	$\frac{1,5}{0,2}$	$\frac{1,5}{0,2}$	$\frac{3,5}{0,1}$	$\frac{4,0}{0,1}$	$\frac{2,0}{0,1}$	–

* В числителе приведены значения для подъема по пандусу, а в знаменателе – для спуска.

Максимально разовый выброс i -го вещества, г/с, G_i рассчитывается для каждого месяца по формуле (31) [3, 6]:

$$G_i = \frac{\sum (M_{1ik} \cdot N'_k + M_{2ik} \cdot N''_k)}{3600}, \quad (31)$$

где N'_k, N''_k – количество автомобилей k -й группы, выезжающих со стоянки и въезжающих на стоянку за 1 ч, характеризующийся максимальной интенсивностью выезда (для подземных многоэтажных стоянок) или въезда (для наземных многоэтажных стоянок). Из полученных значений G_i выбирается максимальное влияние на нижеуказанные территории:

- 1) территория или помещение стоянки;
- 2) дороги общего пользования;
- 3) въезд с дороги общего пользования;
- 4) выезд на дороги общего пользования;
- 5) внутренние проезды;
- 6) здания и сооружения, не предназначенные для стоянки автомобилей.

Расчет выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) автомобильным транспортом. Расчет выбросов ЗВ автомобильным транспортом является логическим продолжением расчетов по выбросам от стоянок автомобилей. В основу методики расчетов выбросов ЗВ автомобильным транспортом заложен средний удельный выброс по автомобилям отдельных групп (грузовые, автобусы, легковые). При этом выброс ЗВ корректируется в зависимости от технического состояния, их среднего возраста, влияния природно-климатических условий.

В результате для автомобилей парка рассматриваемого города (региона) масса выброшенного за расчетный период τ загрязняющего j -го вещества (M_j^{τ}) при наличии в группе автомобилей с различными типами ДВС (бензиновыми, дизельными, газовыми и др.) определяется следующим образом [3, 6]:

$$M_j^i = \sum \sum m_{jik} \cdot L_{ik} \cdot \Pi_{\text{п}} \cdot R_{jik}, \quad (32)$$

где i – количество групп автомобилей; m_{jik} – удельный выброс j -го ЗВ автомобилем i -й группы с двигателем k -го типа на расчетный период (включает в себя пробеговый выброс с

учетом картерных выбросов и испарений топлива), г/км; L_{ik} – пробег автомобилей i -й группы с двигателем k -го типа за расчетный период, млн км; $\Pi_{\text{п}} \cdot R_{jik}$ – произведения коэффициентов влияния p -факторов на выброс ЗВ автомобилями i -й группы с двигателями k -го типа в рассматриваемом регионе.

Расчет ведется на основе статистической отчетности о наличии и работе автотранспорта (форма № 1 – автотранспорт) и учетной документации по расчетным формам «Выброс автотранспорта».

Для легковых автомобилей индивидуального пользования пробег рассчитывается по формуле (33) [3, 6]:

$$L_{\text{ин.л}} = 10 \text{ км/л} \cdot B, \quad (33)$$

где B – расход топлива легковых автомобилей индивидуального пользования, тыс. л.

Расход топлива этими легковыми автомобилями берется по данным региональных подразделений «Белнефтегаз» («Белтопгаз») как реализация бензина его рыночного фонда (по рыночным ценам).

Для расчета ожидаемого выброса в текущем году и на плановый период используется расчет данных за отчетный период, изложенный в разделе «Расчет данных за отчетный период» (формулы (29) и (30)). Расчет годового выброса ЗВ, ожидаемого в текущем году и на плановый период, проводится отдельно по группам автомобилей по формуле (34) [3, 6]:

$$M_{\text{пл}} = M_{\text{отч}} \frac{m_{\text{пл}} \cdot P_{\text{пл}}}{m_{\text{отч}} \cdot P_{\text{отч}}}, \quad (34)$$

где $M_{\text{отч}}$ – годовой выброс ЗВ за отчетный год, т/год; $m_{\text{пл}}$ – удельный выброс ЗВ на 1 км пробега одним средним автомобилем на плановый (текущий) период, г/км; $P_{\text{пл}}$ – плановый или ожидаемый грузооборот, млн т, км; $m_{\text{отч}}$ – удельный выброс ЗВ на 1 км пробега единым средним автомобилем за отчетный год, г/км; $P_{\text{отч}}$ – отчетный грузооборот, млн т, км.

Для автобусов годовой выброс того или иного ЗВ на плановый (текущий) период определяется по формуле (35) [3, 6]:

$$M_{\text{пл}} = M_{\text{отч}} \frac{m_{\text{пл}}}{M_{\text{отч}}} \cdot \frac{N_{1\text{пл}} + N_{2\text{пл}}}{N_{1\text{отч}} + N_{2\text{отч}}}, \quad (35)$$

где $N_{1\text{пл}}$, $N_{1\text{отч}}$ – среднемесячное (или ожидаемое) количество автобусов общего пользования на плановый или отчетный период, тыс. шт.; $N_{2\text{пл}}$, $N_{2\text{отч}}$ – среднемесячное или ожидаемое количество автобусов министерств и ведомств на плановый и отчетный периоды, тыс. шт.

Если расчет выбросов ЗВ проводится в масштабе какого-либо министерства или ведомства, то в формуле (35) третьим сомножителем является отношение соответствующих парков на плановый или отчетный периоды: для транспорта общего пользования только $N_{1\text{пл}}/N_{1\text{отч}}$, для ведомственного – $N_{2\text{пл}}/N_{2\text{отч}}$.

Заключение. Промышленная нагрузка на территории анализируемых районов – достаточно вариабельный показатель. Наибольшее значение промышленной нагрузки, выражаемой в территориальной доле зон ее воздействия, принадлежит Полоцкому району из-за не-

померно высоких выбросов Новополоцкого нефтеперерабатывающего комбината. Даже при трехкратном уменьшении площади зоны воздействия промышленных выбросов территориальная доля составляет около 20%. Высокая промышленная нагрузка также для Костюковичского и Молодечненского районов [6].

Транспортная нагрузка только по Юго-Западному региону имеет высокое значение варьирования, остальные выборки находятся на уровне низких значений. Очевидно, что это обусловлено высокой транспортной нагрузкой Брестского района, имеющего самую высокую интенсивность движения (порядка 6300 маш./сут). Среди достаточно нагруженных транспортных сетей следует отметить Полоцкий, Логойский, Вилейский и Молодечненский районы, однако уровень анализируемой нагрузки здесь составляет 50% от ежемесячного максимального. Низкие значения транспортной нагрузки отмечаются для районов Юго-Восточного региона – интенсивность движения на дорогах достаточно низкая [6].

Литература

1. Методология развития инновационных производств на основе технологического прогнозирования и оценки использования природных ресурсов / И. В. Войтов [и др.]; под ред. И. В. Войтова. Минск: Беларус. навука, 2012. 439 с.
2. Войтов И. В., Гатих М. А., Рыбак В. А. Научно-методические основы анализа и оценок технологического прогнозирования развития новых высокотехнологичных промышленных производств. Минск: БГТУ, 2015. 532 с.
3. Войтов И. В. Научные основы анализа и прогнозных оценок состояния природопользования и охраны окружающей среды как основных функций экологической «зеленой» экономики. Минск: БГТУ, 2017. 578 с.
4. О промышленной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 5 янв. 2016 г., № 354-З [Электронный ресурс] // Kodeksy-by.com. Законодательство Беларуси: сайт. URL: http://kodeksy-by.com/zakon_rb_о_промышленной_безопасности.htm (дата обращения: 01.08.2018).
5. О некоторых мерах по реализации Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности»: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 5 авг. 2016 г. № 613 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21600613&p1=1> (дата обращения: 01.08.2018).
6. Методология эколого-экономической оценки состояния природно-ресурсного потенциала и экологической напряженности регионов и городов Республики Беларусь: отчет о НИР / ГУ «БелНИЦ «Экология»; рук. НИР М. А. Гатих. Минск, 2003. 230 с.

References

1. Voitau I. V., Gatikh M. A., Topol'tsev A. L., Rybak V. A. *Metodologiya razvitiya innovatsionnykh proizvodstv na osnove tekhnologicheskogo prognozirovaniya i otsenki ispol'zovaniya prirodnnykh resursov* [Methodology of development of innovative productions on the basis of technological prognostication and estimation of the use of natural resources]. Ed. by I. V. Voitau. Minsk, Belarus. navuka Publ., 2012. 439 p.
2. Voitau I. V., Gatikh M. A., Rybak V. A. *Nauchno-metodicheskie osnovy analiza i otsenok tekhnologicheskogo prognozirovaniya razvitiya novykh vysokotekhnologichnykh promyshlennykh proizvodstv* [Scientific-methodical bases of analysis and estimations of technological prognostication of development of new hi-tech industrial productions]. Ed. by I. V. Voitau. Minsk, BGTU Publ., 2015. 532 p.
3. Voitau I. V. *Nauchnye osnovy analiza i prognoznykh otsenok sostoyaniya prirodnopol'zovaniya i okhrany okruzhayushchey sredy kak osnovnykh funktsiy ekologo-bezopasnoy «zelenoy» ekonomiki* [Scientific bases of the analysis and forecast estimations of a condition of nature management and environmental protection as the main functions of ecologic safe land economy]. Minsk, BGTU Publ., 2017. 578 p.

4. *O promyshlennoy bezopasnosti: Zakon Resp. Belarus, 05.01.2016, № 354-3* [About industrial safety: Law of the Republic of Belarus, 05.01.2016, no. 354-3]. Available at: http://kodeksy-by.com/zakon_rb_o_promyshlennoj_bezopasnosti.htm. (accessed 01.08.2018).

5. *O nekotorykh merakh po realizatsii Zakona Respubliki Belarus' «O promyshlennoy bezopasnosti»: postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus, 05.08.2016, № 613* [About some measures on realization of Law of the Republic of Belarus “About industrial safety”: decision of Council of Ministers of the Republic of Belarus, 05.08.2016, no. 613]. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=2551&p0=C21600613&p1=1> (accessed 01.08.2018).

6. *Metodologiya ekologo-ekonomicheskoy otsenki sostoyaniya prirodno-resursnogo potentsiala i ekologicheskoy napryashennosti regionov i gorodov Respubliki Belarus: otchyot o NIR* [Methodology of ecology-economical estimation of the state of naturally-resource potential and ecological tension of regions and cities of the Republic of Belarus: report on SIR]. Leader of SIR M. A. Gatikh. Minsk, 2003. 230 p.

Информация об авторе

Войтов Игорь Витальевич – доктор технических наук, доцент, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rector@belstu.by

Information about the author

Voitau Ihar Vital'evich – DSc (Engineering), Associate Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rector@belstu.by

Поступила 13.08.2018

