

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра производственной и экологической безопасности

И.С. Асаенок, Т.Ф. Михнюк

**ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**  
**И**  
**ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Учебное пособие  
к практическим занятиям для студентов  
экономических специальностей БГУИР всех форм обучения

Минск 2004

УДК 574 (075.8)

ББК 20.18 я 7

А 69

Р е ц е н з е н т

зав. кафедрой экономики А. В. Сак

Асаенок И.С.

А 69 Основы экологии и экономика природопользования: Учеб. пособие к практ. занятиям для студ. экон. спец. БГУИР всех форм обуч. / И.С. Асаенок, Т.Ф. Михнюк – Мн.: БГУИР, 2004. – 60 с.

ISBN 985-444-695-6

Учебное пособие содержит методики расчета экономического ущерба, наносимого обществу антропогенным загрязнением окружающей среды (атмосферы, водоемов, почв) и неконтролируемым потреблением биоресурсов; расчета предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, предельно допустимых сбросов и необходимой степени очистки сточных вод, а также экономической эффективности природоохранных мероприятий.

Кроме того, пособие содержит контрольные задания для самостоятельной работы студентов, выполнение которых позволит лучше овладеть указанными выше методиками, экологическими проблемами, экономическим механизмом природопользования.

УДК 574 (075.8)  
ББК 20.18 я 7

ISBN 985-444-695-6

© Асаенок И.С., Михнюк Т.Ф., 2004

© БГУИР, 2004

## Введение

Среди глобальных проблем современного общества, таких как увеличение военно-политических и социально-религиозных конфликтов, расширение терроризма, непрекращающийся рост численности населения Земли, его урбанизация и другое, важнейшее значение имеет высокий уровень вероятности глобального экологического кризиса, истощение природных ресурсов, особенно топливных и энергетических.

Суть экологического кризиса, или критического состояния окружающей среды, состоит в том, что в результате неуправляемой хозяйственной деятельности человека и неконтролируемого использования материальных ресурсов Земли и загрязнения природная среда может утратить естественные механизмы саморегулирования, самоочищения и самовосстановления и обрести состояние, при котором использование ее богатств и жизнедеятельность людей станут невозможными.

Обострение проблемы взаимоотношения общества и природы, обеспечения здоровых экологических условий обусловлено чрезвычайной технолизацией жизнедеятельности общества, небывалым его воздействием на живую и неживую природу, ростом локальных экологических бедствий, природных и техногенных катастроф.

В настоящее время стало очевидным, что, разрушая и истощая природную среду, невозможно обеспечить устойчивое экономическое развитие общества. Поэтому формирование оптимальной системы природопользования является важнейшей проблемой, решение которой возможно при глубоких знаниях основ экологии, законов развития природы, экономики и организации природопользования всеми специалистами экономического профиля.

# 1. Оценка ущерба, наносимого обществу антропогенным загрязнением окружающей среды

Важнейшим условием оптимизации взаимоотношений общества и природы является возмещение субъектами хозяйствования того ущерба, который они наносят окружающей среде в результате своей деятельности.

Исходя из того что хозяйственная деятельность может негативно сказываться на состоянии экологических систем, хозяйственных объектов и здоровья людей, различают три вида ущерба: экологический, экономический и социальный.

Экологический ущерб характеризуется нарушениями, возникающими в природных системах. При определенных условиях эти нарушения могут привести к необратимым изменениям и деградации отдельных экосистем.

Экономический ущерб – это фактические и возможные потери народного хозяйства (промышленности, сельского хозяйства), выраженные в денежной форме и обусловленные ухудшением экологической ситуации (прежде всего, вследствие разрушения природных ресурсов).

Социальный ущерб заключается в ухудшении здоровья людей, сокращении продолжительности жизни, обострении хронических заболеваний, снижении работоспособности, вызванных неблагоприятным состоянием окружающей среды.

По известным причинам экологический и социальный (особенно невосполнимый) ущербы выразить в абсолютно точной количественной оценке не представляется возможным. Экономический же ущерб в общем виде ( $U$ ) включает в себя натуральные потери – натуральный ущерб ( $Y_i$ ) в денежном выражении и затраты на ликвидацию отрицательных последствий хозяйственной деятельности (3), то есть

$$U = f(Y_i, 3). \quad (1)$$

К натуральным потерям относится, прежде всего, прямое разрушение природного ресурса и прямой ущерб, который несет экономика вследствие такого разрушения (например, уничтожение почвы при открытой добыче полезных ископаемых, при отводе сельскохозяйственных земель под строительство промышленных объектов; уничтожение лесов от пожаров, порубок, загрязнения воздуха и др.).

Величина затрат, вызванных необходимостью ликвидации последствий загрязнения или истощения природной среды, определяется расходами на компенсацию негативных влияний этого воздействия на различные хозяйственные объекты (например, затраты на создание очистных сооружений и их эксплуатацию).

Наибольшее практическое значение имеет определение совокупного (суммарного) ущерба, наносимого региону вследствие загрязнения и истощения окружающей среды, который складывается из экономического — недовыработка промышленной продукции, снижение урожайности и продуктивности сельскохозяйственного производства и т.п. — и социального (восполнимого) ущерба (рост затрат на лечение, социальное страхование, снижение производительности труда и т.п.).

Совокупный ущерб отражает потери общества при отсутствии природоохранных мероприятий и складывается из следующих локальных ущербов:

ущерба промышленности (дополнительные затраты на ремонт и восстановление основных фондов в связи с сокращением сроков их службы в условиях агрессивной среды; дополнительные затраты на очистку воздуха и воды; затраты, связанные с потерями сырья в выбросах и т.п.);

ущерба сельскому и лесному хозяйству (дополнительные затраты, связанные с потерями ресурсов и продукции в результате изменения урожайности и продуктивности);

ущерба от повышенной заболеваемости населения (оплата больничных листов, медицинские услуги и др.);

ущерба жилищно-коммунальному хозяйству (дополнительные затраты на содержание жилищно-коммунального хозяйства вследствие ухудшения состояния жилых территорий, жилищного фонда, растительности и т.п.);

прямого экономического ущерба населению (например, дополнительные затраты на потребление бытовых услуг и др.).

Определение экономического ущерба является достаточно сложной задачей, так как для каждого компонента природы и каждого реципиента необходимы свои методики расчета с учетом индивидуальных особенностей.

В настоящее время применяются три основных метода экономической оценки ущерба:

**метод прямого счета**, базирующийся на сопоставлении затрат на лечение населения, урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности скота, сроков службы основных фондов и т.п. в загрязненном и контрольном районах;

**аналитический метод**, основанный на использовании предварительно выведенных математических зависимостей между показателями состояния реципиентов и уровнем загрязнения окружающей среды;

**эмпирический (укрупненный) метод**, основанный на принципе перенесения на частный исследуемый объект общих закономерностей воздействия ущербаобразующих факторов.

Первые два метода оценки ущерба в силу своей сложности и трудоемкости не получили широкого использования. Чаще всего они используются для разработки системы удельных ущербов, показывающих, какой ущерб наносится единице расчетного элемента (р./чел.; р./га; р./млн р. основных фондов). Удельные ущербы могут рассчитываться на одну тонну выбросов или задаваться при различных концентрациях вредных веществ.

На основании эмпирического (укрупненного) метода общий ущерб от техногенного загрязнения окружающей среды ( $Y$ ) упрощенно можно представить в виде суммы ущербов от загрязнения атмосферы ( $Y_a$ ), воды ( $Y_в$ ), почвы ( $Y_n$ ), недр ( $Y_n$ ) и др., то есть

$$Y = Y_a + Y_в + Y_n + Y_n. \quad (2)$$

## 1.1. Расчет экономического ущерба от загрязнения атмосферы

Атмосферный воздух представляет собой механическую смесь азота (78,8%), кислорода (20,95%), углекислого газа (0,03%), аргона (0,93%) и других газов (неона, гелия, водорода, озона, метана и пр.). Именно такой газовый состав атмосферы является наиболее благоприятным для человека. Изменение физических и химических свойств атмосферы может отрицательно сказываться на здоровье людей, их работоспособности и продолжительности жизни. Привнесение в воздушную среду каких-либо новых веществ называется загрязнением.

Проблема загрязнения атмосферы особенно обострилась во второй половине XX в. и в начале текущего столетия в результате чрезвычайно высоких темпов роста промышленного производства, потребления электроэнергии, транспортных средств. Производственное загрязнение образуется в результате деятельности промышленных, сельскохозяйственных, строительных предприятий и при работе различных видов транспорта, особенно автомобильного.

Загрязнение атмосферы оказывает многообразное вредное влияние на организм человека, животных, растения и микроорганизмы, вызывает глобальные изменения в биосфере, наносит значительный экономический ущерб обществу. Высокие концентрации в воздухе окислов азота, серы и углерода ускоряют процессы разрушения строительных материалов и конструкций, крыш и фасадов зданий, усиливают коррозию металлов. Определенный ущерб наносится жилищно-коммунальному хозяйству городов, объектам социально-культурной сферы, памятникам архитектуры и искусства и др. Загрязнение атмосферы наносит огромный экономический ущерб сельскому и лесному хозяйству.

Оценка годового ущерба от загрязнения атмосферы ( $Y_a$ ) определяется по формуле

$$Y_a = \gamma f \sigma \mu, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – величина удельного ущерба от одной условной тонны выбросов, р./усл.т (устанавливается Министерством финансов совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды);  $f$  – коэффициент, учитывающий характер и условия рассеивания выброшенных источником примесей;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях с различной плотностью и чувствительностью реципиентов;  $\mu$  – суммарная масса выбросов загрязняющих веществ в пределах данной территории, приведенной к единице токсичности, усл. т/год.

Значение коэффициента  $f$ , учитывающего характер и условия рассеивания примесей, определяется следующим образом.

1. Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц с очень малой скоростью оседания ( $< 1$  см/с) или при значении коэффициента очистки  $\geq 90\%$ :

$$f = f_1 = \frac{100}{100 + \varphi H} \cdot \frac{4}{1 + U}, \quad (4)$$

где  $H$  – геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню зоны активного загрязнения, м;  $\varphi$  – поправка на тепловой подъем факела выбросов в атмосфере. Рассчитывается по формуле  $\varphi = 1 + \Delta t / 75$ , где  $\Delta t$  – среднегодовое значение разности температур в устье источника и в окружающей среде на уровне устья;  $U$  – среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера, м/с. Если его значение неизвестно, то при расчетах принимается равным 3 м/с.

2. Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с или при значении коэффициента очистки более 70 и менее 90%  $f$  рассчитывается по формуле

$$f = f_2 = \left( \frac{1000}{60 + \varphi H} \right)^{0.5} \cdot \frac{4}{1 + U}. \quad (5)$$

3. Для частиц, оседающих со скоростью свыше 20 см/с или при значении коэффициента очистки менее 70%

$$f = f_3 = 10. \quad (6)$$



Если значения коэффициента  $f$  для различных примесей, вырабатываемых одним источником, оказались различными, то общая оценка ущерба определяется суммой оценок по каждому из типов примеси.

Коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях с различной плотностью и чувствительностью реципиентов (далее коэффициент относительной опасности загрязнения воздуха), для зоны активного загрязнения  $\sigma_{3AZ}$  рассчитывается по формуле

$$\sigma_{3AZ} = \sum_{i=1}^K \frac{S_i}{S_{3AZ}} \sigma_i, \quad (7)$$

где  $K$  – общее число типов территорий, попавших в зону активного загрязнения;  $S_i$  – площадь территории  $i$ -го типа (она обычно известна);  $S_{3AZ}$  – площадь зоны активного загрязнения, которая зависит от особенностей источника, температуры воздуха, скорости ветра, степени очистки и высоты выброса  $H$  (геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню зоны активного загрязнения), зависящая от размеров трубы и подъема факела под влиянием разности температур в устье источника и в окружающей атмосфере на уровне устья, что учитывается поправкой  $\varphi$ ;  $\sigma_i$  – показатель относительной опасности загрязнения воздуха (табл. 1).

**Таблица 1**

Значение показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха на территории различных типов

| № п/п | Тип загрязненной территории                                | $\sigma_{j \text{ возд}}$ |
|-------|--|---------------------------|
| 1     | 2  | 3                         |
| 1     | Территории курортов, санаториев, заповедников, заказников  | 10                        |
| 2     | Территории природных зон отдыха, садовых и дачных участков | 8                         |
| 3     | Центральная часть города с населением свыше 300 тыс. чел.  | 8                         |
| 4     | Территории промышленных предприятий и промузлов            | 4                         |
| 5     | Леса I группы  | 0,2                       |
| 6     | Леса II группы   | 0,1                       |
| 7     | Пашни обычные, южные зоны (южнее 50 с.ш.)                  | 0,25                      |

Окончание табл. 1

| 1  | 2   | 3    |
|----|---|------|
| 8  | Пашни орошаемые, южные зоны (южнее 50 с.ш.) | 0,5  |
| 9  | Пашни обычные, прочие районы                | 0,1  |
| 10 | Пашни орошаемые, прочие районы              | 0,2  |
| 11 | Сады, виноградники обычные                  | 0,5  |
| 12 | Сады, виноградники орошаемые                | 1,0  |
| 13 | Пастбища, сенокосы обычные                  | 0,05 |
| 14 | Пастбища, сенокосы орошаемые                | 0,1  |

**Зона активного загрязнения для каждого источника, ущерб от выбросов которого подлежит оценке, определяется следующим образом.**

1. Для организованных источников высотой  $H \leq 10$  м зона активного загрязнения представляет собой круг с центром в точке расположения источника радиусом  $50H$ , а при  $H > 10$  м — кольцо между окружностями с внутренним и внешним радиусами (соответственно  $r_{внутр}$  и  $r_{внеш}$ ), которые рассчитываются по формулам

$$r_{внутр} = 2\varphi H, \quad r_{внеш} = 20\varphi H. \quad (8)$$

2. Для автомагистралей всех типов зона активного загрязнения – это полоса шириной 200 м, центральная ось которой совпадает с осью автомагистрали.

3. Для низких неорганизованных источников (складов, карьеров, свалок) зоной активного загрязнения является территория внутри замкнутой кривой, проведенной вокруг источника так, что расстояние от любой точки кривой до ближайшей границы влияния неорганизованного источника равно 1 км.

4. Для высоких неорганизованных источников высотой  $H$  зона активного загрязнения равна  $20H$ .

Общая площадь зоны активного загрязнения обычно неоднородна и состоит из территорий, занятых различными реципиентами, поэтому она определяется по формуле

$$S_{зз} = \sum_{i=1}^K S_i, \quad (9)$$

где  $S_i$  – площадь зоны активного загрязнения  $i$ -го типа территории.

Суммарная масса выбросов загрязняющих веществ в пределах данной территории в течение года, приведенная к единой токсичности ( $\mu$ ), определяется по формуле

$$\mu = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \text{ усл. т/т}, \quad (10)$$

где  $N$  – общее число примесей, содержащихся в выбросах источника;  $A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -го вещества, характеризующий количество оксида углерода, эквивалентное по воздействию на окружающую среду одной тонне этого вещества, усл. т/т;  $m_i$  – масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/год.

Показатель относительной агрессивности  $i$ -го вещества определяется по формуле

$$A_i = a_i \alpha_i \delta_i \lambda_i \beta_i, \quad (11)$$

где  $a_i$  – поправка, характеризующая относительную опасность присутствия  $i$ -го вещества примеси в воздухе, вдыхаемом человеком;  $\alpha_i$  – поправка, учитывающая вероятность накопления  $i$ -го вещества в окружающей среде и в цепях питания, а также поступления этого вещества в организм неингаляционным путем;  $\delta_i$  – поправка, учитывающая вредное воздействие  $i$ -го вещества на основных реципиентов, кроме человека;  $\lambda_i$  – поправка на вероятность вторичного попадания  $i$ -го вещества в атмосферу после его оседания на поверхности (для пылей);  $\beta_i$  – поправка на вероятность образования из исходных примесей, выброшенных в атмосферу, других (вторичных) загрязнителей, более опасных, чем исходные (для легких углеводородов).

Поправка  $a_i$ , характеризующая относительную опасность присутствия  $i$ -го вещества (примеси) в воздухе, вдыхаемом человеком, показывает уровень опасности этого вещества для человека по отношению к уровню опасности оксида углерода, то есть

$$a_i = \left( \frac{\text{ПДК}_{c.c\text{CO}} \cdot \text{ПДК}_{p.3\text{CO}}}{\text{ПДК}_{c.ci} \cdot \text{ПДК}_{p.zi}} \right)^{0,5} = \left( \frac{60}{\text{ПДК}_{c.ci} \cdot \text{ПДК}_{p.zi}} \right)^{0,5}, \quad (12)$$

где  $\text{ПДК}_{c.c\text{CO}}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация оксида углерода, равная  $3 \text{ мг/м}^3$ ;  $\text{ПДК}_{c.ci}$  – то же для  $i$ -го вещества (см. табл. 2);  $\text{ПДК}_{p.3\text{CO}}$  – пре-

дельно допустимая концентрация (усредненная за рабочую смену) оксида углерода в воздухе рабочей зоны;  $ПДК_{p,з}i$  – то же для  $i$ -го вещества (см. табл. 2).

Значение поправки  $\alpha_i$  принимается равным:

5 — для следующих токсичных материалов (веществ) и их оксидов: ванадия, марганца, кобальта, никеля, хрома, цинка, мышьяка, серебра, кадмия, сурьмы, олова, платины, ртути, свинца, урана;

2 — для прочих металлов и их оксидов (натрия, магния, калия, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута, кремния, бериллия), а также других компонентов твердых аэрозолей, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе 3, 4 - бенз(а)пирена;

1 — для всех прочих выбрасываемых в атмосферу загрязнителей (газов, паров кислот, щелочей и др.).

Значение поправки  $\delta_i$  принимается равным:

2 — для выбрасываемых и испаряющихся в атмосферу легко диссоциирующих кислот и щелочей (фтористого водорода, соляной и серной кислот и др.);

1,5 — для сернистого газа, оксидов азота, сероводорода, сероуглерода, озона, хорошо растворимых неорганических соединений фтора;

1,2 — для органических пылей, содержащих полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие опасные соединения токсичных металлов и их оксидов, реактивной органики (альдегидов и т.п.), аммиака, неорганических соединений кремния, плохо растворимых соединений фтора, оксида углерода, легких углеводородов;

1 — для прочих соединений и примесей (органических пылей, содержащих полициклические ароматические углеводороды, нетоксичных металлов и их оксидов, в том числе натрия, магния, калия, кальция, железа, стронция, молибдена, бария, вольфрама, висмута и др.).

Поправка  $\lambda_i$  принимается равной:

1,2 — для твердых аэрозолей (пылей), выбрасываемых на территориях со среднегодовым количеством осадков менее 400 мм в год;

1 — во всех остальных случаях.

Поправка на образование вторичных загрязнителей  $\beta_i$  принимается равной:

5 — для нетоксичных летучих углеводородов (низкомолекулярных парафинов и др.) при поступлении их в атмосферу южнее 40 градусов северной широты;

2 — для тех же веществ при поступлении их в атмосферу севернее 40 градусов северной широты;

1 — для прочих веществ.

В табл. 2 и 3 приведены значения показателя относительной агрессивности некоторых веществ ( $A_i$ ) и его составляющих ( $a_i, \alpha_i, \delta_i, \gamma_i, \beta_i$ ), характерных для Республики Беларусь.

**Таблица 2**

Значения предельно допустимых среднесуточных концентраций ( $ПДК_{с.с.}$ ) и предельно допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны ( $ПДК_{р.з.}$ ) для некоторых загрязняющих веществ, а также значения показателя относительной агрессивности этих веществ ( $A_i$ ) и его составляющих ( $a_i, \alpha_i, \delta_i, \gamma_i, \beta_i$ ), характерных для Республики Беларусь

| № п/п | Вещество       | $ПДК_{с.с.}, \text{мг/м}^3$ | $ПДК_{р.з.}, \text{мг/м}^3$ | $a$  | $\lambda$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\delta$ | $A_i$<br>усл. т/т |
|-------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------|-----------|----------|---------|----------|-------------------|
| 1     | 2              | 3                           | 4                           | 5    | 6         | 7        | 8       | 9        | 10                |
| 1     | Оксид углерода | 3                           | 20                          | 1    | 1         | 1        | 1       | 1        | 1                 |
| 2     | Аммиак         | 0,2                         | 20                          | 3,87 | 1         | 1        | 1       | 1,2      | 4,64              |

Продолжение табл. 2

|    |  |                   |      |      |   |   |     |     |               |
|----|--|-------------------|------|------|---|---|-----|-----|---------------|
| 1  | 2  | 3                 | 4    | 5    | 6 | 7 | 8   | 9   | 10            |
| 3  | Асбест   | 0,15              | 2    | 14,1 | 1 | 2 | 1   | 1,2 | 33,8          |
| 4  | Ацетальдегид   | 0,01              | 5    | 34,6 | 1 | 1 | 1   | 1,2 | 41,6          |
| 5  | Ацетон   | 0,35              | 200  | 0,93 | 1 | 1 | 2   | 1,2 | 2,22          |
| 6  | Диоксид кремния  | 0,05              | 1    | 34,6 | 1 | 2 | 1   | 1,2 | 83,2          |
| 7  | Диоксид азота  | 0,085             | 5    | 11,9 | 1 | 1 | 1   | 1,5 | 17,9          |
| 8  | Диоксид серы   | 0,05              | 10   | 11,0 | 1 | 1 | 1   | 1,5 | 16,5          |
| 9  | Древесная пыль, цемент   | 0,15              | 6    | 8,16 | 1 | 2 | 1   | 1,2 | 19,6          |
| 10 | Кобальт металлический, его оксиды  | 0,001             | 0,01 | 346  | 1 | 5 | 1   | 1   | 1730          |
| 11 | Летучие низкомолекулярные углеводороды (пары бензинов и жидких топлив) по углероду | 1,5               | 100  | 0,63 | 1 | 1 | 2/5 | 1   | 1,26/<br>3,16 |
| 12 | Марганец и его оксиды  | 0,01              | 0,3  | 141  | 1 | 5 | 1   | 1   | 7,5           |
| 13 | Метилмеркаптан   | $9 \cdot 10^{-6}$ | 0,8  | 2890 | 1 | 1 | 1   | 1   | 2890          |
| 14 | Неорганические соединения ртути  | 0,0003            | 0,01 | 4472 | 1 | 5 | 1   | 1   | 22400         |
| 15 | Неорганические соеди-  | 0,0003            | 0,01 | 4472 | 1 | 5 | 1   | 1   | 22400         |

|    |  |        |      |      |   |   |   |     |                 |
|----|--|--------|------|------|---|---|---|-----|-----------------|
|    | нения свинца   |        |      |      |   |   |   |     |                 |
| 16 | Неорганические соединения 6-валентного хрома CrO <sub>3</sub>        | 0,0015 | 0,01 | 2000 | 1 | 5 | 1 | 1   | 10 <sup>4</sup> |
| 17 | Никель и его оксиды  | 0,007  | 0,5  | 1095 | 1 | 5 | 1 | 1   | 5475            |
| 18 | Оксиды азота (по массе)  | 0,04   | 2    | 27,4 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 41,1            |
| 19 | Оксиды алюминия  | 0,15   | 2    | 14,1 | 1 | 2 | 1 | 1,2 | 16,4            |
| 20 | Оксиды мышьяка   | 0,003  | 0,2  |      | 1 | 5 | 1 | 1   | 1581            |
| 21 | Оксид цинка  | 0,05   | 0,5  | 49   | 1 | 5 | 1 | 1   | 245             |
| 22 | Оксиды натрия, магния, калия, железа, стронция, молибдена, вольфрама | 0,15   | 10   | 6,3  | 1 | 2 | 1 | 1,2 | 13,9            |
| 23 | Пары плавиковой кислоты и другие газообразные соединения F           | 0,005  | 0,05 | 490  | 1 | 1 | 1 | 2   | 980             |
| 24 | Пыль пятиокси ванадия  | 0,2    | 0,5  | 245  | 1 | 5 | 1 | 1   | 1225            |
| 25 | Сажа (пыль углерода) без примесей                                    | 0,05   | 4    | 17,3 | 1 | 2 | 1 | 1,2 | 41,5            |
| 26 | Серная кислота   | 0,1    | 1    | 24,5 | 1 | 1 | 1 | 2   | 49              |
| 27 | Сернистый газ  | 0,05   | 10   | 11   | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 16,5            |

Окончание табл. 2

|    |                   |                  |                      |                     |   |   |   |     |                      |
|----|-------------------|------------------|----------------------|---------------------|---|---|---|-----|----------------------|
| 1  | 2                 | 3                | 4                    | 5                   | 6 | 7 | 8 | 9   | 10                   |
| 28 | Сероводород       | 0,0008           | 10                   | 27,4                | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 41,1                 |
| 29 | Фенол             | 0,01             | 5                    | 141                 | 1 | 1 | 1 | 1,2 | 170                  |
| 30 | Хлор              | 0,03             | 1                    | 44,7                | 1 | 1 | 1 | 2   | 89,4                 |
| 31 | Цианистый водород | 0,01             | 0,3                  | 141                 | 1 | 2 | 1 | 2   | 282                  |
| 32 | 3,4-бен(а)пирен   | 10 <sup>-6</sup> | 1,5·10 <sup>-4</sup> | 6,3·10 <sup>5</sup> | 1 | 1 | 1 | 1   | 12,6·10 <sup>5</sup> |

Таблица 3

Значения величин показателя относительной агрессивности  $A_i$  для некоторых распространенных видов пылей сложного состава

| № п/п | Вид пыли  | $A_i$ усл. т/т |
|-------|---|----------------|
| 1     | 2   | 3              |
| 1     | Пыль гипса, известняка  | 25             |
| 2     | Пыль талька   | 35             |
| 3     | Каменноугольная пыль  | 40             |
| 4     | Пыль цементных производств, в среднем   | 45             |
| 5     | Золы торфов, в среднем  | 60             |
| 6     | Золы углей:<br>березовских, назаровских, ангренинских<br>донецких, подмосковных<br>кузнецких, экибастузских, карагандинских | 60<br>70<br>80 |
| 7     | Пыль слюды  | 70             |
| 8     | Коксовая и агломерационная пыль, в среднем  | 100            |
| 9     | Твердые частицы, выбрасываемые дизелями, топками и иными установками, сжигающими мазут                                      | 200            |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 10 | Твердые частицы, выбрасываемые двигателями внутреннего сгорания, работающими на неэтилированном бензине | 300 |
| 11 | То же на этилированном бензине  | 500 |
| 12 | Пыль никелевого агломерата  | 600 |

Библиотека БГУИР

## 1.2. Расчет экономической эффективности мероприятий по защите атмосферы

Общая экономическая эффективность проведенных на каком-либо предприятии мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения рассчитывается по следующей формуле:

$$E = \frac{\mathcal{E} - Z - C}{K},$$

где  $\mathcal{E}$  – предотвращенный годовой экономический ущерб после проведения атмосферозащитных мероприятий, который определяется как разность между экономическим ущербом ( $Y_1$ ) до проведения мероприятий и экономическим ущербом ( $Y_2$ ) после их проведения, то есть

$$\mathcal{E} = Y_1 - Y_2.$$

Методика расчета годового экономического ущерба в результате загрязнения атмосферы ( $Y_1$ ) изложена в п. 1.1 (формула 3). Расчет годового экономического ущерба после проведения защитных мероприятий осуществляется по той же формуле (п. 1.1) но с учетом изменившейся (уменьшенной) приведенной массы годового выброса загрязнений ( $\mu$ ) после проведения атмосферозащитных мероприятий (формула 10), то есть

$$Y_1 = \gamma \sigma \mu,$$

$$Y_2 = \gamma \sigma \mu_1.$$

$C$  – дополнительные эксплуатационные затраты атмосферозащитного оборудования, р./год;  $K$  – единовременные капитальные вложения, р./год;  $Z$  – приведенные затраты на строительство и внедрение атмосферозащитного оборудования, рассчитываемые по формуле

$$Z = C + E_n K,$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, в целом по народному хозяйству Республики Беларусь принимается равным 0,12.

Сравнение рассчитанного значения общей экономической эффективности проведенных защитных мероприятий  $E$  и нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  позволяет сделать заключение об эффективности



( $E \geq E_n$ ) либо неэффективности ( $E < E_n$ ) внедрения воздухозащитных мероприятий.

### 1.3. Расчет предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Для каждого действующего или проектируемого объекта, являющегося источником загрязнения атмосферы, устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов (*ПДВ*).

Предельно допустимый выброс от рассматриваемого объекта должен быть таким, чтобы в совокупности с другими источниками выбросов не создавалось концентраций вредных веществ в воздухе, превышающих предельно допустимые концентрации (*ПДК*) для населения.

$$C_1 + C_2 + \dots + C_j \leq ПДК . \quad (13)$$

Концентрация конкретного вещества (примеси) в атмосферном воздухе формируется несколькими близлежащими источниками выбросов, а также (по некоторым веществам) в результате трансграничного переноса. Образовавшаяся в конкретной местности концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе называется фоновой концентрацией ( $C_\phi$ ). Она обязательно учитывается при нормировании выбросов загрязняющих веществ из источника. При этом концентрация загрязняющего вещества в контрольной точке, формируемая рассматриваемым источником выброса ( $C_u$ ), должна быть такой, чтобы соблюдалось соотношение

$$C_u + C_\phi \leq ПДК . \quad (14)$$

В этих выражениях используется  $ПДК_{c.c}$  (среднесуточная) для населенных мест или  $ПДК_{м.р}$  (максимально-разовая).

Предельно допустимый выброс устанавливается для каждого источника выброса и каждого загрязняющего вещества. Если по каким-либо объективным причинам нормативы *ПДВ* не могут быть достигнуты в настоящее время, для них ус-

танавливаются значения временно согласованных выбросов, которые должны отвечать современному уровню технологии данного производства.

Норматив *ПДВ* устанавливается в г/с и т/год выбрасываемого вредного вещества. Первое значение норматива используется для контроля за работой пылегазоочистных установок, второе – для расчета платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Основой для обоснования нормативов *ПДВ* является прогноз ожидаемых концентраций вредных веществ в контрольных точках приземного слоя атмосферы, создаваемых источником выброса, с учетом фоновых концентраций. Указанный прогноз осуществляется на основе расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Рассеивание примесей в атмосфере – явление, сопутствующее любому выбросу загрязняющих веществ в атмосферу. В прошлом и во многом сейчас рассеивание выбросов является основным способом снижения атмосферных концентраций загрязняющих веществ. Рассеиванию подлежат также очищенные и обезвреженные газовые выбросы. Примесь, выброшенная в атмосферу из источника, рассеивается и переносится в воздухе постоянно существующими вихрями разных масштабов.

Интенсивность рассеивания в разных погодных условиях различна и определяется главным образом двумя факторами: направлением и силой ветра, температурой воздуха и ее изменением по высоте. Разность температур между слоями воздуха определяется степенью нагретости поверхности земли. Чем сильнее нагрета эта поверхность, тем интенсивнее вертикальное перемещение воздуха. Кроме состояния атмосферы, существенное влияние на рассеивание оказывают параметры источника выбросов и особенности рельефа местности.

Все источники выбросов в атмосферу делятся на организованные (трубы, газоходы, воздухопроводы), поступающие в атмосферу в виде направленных потоков газа, и неорганизованные – в виде ненаправленных потоков газа, вследствие нарушения герметичности оборудования, при загрузке сыпучих и летучих материалов, кучном хранении материалов, при испарении с открытых поверхностей и т.д.

Организованные источники в зависимости от размеров делятся на точечные (труба) и линейные (аэрационный фонарь). Источники могут быть подвижными и

неподвижными. Основными параметрами источников, которые влияют на рассеивание выбросов, являются высота над поверхностью земли, размеры выходного отверстия. Чем больше высота трубы, тем больше территория, на которой рассеиваются выбросы. Труба высотой 100 м позволяет рассеивать вещества в круге радиусом до 20 км, а труба высотой 250 м – в радиусе до 75 км.

Характеристиками выбросов, учитываемыми при рассеивании, являются температура выброса, скорость выхода газовой струи, содержание и физические свойства примеси. С увеличением разности температур между окружающим воздухом и выбрасываемым газовым потоком улучшаются условия рассеивания.

Рельеф местности может оказывать существенное влияние на характер рассеивания и распределения примесей вблизи поверхности земли. В сложных формах рельефа возникает местная циркуляция воздуха, образуются восходящие и нисходящие потоки, возможно образование застойных зон. Для низких источников значительное влияние на рассеивание оказывают высота близко стоящих зданий, их взаимное расположение.

Наихудшие условия рассеивания создаются при так называемых неблагоприятных метеорологических условиях. К ним относятся скорость ветра выше определенного значения (опасная скорость ветра) и застойные явления, связанные с безветрием (штиль), туманом, нарушением характера изменения температуры воздуха по высоте (температурная инверсия). При неблагоприятных метеорологических условиях возникает опасность значительного увеличения приземных концентраций загрязняющих веществ, возникновения смога и т.д.

Многообразие факторов, влияющих на эффективность рассеивания, затрудняет прогнозирование возможных приземных концентраций при выбросе из источников. А такой прогноз особенно необходим для оценки воздействия проектируемого объекта на атмосферный воздух, при решении проблем, связанных с размещением промышленных объектов, установлением границ санитарно-защитной зоны, проектированием систем очистки и др.

Для прогнозирования приземных концентраций вредных веществ, создаваемых источником или группой источников, используются специальные расчетные методы и компьютерные программы, базирующиеся на теоретических моде-

лях рассеивания примесей в атмосфере и экспериментально установленных закономерностях. Они позволяют рассчитать для различных источников выбросов приземные концентрации загрязняющих веществ в любых точках с учетом фона и без него, учесть наличие в выбросах веществ однонаправленного действия и т.д.

### **1.3.1. Методика расчета загрязнения атмосферы в приземном слое**

На основе расчета концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, создаваемых источником выбросов в атмосферу, осуществляется расчет и установление предельно допустимых выбросов веществ, переносимых воздушными потоками от стационарных источников.

Как уже отмечалось, **ПДВ** – научно-технический норматив, устанавливаемый для каждого конкретного источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от него с учетом их рассеивания и превращений не создадут приземных концентраций, превышающих установленные нормативы качества воздуха. Критериями качества воздуха, используемыми при расчетах, являются **ПДК** веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Рассеивание вредных примесей в атмосфере от холодных и нагретых источников происходит по-разному. Мерой нагретости газовой смеси служит разность температур выброса при выходе из устья источника и окружающего воздуха

$$\Delta T = T_z - T_g, \quad (15)$$

где  $T_z$  – температура газовой смеси, °С;  $T_g$  – температура окружающего воздуха, °С.

Отнесение источника к холодному или нагретому производится по принятому значению разности температур  $T_a$ , которое обычно составляет 10-15°С. Температура окружающего воздуха принимается для самого жаркого месяца (для Беларуси – июль), что соответствует неблагоприятным для рассеивания примесей метеорологическим условиям. Коэффициент, учитывающий скорость перемещения температурного фронта, рассчитывается в зависимости от значения  $\Delta T$  по следующим формулам:

$$V_m = 0,65(V_1 \Delta T / H)^{1/3} \text{ при } \Delta T > T_a; \quad (16)$$

$$V'_m = 1,3W_0 D/H \text{ при } \Delta T \leq T_a, \quad (17)$$

где  $V_1$  – объем газовойоздушного выброса источника, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – высота источника выброса, м;  $D$  – диаметр устья источника выброса, м;  $W_0$  – скорость выхода смеси из устья, м/с.

$$W_0 = 4V_1 / (3,14D^2). \quad (18)$$

Ускорение перемещения фронта охлаждения смеси включает параметр  $f$ , м/(с<sup>2,0</sup>С):

$$f = (10^3 W_0^2 D) / (H^2 \Delta T); \quad (19)$$

$$f_e = 800(V'_m)^3. \quad (20)$$

Для выброса холодной и нагретой газовойоздушной смеси безразмерный коэффициент  $d$  определяется по формулам:

$$d = 4,95V'_m (1 + 0,28f^{1/3}) \text{ при } 0,5 < V'_m \leq 2, \Delta T > T_a; \quad (21a)$$

$$d = 2,48(1 + 0,28f^{1/3}) \text{ при } V'_m \leq 0,5; \Delta T > T_a; \quad (21б)$$

$$d = 7\sqrt{V'_m} (1 + 0,28f^{1/3}) \text{ при } V'_m > 2; \Delta T > T_a; \quad (21в)$$

$$d = 11,4V'_m \text{ при } 0,5 < V'_m \leq 2; \Delta T < T_a; \quad (22a)$$

$$d = 16,1\sqrt{V'_m} \text{ при } V'_m > 2; \Delta T < T_a; \quad (22б)$$

$$d = 5,7 \text{ при } V'_m \leq 0,5; \Delta T < T_a. \quad (22в)$$

Величина опасной скорости ветра  $U_m$  на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой имеет место наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, в случае  $f < 100$  вычисляется по соотношениям:

$$U_m = 0,5 \text{ при } V'_m \leq 0,5; \Delta T > T_a; \quad (23)$$

$$U_m = V'_m \text{ при } 0,5 < V'_m \leq 2; \Delta T > T_a; \quad (24)$$

$$U_m = V'_m (1 + 0,12\sqrt{f}) \text{ при } V'_m > 2; \Delta T > T_a. \quad (25)$$

Для  $f \geq 100$  и  $\Delta T < T_a$  значение  $U_m$  вычисляется по формулам:

$$U_m = 2,2V'_m \text{ при } V'_m > 2; \quad (26a)$$

$$U_m = 0,5 \text{ при } V'_m \leq 0,5; \quad (26б)$$

$$U_m = V'_m \quad \text{при} \quad 0,5 < V'_m \leq 2. \quad (26\text{в})$$

Безразмерные коэффициенты  $m$  и  $n$ , учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса, находятся по формулам:

$$m = 1 / (0,67 + 0,1f^{1/2} + 0,34f^{1/3}) \quad \text{при} \quad f < 100; \quad (27)$$

$$m = 1,47f^{1/3} \quad \text{при} \quad f \geq 100. \quad (28)$$

Для  $f_e < f < 100$  значение коэффициента  $m$  вычисляется при  $f = f_e$ .

Коэффициент  $n$  при  $f < 100$  определяется в зависимости от  $V_m$  по формулам:

$$n = 1 \quad \text{при} \quad V_m \geq 2; \quad (29\text{а})$$

$$n = 0,532V_m^2 - 2,13V_m + 3,13 \quad \text{при} \quad 0,5 \leq V_m < 2; \quad (29\text{б})$$

$$n = 4,4V_m \quad \text{при} \quad V_m < 0,5. \quad (29\text{в})$$

Для  $f \geq 100$  при  $\Delta T < T_a$  коэффициент  $n$  вычисляется по формулам (29а – 29в) при  $V_m = V'_m$ .

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ от одиночного источника с круглым устьем для выброса **нагретой** газовой смеси при неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формуле

$$C_m = (AMFmn\eta) / (H^2(V_1\Delta T)^{1/3}), \quad (30)$$

где  $A$  – характеризует климатические и метеорологические условия; для Беларуси  $A=160$ ;  $M$  – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;  $F$  – безразмерный коэффициент; для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей, скорость упорядоченного оседания наиболее крупных фракций которых не превышает 3-5 см/с,  $F=1$ ; для крупнодисперсной пыли и золы при степени очистки более 90%  $F=2$ ; при степени очистки 75-90%  $F=2,5$ ; при степени очистки менее 75%  $F=3$ , если выбросы пыли сопровождаются выделением водяного пара и его конденсацией и коагуляцией пылевых частиц,  $F=3$ ;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, принимается  $\eta=1$ , если в радиусе 50 высот труб  $H$  от источника перепад отметок местности не превышает 50 м на 1 км; в других случаях поправка на рельеф устанавливается на основе анализа картографического материала.

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ  $C_m$  для выброса **холодной** газовой смеси ( $f \geq 100$ ,  $\Delta T < T_a$  и  $V'_m \geq 0,5$ ) из круглого

устья одиночного источника при неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формуле

$$C_m = ((AMFn\eta)/H^{4/3})(D/(8V_1)). \quad (31)$$

Расстояние от источника выброса, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредного вещества:

$$X_m = dH \quad \text{при } F < 2; \quad (32)$$

$$X_m = (5 - F)dH/4 \quad \text{при } F \geq 2. \quad (33)$$

### 1.3.2. Расчет предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу

Как уже отмечалось, основными критериями качества атмосферного воздуха при установлении ПДВ являются предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. При этом требуется выполнение соотношения, приведенного в формуле (14).

Величина ПДВ (г/с) для выбросов *нагретой* газовой смеси из одиночного источника с круглым устьем или группы таких близко расположенных одинаковых источников в случаях, когда фоновая концентрация  $C_\phi$  рассматриваемой примеси установлена не зависящей от направления и скорости ветра и постоянной по всей территории промплощадки, определяется по формуле

$$ПДВ = (ПДК - C_\phi)H^2(V_1\Delta T)^{1/3}/(AFmn\eta). \quad (34)$$

Величина ПДВ для случая выброса *холодной* газовой смеси при прочих условиях, одинаковых с рассмотренными выше, определяется по формуле

$$ПДВ = [(ПДК - C_\phi)H^{4/3}/(AFn\eta)]8V_1/D. \quad (35)$$

Величина ПДВ устанавливается для конкретного источника и вещества. На основании величины ПДВ может быть определена необходимая степень очистки отходящих пылегазовых потоков перед выбросом в атмосферу.

Аналогичным образом можно определить минимальную высоту источника (м), обеспечивающую соблюдение санитарных нормативов качества атмосферного воздуха ( $C_m = ПДК$ ) для выбросов *нагретой* газовой смеси

$$H = [(AFMmn\eta)/(ПДК - C_\phi)]^{1/2}(1/V_1\Delta T)^{1/6}, \quad (36)$$

для выбросов *холодной* газовой смеси

$$H = ((AFMn\eta D/8V_1) / (ПДК - C_{\phi}))^{3/4}. \quad (37)$$

## **1.4. Расчет распространения загрязненности в водных бассейнах сточными водами и экономического ущерба от загрязнения водоемов**

### **1.4.1. Расчет распространения загрязненности в водных бассейнах**

Отличительной чертой второй половины XX и наступившего столетия является небывалый рост водопотребления по самым различным направлениям. Первое место по этому показателю занимает сельскохозяйственное производство, особенно орошаемое земледелие. Так, для выращивания 1 т пшеницы, риса или хлопка необходимо от 1,5 до 10 тыс. т воды.

Чрезвычайно большое количество воды потребляет и современное животноводство. Для производства 1 кг молока затрачивается 4 т, а 1 кг мяса – 25 т воды.

Непрерывный рост потребления воды наблюдается в промышленном производстве. Здесь вода используется как химический реагент в производстве кислорода, водорода, щелочей, азотной кислоты, спиртов и многих других важнейших химических соединений. Основная масса воды в промышленности используется для производства энергии и охлаждения, а также во многих технологических процессах на растворение, очищение и т.п. Так, для выплавки 1 т чугуна и перевода его в сталь и прокат расходуется от 50 до 150 м<sup>3</sup>, а 1 т меди – 500 м<sup>3</sup> воды.

В результате демографического взрыва и урбанизации увеличивается расход воды на коммунально-бытовые нужды, для санитарных и хозяйственно-бытовых нужд.

Интенсификация использования водных ресурсов, рост объема сточных вод ведут к ухудшению качества воды. Более половины сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы, не проходят даже предварительной очистки, нанося значительный ущерб экологическим системам.

Попадая вместе с пищей и питьевой водой в организм человека, многие загрязнители даже в небольших количествах могут оказывать весьма серьезное от-



рицательное воздействие на здоровье. Особенно опасны тяжелые металлы (кадмий, хром, ртуть никель и многие другие), пестициды и радионуклиды. Многие из них оказывают как общетоксичное, так и мутагенное и канцерогенное воздействия. Основными источниками этих супертоксикантов являются предприятия металлургической, целлюлозно-бумажной и нефтеперерабатывающей промышленности. Определенную опасность представляют и супертоксиканты, содержащиеся в промышленных изделиях и пищевых продуктах.

Качество воды в водоемах определяется предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ (табл. 4), устанавливаемых для двух видов водопользования – рыбохозяйственного и санитарно-бытового (в том числе питьевого назначения).

Таблица 4

Предельно допустимая концентрация загрязнителей для санитарно-бытового и рыбохозяйственного назначения

| Вещество              | ПДК <sub>с/б</sub> , мг/л <sup>3</sup> | ПДК <sub>р/х</sub> , мг/л <sup>3</sup> |
|-----------------------|--|--|
| Азот аммонийный       | 10                                     | 0,39                                   |
| Аммиак                | –                                      | 0,05                                   |
| БПК <sub>полн</sub>   | –                                      | 3 мг O <sub>2</sub> /л                 |
| Взвешенные вещества   | –                                      | 0,75                                   |
| Железо                | –                                      | 0,5                                    |
| Кадмий                | 0,01                                   | 0,005                                  |
| Масло                 | 0,003                                  | 0,01                                   |
| Медь                  | –                                      | 0,001                                  |
| Мышьяк                | –                                      | 0,05                                   |
| Нефть и нефтепродукты | –                                      | 0,05                                   |
| Никель                | 0,1                                    | 0,01                                   |
| Ртуть                 | –                                      | 0,0005                                 |
| Свинец                | –                                      | 0,03                                   |
| СПАВ                  | –                                      | 0,1                                    |
| Стирол                | –                                      | 0,1                                    |
| Фенолы                | –                                      | 0,001                                  |
| Формальдегиды         | –                                      | 0,1                                    |
| Фосфор общий          | –                                      | 0,1                                    |
| Хлориды               | 350                                    | 300                                    |

|         |     |       |
|---------|-----|-------|
| Хром    | 0,1 | 0,001 |
| Цианиды | –   | 0,05  |
| Цинк    | –   | 0,01  |

Для водотоков, используемых в рыбохозяйственных целях, расчетный створ водопользования устанавливается на расстоянии не менее 500 м выше по течению от пункта выпуска сточных вод, а водотоков, используемых для питьевых и санитарно-бытовых нужд – не менее 1000 м.

Санитарное состояние водоема (качество воды) определяется сопоставлением фактической или расчетной концентрации одного или группы вредных веществ, имеющих один лимитирующий показатель вредности (ЛПВ), с предельно допустимой концентрацией. Если фактическая концентрация какого-либо  $i$ -го вещества в водоеме  $C_i$  окажется в пределах ПДК $_i$ , то качество воды в этом водоеме считается удовлетворительным, то есть

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1, \quad (38)$$

где  $n$  – количество вредных веществ в водоеме с одинаковыми ЛПВ.

При проектировании устройств для выпуска сточных вод в различные водоемы и при расчете разбавления учитываются условия, которые определяют начальное разбавление ( $n_n$ ), зависящее от конструкторско-технологических характеристик сооружения, и условия, которые определяют основное разбавление ( $n_o$ ), обусловленное характером и особенностями движения водных масс. Таким образом, общее разбавление  $n$  рассчитывается по формуле

$$n = n_n n_o. \quad (39)$$

Наименьшее разбавление  $n$  на расстоянии  $L$  от места выпуска определяется по формуле

$$n = A \left( 0,2 \frac{L}{d} \right)^{PS}, \quad (40)$$

где  $d$  – диаметр выпуска;  $A$  – коэффициент, учитывающий изменение разбавления в зависимости от типа выпуска (сосредоточенного или рассеивающего). При сосредоточенном выпуске  $A = 1$ , а при рассеивающем – рассчитывается по формуле

$$A = 0,74 \left( \frac{L}{L_1} + 2,1 \right)^{-0,4}, \quad (41)$$

где  $L_1$  – расстояние между выпусками.

Показатель  $P$ , зависящий от скорости течения водотока  $V_n$  и скорости течения воды на выпуске  $V_o$ , рассчитывается по формуле

$$P = \frac{V_n}{15 \cdot 10^{-6} V_o + V_n}. \quad (42)$$

Показатель  $S$  рассчитывается из выражения

$$S = 0,875 + \frac{0,325H}{360 + 10^5 \frac{V_n}{V_o}}, \quad (43)$$

где  $H$  – средняя глубина в месте выпуска.

Процессы смешения (разбавления) сточных вод с водами водоема (например, озера, водохранилища) и водотока (например, реки) значительно различаются.

Начальное разбавление  $n_n$  при выпуске стока в мелководной прибрежной зоне водоема рассчитывается по формулам:

$$n_n = \frac{Q_o + 118 \cdot 10^{-4} H^2}{Q_o + 435 \cdot 10^{-5} H^2} \text{ - в верхней трети глубины; } \quad (44)$$

$$n_n = \frac{Q_o + 87 \cdot 10^{-3} H^2}{Q_o + 435 \cdot 10^{-6} H^2} \text{ - в нижней трети глубины, } \quad (45)$$

где  $Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – средняя глубина в прибрежной части, м.

Основное разбавление  $n_o$  рассчитывается по формулам:

для выпуска у берега –

$$n_o = 1 + 0,412 \left( \frac{L}{\Delta x} \right)^{0,627 + 2 \cdot 10^{-4} L / \Delta x}, \quad (46)$$

где  $\Delta x = 6,53H^{1,167}$ ;

для выпуска вдали от берега –

$$n_o = 1 + 0,412 \left( \frac{L}{\Delta x} \right)^{0,41 + 64 \cdot 10^{-4} L / \Delta x}, \quad (47)$$

где  $\Delta x = 4,41H^{1,167}$ .

#### **1.4.2. Расчет экономического ущерба от загрязнения водоемов**

Экономический ущерб, причиняемый народному хозяйству сбросом сточных вод в водоемы, рассчитывается по формуле

$$Y = Y_{yd} \sigma_k M, \quad (48)$$

где  $Y_{yd}$  – удельный ущерб народному хозяйству, обусловленный сбросом в водоем одной условной тонны загрязняющих веществ, р./усл. т, величина которого устанавливается на данный момент времени Министерством финансов совместно с

Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды (например, 800 р./усл. т);  $\sigma_k$  – показатель относительной опасности загрязнения различных водоемов или водохозяйственных участков. Одно и то же количество вредного вещества может приводить к разной величине экономического ущерба на территории различных водохозяйственных участков. Это обуславливается как составом реципиентов, подвергавшихся воздействию, так и особенностями распространения загрязнения по территории водохозяйственного участка. Эти экологические особенности каждого водохозяйственного участка учитываются с помощью показателя  $\sigma_k$  (табл. 5);  $M$  – приведенная масса загрязняющих веществ в годовом объеме сточных вод, которая определяется в условных тоннах по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N A_i m_i, \text{ усл. т.} \quad (49)$$

Здесь  $N$  – общее число примесей, содержащихся в сточных водах;  $A_i$  – относительная агрессивность загрязняющих веществ  $i$ -го вида, значение которой определяется выражением

$$A_i = \frac{1}{ПДК_i}, \text{ усл. т/т,} \quad (50)$$

где  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества в воде, мг/л (табл. 6).

При сбросе в водоемы загрязняющих веществ, влияющих на содержание растворенного в воде кислорода, следует оценивать общую массу кислорода, необходимую для полного химического окисления веществ, содержащихся в сточных водах, сброшенных некоторым источником в водоем. При этом концентрация указанного вида загрязнения выражается величиной полной биохимической потребности в кислороде – БПК<sub>п</sub>.

Таблица 5

Значение показателя относительной опасности загрязнения  $\delta_k$  для различных водохозяйственных участков

| Наименование бассейна рек | Административный состав водохозяйственных участков | Значение $\delta_k$ |
|---------------------------|--|---------------------|
|---------------------------|--|---------------------|

|                 |   |      |
|-----------------|---|------|
| Березина, устье | Витебская область, юго-западная часть   | 0,50 |
|                 | Минская область, западная часть; Гродненская область; Брестская область, северная часть   | 0,58 |
|                 | Могилевская область; Минская область, без западной части; Брестская область, юго-западная часть; Гомельская область, северная часть | 1,75 |

Таблица 6

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в водоемах санитарно-бытового (с/б) и рыбохозяйственного (р/х) назначения

| Наименование загрязнителя | Лимитирующий показатель вредности | ПДК с/б, мг/л | ПДК р/х, мг/л |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 1                         | 2                                 | 3             | 4             |
| Бензол                    | Санитарно-токсический             | 0,5           | —             |

Окончание табл. 6

| 1                                       | 2                 | 3              | 4      |
|---|-------------------|----------------|--------|
| ДДТ                                     | Общесанитарный    | 0,1            | —      |
| Кадмий                                  |                   | 0,001          | 0,005  |
| Мышьяк                                  |                   | 0,05           | 0,05   |
| Никель                                  |                   | 0,1            | 0,03   |
| Нитриты (NO <sub>2</sub> )              |                   | 3,3            | —      |
| Ртуть                                   |                   | 0,0006         | 0,0001 |
| Свинец                                  |                   | 0,1            | 0,1    |
| Формальдегид                            |                   | 0,05           | 0,01   |
| Нитрохлор-бензол                        |                   | 0,05           | —      |
| Натрий                                  |                   | 200            | —      |
| Кобальт                                 |                   | 0,1            | —      |
| Нитраты (NO <sub>3</sub> )              |                   | 45             | —      |
| Бром                                    |                   | 0,2            | —      |
| Аммоний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) |                   | 2,6            | —      |
| Аммиак                                  |                   | Общесанитарный | 2,0    |
| Сульфиды                                | —                 |                | —      |
| Цинк                                    | 5,0               |                | —      |
| Железо                                  | Органолептический | 0,3            | —      |
| Бензин                                  |                   | 0,1            | —      |
| Медь                                    |                   | 1,0            | —      |

|                                |                   |         |       |
|--------------------------------|-------------------|---------|-------|
| Нефть многосернистая (прочная) |                   | 0,1/0,3 |       |
| Сероуглерод                    |                   | 1,0     |       |
| Стирол                         |                   | 0,1     |       |
| Фенол                          |                   | 0,001   |       |
| Хром (Cr <sup>3+</sup> )       |                   | 0,5     |       |
| Хром (Cr <sup>6+</sup> )       |                   | 0,1     | 0,001 |
| Титан                          |                   | 0,1     |       |
| ПАВ                            |                   | 0,5     |       |
| Аммиак                         | Токсикологический | –       | 0,05  |
| Медь                           |                   | –       | 0,001 |
| Сероуглерод                    |                   | –       | 1,0   |
| Цинк                           |                   | –       | 0,01  |
| Алюминий                       |                   | –       | 0,5   |
| Фтор                           |                   | –       | 1,5   |
| Нефть и нефтепродукты          | Рыбохозяйственный | –       | 0,05  |
| Фенол                          |                   | –       | 0,001 |
| ПАВ                            |                   | –       | 0,1   |
| Железо                         |                   | –       | 0,5   |
| Цианиды                        |                   | –       | 0,05  |

#### 1.4.3. Расчет экономического ущерба от загрязнения водоемов по удельным укрупненным показателям

Годовой экономический ущерб от сброса нескольких загрязняющих примесей ( $Y$ ) определяется как сумма ущербов по каждой примеси:

$$Y = \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (51)$$

где  $Y_i$  – возможный экономический ущерб от  $i$ -й примеси, определяемый по формуле

$$Y_i = Y_{уд.i} M_i. \quad (52)$$

Здесь  $Y_{уд.i}$  – удельный ущерб от отдельных загрязняющих веществ (табл. 7);  $M_i$  – общая масса годового сброса  $i$ -й примеси, которая определяется из выражения

$$M_i = a_i Q \cdot 10^{-6}, \quad (53)$$

где  $a_i$  – концентрация  $i$ -й примеси, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – объем годового сброса сточных вод, м<sup>3</sup>/год.

Удельный ущерб от некоторых загрязняющих веществ

| Вещество              | $Y_{уд.и}$ , р./т |
|-----------------------|-------------------|
| БПК <sub>CO</sub>     | 820               |
| Взвешенные вещества   | 205               |
| Нефть и нефтепродукты | 17 120            |
| СПАВ                  | 3 400             |

#### 1.4.4. Расчет экономической эффективности водоохранных мероприятий

Экономическая эффективность водоохранных мероприятий  $E$  может быть определена по формуле

$$E = \frac{(\mathcal{E} - C)}{K}, \quad (54)$$

где  $C$  – годовые эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание водоохранных объектов, р./год;  $K$  – капитальные вложения, р.;  $\mathcal{E}$  – предотвращенный годовой экономический ущерб, который определяется как разность годового экономического ущерба  $Y_1$ , рассчитанного до проведения водоохранных мероприятий, и  $Y_2$  после их проведения, то есть

$$\mathcal{E} = Y_1 - Y_2. \quad (55)$$

Приведенные затраты на строительство или модернизацию водоохранных сооружений (3) могут быть вычислены по формуле

$$Z = C + E_n K, \quad (56)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в целом по народному хозяйству РБ. Он составляет 0,12.

Если при расчетах  $E$  окажется больше  $E_n$ , то проведение намеченных водоохранных мероприятий эффективно.



#### **1.4.5. Расчет предельно допустимых сбросов и необходимой степени очистки сточных вод**

Для каждого действующего или проектируемого объекта, являющегося источником загрязнения гидросферы, устанавливаются предельно допустимые сбросы (ПДС).

Предельно допустимый сброс от рассматриваемого объекта должен быть таким, чтобы в совокупности с другими источниками сбросов не создавать концентраций вредных веществ в воде водоема, превышающих соответствующие ПДК.

Предельно допустимый сброс устанавливается для объектов, имеющих или проектирующих самостоятельные выпуски сточных вод в водные объекты. Норматив ПДС рассчитывается как для интегральных показателей загрязненности воды (взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода (БПК) и др.), так и для индивидуальных соединений в г/ч и т/год. Если по каким-либо объективным причинам нормативы ПДС не могут быть достигнуты в настоящее время, для них устанавливаются значения временно согласованных сбросов, которые должны отвечать современному уровню технологии данного производства.

Основой для расчета ПДС является расчет кратности разбавления сточных вод в водоеме. При этом также учитываются гидрологические параметры водоема (расход или объем воды в водном объекте, скорость течения, глубина, извилистость, шероховатость дна и др.), состав и физические характеристики воды водоема выше выпуска сточных вод (фоновые значения). Немаловажное значение имеют расположение выпуска сточных вод, соотношение расходов сточных вод и воды водоема, способность водоема к самоочищению, наличие других объектов, использующих водоем в качестве приемника сточных вод.

Согласно экологическому законодательству в водные объекты запрещено сбрасывать сточные воды, которые могут быть использованы в системах оборотного или повторного водоснабжения, а также в бессточных производствах; воды, содержащие ценные отходы, производственное сырье, реагенты, полуфабрикаты и конечные продукты производства в количествах, превышающих нормативы технологических потерь; сточные воды, содержащие вещества, для которых не

установлены ПДК, и сбросные воды, пригодные для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований.

Условия спуска сточных вод в водные объекты определяют с учетом степени возможного смешения и разбавления сточных вод водой водного объекта на пути от места выпуска сточных вод до расчетного (контрольного) створа ближайших пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования или водопотребления.

Учет процессов естественного самоочищения водных объектов от поступающих в них веществ допускается, если процесс самоочищения достаточно резко выражен и его закономерности достаточно изучены.

Место выпуска сточных вод должно быть расположено ниже по течению реки от границы данного населенного пункта и всех мест его водопользования (водопотребления) с учетом возможного обратного течения при нагонных ветрах. В системе, отводящей сточные воды в водный объект, должны быть предусмотрены приспособления для отбора проб учета количества поступающих сточных вод (рис. 1).

Качество воды водоемов определяется сезонными колебаниями состава воды и характером ее хозяйственного использования: хозяйственно-питьевого, культурно-бытового, рыбохозяйственного (для воспроизводства и сохранения ценных сортов рыб и других рыбохозяйственных целей).

Санитарное нормирование качества воды водоемов базируется на ПДК отдельных вредных веществ, поступающих в водоем со сточными водами. В их составе (после соответствующей очистки) при спуске в водоемы могут содержаться десятки различных вредных веществ, совместное присутствие которых может взаимно усилить вредное воздействие.

При определении условий спуска сточных вод в водные объекты должно учитываться качество воды водных объектов выше места сброса сточных вод (фоновая концентрация). Фоновая концентрация определяется применительно к расчетным условиям водности. Для незарегулированных рек данные качественной характеристики воды в расчетном (контрольном) створе должны быть пере-

считаны на минимальный среднемесячный расход воды года 95% обеспеченности  $Q_{95\%}$  по формуле

$$C_{\phi, \text{расч}} = C_{\phi} Q / Q_{95\%}, \quad (57)$$

где  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация контролируемых веществ, определенная фактическими замерами при измеренном расходе  $Q$ .

Взаимосвязь между санитарными требованиями к условиям спуска сточных вод в водоемы (соответствие состава и свойств воды водоема, используемого для водопользования, установленным нормативам) и необходимой степенью очистки сточных вод перед спуском их в водоем в общем виде выражается формулой

$$C_{c.в} Q_{c.в} + C_{\phi} Q_p \leq (aQ_p + Q_{c.в}) C_{n.д}, \quad (58)$$

где  $C_{c.в}, C_{\phi}$  – концентрации вещества в сточных водах и речной воде (фоновая) соответственно, мг/л;  $a$  – коэффициент смешения;  $Q_p, Q_{c.в}$  – расходы воды в реке и сточных вод соответственно, м<sup>3</sup>/с;  $C_{n.д}$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водоема, мг/л (контролируется в расчетном створе).

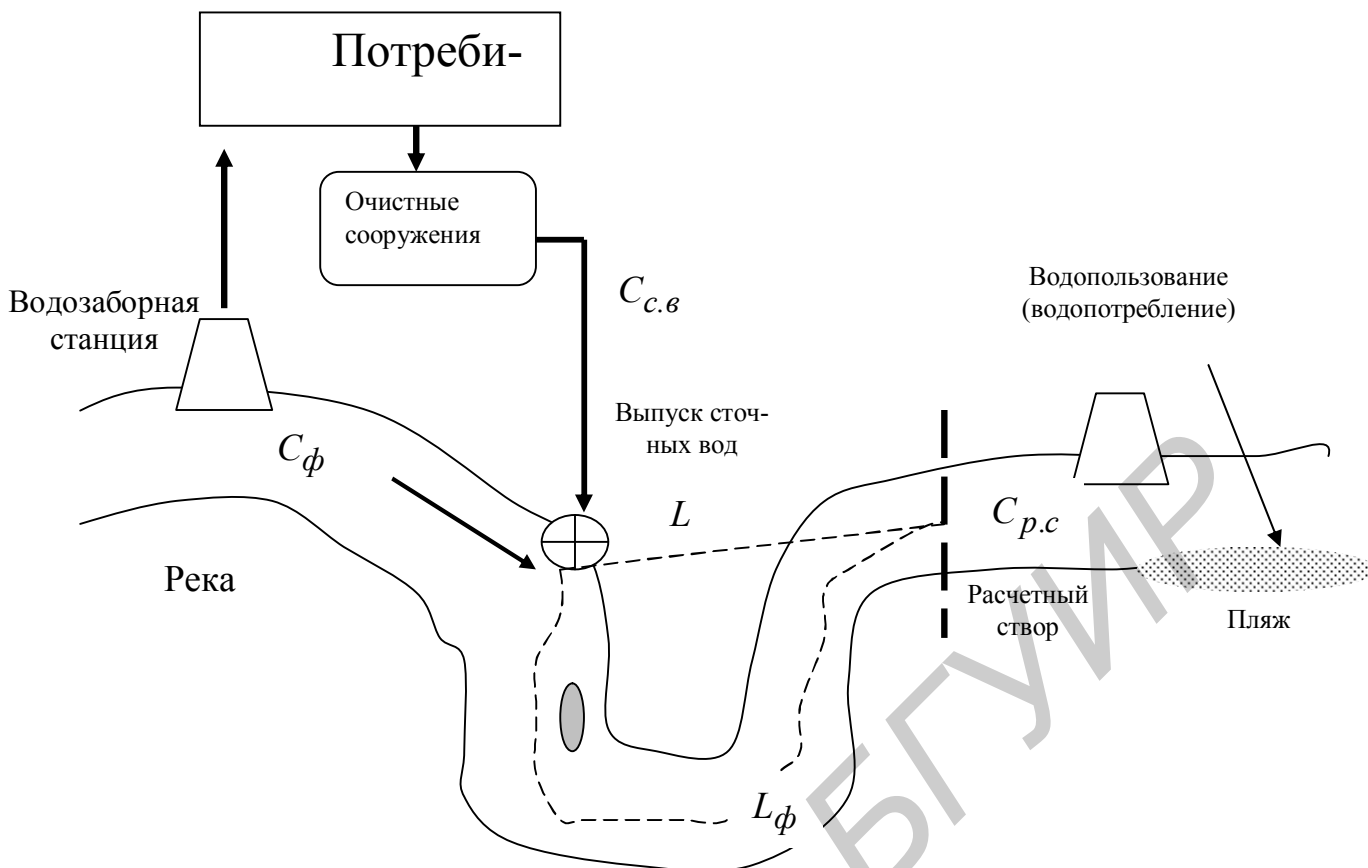


Рис 1. Схема возможного положения мест выпуска сточных вод

Отсюда максимальная концентрация загрязняющего вещества в сбрасываемых в реку сточных водах не должна превышать

$$C_{с.в} \leq (a Q_p / Q_{с.в}) (C_{н.д} - C_\phi) + C_{н.д}. \quad (59)$$

Коэффициент смешения зависит от многих факторов: конструкции выпуска сточных вод, расстояния до расчетного створа, гидравлических и гидрологических характеристик водоема.

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + Q_p / Q_{с.в} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}, \quad (60)$$

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{\psi D / Q_{с.в}}, \quad (61)$$

$$\varphi = \frac{L_\phi}{L}, \quad (62)$$

$$\psi = \frac{V_{с.в}}{V_p}, \quad (63)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий гидравлические факторы реки;  $L$  – расстояние от водовыпуска до расчетного створа;  $L_{\phi}$  – то же по фарватеру;  $\phi$  – коэффициент извилистости реки;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий положение места выпуска сточных вод (у берега – 1,0; середина реки – 1,5);  $V_{c.в.}, V_p$  – скорости потоков воды на выпуске и в реке, соответственно.

Коэффициент турбулентной диффузии для равнинных рек может быть определен по формуле Потапова:

$$D = (V_p H_{cp}) / 200, \quad (64)$$

где  $H_{cp}$  – средняя глубина реки.

Кратность разбавления перед расчетным створом  $n$  и концентрация вещества в расчетном створе  $C_{p.c}$  рассчитываются по формулам

$$n = (aQ_p + Q_{c.в.}) / Q_{c.в.}, \quad (65)$$

$$C_{p.c} = (C_{c.в.} - C_{\phi}) / n + C_{\phi}. \quad (66)$$

Все вещества относятся к различным группам по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ), под которым понимается наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. В водоемах питьевого и культурно-бытового назначения все вещества делятся на три группы по ЛПВ: санитарно-токсикологические, общесанитарные и органолептические.

При расчете требуемой степени очистки по веществам, относящимся к одной группе ЛПВ, требуется, используя рассчитанные по формуле (66) значения  $C_{p.c}$  для каждого вещества группы, проверить условие

$$C_{p.c1} / ПДК_1 + C_{p.c2} / ПДК_2 + \dots + C_{p.ci} / ПДК_i \leq 1. \quad (67)$$

Если приведенное условие выполняется, то очистка сточных вод от веществ, входящих в рассматриваемую группу ЛПВ, не требуется. В противном случае из группы рассматриваемых веществ выбирают вещество с наибольшим отношением  $C_{cp} / ПДК$  и для него определяют допустимую концентрацию  $C_{n.д}$  в расчетном створе, при которой соблюдается вышеприведенное условие, по формуле

$$C_{n.д} = ПДК_i [1 - (C_{p.c1} / ПДК_1 + C_{p.c2} / ПДК_2 + C_{p.ci-1} / ПДК_{i-1})]. \quad (68)$$

Далее, подставив в формулу (59) полученное значение  $C_{n,d}$ , рассчитывают  $C_{c.г}$ , которое будет соответствовать допустимой концентрации вещества в сточных водах, сбрасываемых в водный объект, и определяют требуемую эффективность очистки для веществ рассматриваемой группы ЛПВ по формуле

$$\mathcal{E} = (C_n - C_{c.г}) / C_n, \quad (69)$$

где  $C_n$  – концентрация вещества в производственных сточных водах при их подаче на очистные сооружения, мг/л.

Расчет ПДС производится по наибольшим среднечасовым расходам фактического периода спуска сточных вод:

$$ПДС = C_{c.г} Q_{c.в}. \quad (70)$$

## **1.5. Расчет экономического ущерба, наносимого реципиентам, в результате загрязнения почв твердыми веществами**

Земля является важнейшим средством для производства различной продукции во многих отраслях народного хозяйства, и в первую очередь в сельском и лесном хозяйствах. В результате отвода земель под городскую застройку промышленные предприятия, транспортные магистрали и т.п. теряются значительные площади пахотных земель. Кроме того, в результате эксплуатации земель и производственной деятельности различных отраслей происходит их загрязнение, то есть внесение химических загрязнителей в количествах и концентрациях, превышающих способность почвенных систем к их разложению, утилизации и включению в общий круговорот веществ, что обуславливает изменение их физико-химических, агротехнических и биологических свойств, снижающих плодородие земель и ухудшающих качество производимой продукции. Загрязнение почв происходит при открытых разработках полезных ископаемых, вследствие покрытия их поверхности выбросами и отвалами пустой породы, отходами и отбросами промышленности, вследствие сельскохозяйственной деятельности и работы коммунально-бытовых предприятий.

Большую опасность для здоровья людей представляет загрязнение земель тяжелыми металлами (железом, марганцем, цинком, медью, молибденом и др.), пестицидами и радиоактивными веществами.

Таким образом, загрязнение почв наносит обществу значительный материальный и социальный ущерб.

В соответствии с укрупненной методикой расчет (оценка) экономического ущерба ( $U$ ) от загрязнения и отчуждения земельных ресурсов производится по следующей формуле:

$$U = quyM, \quad (71)$$

где  $q$  – показатель, характеризующий относительную ценность земельных ресурсов (для суглинистых почв он принимается равным 0,5; лесостепи – 0,7; черноземных почв – 1; для орошаемых сельскохозяйственных угодий – 2);  $y$  – удельный ущерб от выброса загрязнителя в почву (определяется Министерством финансов совместно с другими министерствами и ведомствами. Например, 120 р. на 1 т неорганических отходов, включая отходы заводов минеральных удобрений; 180 р. на 1 т органических отходов и отходов бытовых свалок);  $M$  – масса годового выброса загрязняющих отходов в почву, т/год.

Количество твердых коммунально-бытовых отходов для некоторых территорий Республики Беларусь за 2003 г. представлено в табл. 8.

Таблица 8

Количественные данные о твердых коммунально-бытовых отходах некоторых территорий РБ (2003 г.)

| Наименование территории<br>(области, города) | Количество твердых отходов,<br>тыс. т/год |
|--|---|
| 1  | 2   |
| Брестская область                            | 28  |
| Витебская область                            | 84  |
| Гомельская область                           | 110                                       |
| Гродненская область                          | 84  |
| Минск  | 400                                       |
| Минская область                              | 74  |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Могилевская область            | 96 |
| Бобруйск (средняя за пять лет) | 17 |
| Брест (средняя)                | 7  |
| Витебск (средняя)              | 20 |
| Гомель (средняя)               | 26 |
| Новополоцк (средняя)           | 13 |
| Могилев (средняя)              | 27 |
| Мозырь (средняя)               | 6  |
| Орша (средняя)                 | 17 |
| Пинск (средняя)                | 8  |
| Полоцк (средняя)               | 20 |

Ущерб, нанесенный реципиентам (экологическим системам, населению, коммунальному хозяйству, промышленности, сельскому и лесному хозяйству и т.п.), должен возмещаться в полной мере.

#### **1.6. Расчет экономического ущерба, связанного с**



Травмой (греч. *trauma* – повреждение, ранение) называют нарушение анатомической целостности или физиологических функций тканей или органов человека, вызванное внезапным воздействием. На производстве травма (несчастный случай) обычно бывает следствием внезапного воздействия на работника какого-либо опасного производственного фактора при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

В соответствии с видом воздействия травмы подразделяют на механические (ушибы, переломы, раны и др.), тепловые (ожоги, обморожения, тепловые удары), химические (химические ожоги, острое отравление, удушье), электрические, комбинированные.

Существуют несколько показателей, характеризующих состояние травматизма на промышленных предприятиях.

*Частота травматизма* характеризуется *коэффициентом частоты* ( $K_q$ ), который определяется числом несчастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный период времени (год).

$$K_q = H \cdot 1000 / P, \quad (72)$$

где  $H$  – число учтенных несчастных случаев, приведших к потере трудоспособности на один рабочий день и более;  $P$  – среднесписочное число работающих на предприятии за отчетный период.

Коэффициент частоты не характеризует тяжести травматизма. Поэтому вводится еще один показатель – коэффициент тяжести травматизма ( $K_m$ ), который характеризует среднюю потерю трудоспособности в днях на одного пострадавшего за отчетный период:

$$K_m = D/H, \quad (73)$$

где  $D$  – общее число рабочих дней, потерянных в результате травм за отчетный период;  $H$  – число несчастных случаев, вызвавших потерю работоспособности более чем на один день.

Несчастные случаи, окончившиеся смертью или инвалидностью, при определении коэффициентов не учитываются. Эти случаи фиксируются отдельно.

Для расчета экономического ущерба можно использовать и дополнительный показатель – коэффициент потерь рабочего времени ( $K_n$ ), влияющий на производительность труда в производственном подразделении.

$$K_n = D \cdot 1000 / P, \quad (74)$$

где  $D$  – общее число рабочих дней, потерянных по поводу травм;  $P$  – среднесписочное число работающих за отчетный год.

Полная сумма потерь ( $\Pi_m$ ), связанных с последствиями всех травм, состоит из следующих слагаемых:

$$\Pi_m = C_a + C_k + C_n + C_o + C_p + C_o + \dots + C_n, \quad (75)$$

где  $C_a$  – стоимость амбулаторного лечения, млн р.;  $C_k$  – стоимость клинического лечения, р.;  $C_n$  – убытки в виде недополучения государством суммы налогов с не-

облагаемой части дохода (выплат по больничному листу), р.;  $C_6$  – сумма выплат по больничному листу, р.;  $C_p$  – стоимость расследования несчастного случая, р.;  $C_o$  – стоимость испорченного оборудования или затраты на его ремонт, связанные с несчастным случаем, р.;  $C_n$  – стоимость валовой продукции, недополученной вследствие травмы, р.

Из всех слагаемых, входящих в формулу (75), наибольшей величиной является  $C_n$ . Ее вычисляют по формуле

$$C_n = C_1 D_m, \quad (76)$$

где  $C_1$  – стоимость всех видов продукции, произведенной на предприятии на одного работающего за один рабочий день (смену), р.;  $D_m$  – число дней нетрудоспособности вследствие травмы.

Стоимость всех видов продукции  $C_1$  (рублей в день), произведенной на предприятии на одного работающего за один рабочий день (смену), определяют по формуле

$$C_1 = C_{n.z} / P D_p, \quad (77)$$

где  $C_{n.z}$  – стоимость всей продукции, произведенной на предприятии за год, р.;  $P$  – среднесписочное число работавших в течение года;  $D_p$  – число рабочих дней (смен) в году.

Экономический ущерб, наносимый травматизмом, можно определить с учетом других показателей по формуле

$$\mathcal{E} = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 + \Pi_6 + \Pi_7 + \Pi_8 + \Pi_9, \quad (78)$$

где  $\mathcal{E}$  – потери предприятия, р.;  $P_1$  – потери, связанные с простоем рабочих и оборудования, вызванным травматизмом, р.;  $P_2$  – заработная плата пострадавшему за недоработанную часть смены, р.;  $P_3$  – затраты, связанные с доставкой пострадавшего в медицинское учреждение, р.;  $P_4$  – выплата пособия по временной нетрудоспособности, р.;  $P_5$  – доплата к пенсии до уровня средней заработной платы при потере трудоспособности в результате несчастного случая, р.;  $P_6$  – доплаты рабочим при частичной утрате трудоспособности, р.;  $P_7$  – единовременная помощь семье пострадавшего от несчастного случая с тяжелым исходом, р.;  $P_8$  – упущенная экономическая выгода, р.;  $P_9$  – суммы, взыскиваемые по регрессивным искам с предприятия в случае травматизма, связанного с грубейшими нарушениями правил техники безопасности.

## 1.7. Расчет экономического ущерба в связи с заболеваемостью

Потери рабочего времени на предприятии, невыходы на работу наблюдаются в связи с отгулами, прогулами, отпусками, болезнями. Особого внимания заслуживают потери рабочего времени в связи с болезнями. Ухудшение условий труда, которое наблюдается на ряде предприятий из-за изношенности оборудования, интенсивного загрязнения производственной среды, ведет к значительному сокращению рабочего времени за счет роста общей, производственно обусловленной и профессиональной заболеваемости. Профессиональным называется такое заболевание, которое развивается в результате воздействия на работающего специфических для данного работника производственных факторов при длитель-

ном периоде работы в условиях его воздействия. Факторами риска профессиональных заболеваний являются шум, вибрация, запыленность рабочих мест, нервно-эмоциональные перегрузки, перегрузки отдельных групп мышц, высокая монотонность труда и др.

К производственно обусловленным заболеваниям относятся большинство обычных болезней любой группы (простудные, сердечно-сосудистые, желудочно-кишечного тракта, болезни печени и почек и др.), которые отягощаются неблагоприятными условиями труда.

Показатели состояния здоровья населения Республики Беларусь в последние годы оказались значительно хуже по сравнению с экономически развитыми странами с высоким валовым национальным продуктом на душу населения. Важным показателем здоровья населения является уровень его долголетия, который отражает результат взаимодействия природных, биологических и социально-экономических факторов.

Результаты собственных научных исследований показывают, что в настоящее время большинство людей (от 50 до 80%) живут и трудятся при состоянии организма на границе нормы и патологии. Это угрожающее здоровью предболезненное состояние быстро проявляется при воздействии неблагоприятных факторов среды.

На здоровье населения оказывает влияние весь комплекс социальных, экологических, техногенных и иных факторов, определяющих среду обитания человека. В ряду этих факторов существенное место занимают неблагоприятные условия труда, загрязнение окружающей природной среды, высокая степень накопле-

ния в ней вредных веществ, условия питания, труда и отдыха населения, распространенность вредных привычек.

Анализ всей совокупности факторов окружающей среды показывает, что ряд заболеваний тесно связан с действием специфических причин. Так, болезни органов дыхания на 45% обусловлены высоким содержанием пыли в воздухе, высокой плотностью населения, загрязнением атмосферного воздуха выбросами предприятий. На распространенность гипертонической болезни в наибольшей степени влияют уровень шума и загрязнения среды выбросами химической промышленности; бронхиальная астма вызывается высокой плотностью населения и загрязнением атмосферы выбросами металлургических предприятий, ревматизм – загрязнением атмосферного воздуха выбросами предприятий химической и металлургической промышленности и т.д.

Заболеваемость с временной утратой трудоспособности, как подтверждают расчеты многих исследователей, наносит государству колоссальный ущерб. Учеными было подсчитано, что при снижении заболеваемости на 10% получается огромная экономия для народного хозяйства.

Изученные данные за предыдущие годы дает возможность утверждать, что снижение заболеваемости, улучшение здоровья трудоспособного населения позволяет окупить расходы, связанные с затратами по улучшению условий труда, содержанию лечебно-профилактических учреждений, санаториев, домов отдыха, туристических баз и т.д.

При анализе заболеваемости можно использовать следующие показатели:

1. Случаи заболеваемости ( $З_c$ ) на 100 рабочих рассчитываются по формуле

$$З_c = \frac{C_z \cdot 100}{P}, \quad (80)$$

где  $C_z$  – число заболеваний, зарегистрированных по предприятию, цеху, участку;

$P$  – среднесписочная численность работающих за отчетный период.

2. Дни заболеваемости ( $З_д$ ) на 100 работающих рассчитываются по формуле

$$З_д = \frac{D_n \cdot 100}{P}, \quad (81)$$

где  $D_n$  – количество утерянных дней по поводу заболеваемости за конкретный период времени.

3. Показатель средней длительности одного случая заболеваемости ( $П_{д.з}$ ) рассчитывается по формуле

$$П_{д.з} = \frac{З_д}{З_c}. \quad (82)$$

Стоимость валовой продукции  $C_n$ , недополученной вследствие заболеваний, связанных с условиями труда, вычисляют по формуле

$$C_n = C_{н.г} D_з / P D_p, \quad (83)$$

где  $C_{н.г}$  – стоимость всей продукции, произведенной на предприятии за год;  $D_з$  – общее число дней нетрудоспособности вследствие заболеваний, связанных с условиями труда;  $D_p$  – число рабочих дней в году.

Общая стоимость продукции (р.), недополученной вследствие травм и заболеваний  $C_{т.з}$ , связанных с условиями труда определяется:

$$C_{m.з} = C_{n.з} (D_m + D_з) / P D_p. \quad (84)$$

Суммарные потери  $P_c$ , связанные с травматизмом  $P_m$  и заболеваемостью  $P_з$ , можно определить по следующей приближенной формуле:

$$P_c = P_m + P_з, \quad (85)$$

где  $P_c$  – суммарные потери из-за травм и заболеваний, р.;  $P_m$  – сумма потерь, связанных с травмами, р.;  $P_з$  – сумма потерь, связанных с заболеваниями вследствие плохих условий труда, р.

## **1.8. Оценка экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда, направленных на снижение травматизма**

Внедрение мероприятий по улучшению охраны труда и снижению травматизма приводит к росту среднегодовой выработки одного работающего, экономии средств на социальное страхование, сокращение трудовых потерь.

Оценка эффективности мероприятий проводится не ранее чем через год после их внедрения. После работы не менее одного года в новых условиях с улучшенными условиями труда, с повышенной его безопасностью подсчитывают экономическую эффективность данных мероприятий.

Общую экономию  $\mathcal{E}_o$  (р.) определяют по формуле

$$\mathcal{E}_o = P_{m.з1} - P_{m.з2}, \quad (86)$$



где  $\Pi_{m.31}$  – потери из-за травм в базисном году, р.;  $\Pi_{m.32}$  – потери из-за травм после проведения мероприятий по охране труда, р.

При менее точных расчетах можно использовать формулу

$$\Xi_o = (C_{c.2} + C_{m.3.c})(D_{б.2} - D_2), \quad (87)$$

где  $C_{c.2}$  – среднегодовое производство продукции на одного работающего в день;  
 $C_{m.3.c}$  – стоимость среднегодовой оплаты больничного листа в день по травмам, являющимся следствием плохих условий труда, р.;  $D_{б.2}$  – трудопотери в базисном году, дней;  $D_2$  – трудопотери после внедрения мероприятий по охране труда, дней.

Анализ влияния условий труда на экономические показатели предприятия указывает на то, что затраты на мероприятия по охране труда ощутимо способствуют увеличению производства продукции. Количественно эти затраты можно оценить показателем расходов на мероприятия по охране труда:

$$\Pi_{o.m} = (C_{н.м} + C_{доп}) / \Phi_o, \quad (88)$$

где  $\Pi_{o.m}$  – показатель затрат на мероприятия по охране труда;  $C_{н.м}$  – затраты на номенклатурные мероприятия по охране труда;  $C_{доп}$  – дополнительные затраты на приобретение спецодежды, спецобуви, индивидуальных средств защиты, молока и т.д., р.;  $\Phi_o$  – основные производственные фонды, р.

## 2. Задания для самостоятельной работы

**Задание 1** (2 часа). Определите ожидаемую концентрацию вредных веществ в приземном слое воздуха жилого района, обоснуйте необходимость проведения мероприятий по защите воздушной среды и при необходимости рассчитайте предельно допустимый выброс загрязняющих веществ в газовой смеси, а также требуемую эффективность очистных сооружений для обеспечения безвредности атмосферы в жилой зоне. Исходные условия приведены в табл. 9.

Таблица 9

| Параметр   | Варианты                               |                                       |                                  |   |
|--|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|
|  | 1                                      | 2                                     | 3                                | 4   |
| Высота трубы, м  | 80                                     | 40                                    | 50                               | 45  |
| Диаметр трубы, м   | 1,4                                    | 1,5                                   | 1,2                              | 1,3   |
| Высота здания, м   | 20                                     | 12                                    | 14                               | 10  |
| Расстояние от оси трубы до заветренной стороны здания, м                     | 10                                     | 5                                     | 12                               | 9   |
| Ширина здания, м   | 40                                     | 32                                    | 18                               | 16  |
| Температура выбрасываемой газовой смеси, °С                                  | 100                                    | 120                                   | 125                              | 80  |
| Скорость газовой смеси в устье трубы, м/с                                    | 8                                      | 10                                    | 14                               | 12  |
| Расстояние от источника до жилой зоны, м                                     | 1680                                   | 2000                                  | 800                              | 1500  |
| Температура воздуха, °С  | 20                                     | 20                                    | 20                               | 20  |
| Коэффициент стратификации атмосферы  | 120                                    | 120                                   | 120                              | 120   |
| Состав выбрасываемой смеси и концентрация вредных веществ, мг/м <sup>3</sup> | Формальдегид<br>4,0<br>Ксилол<br>1,2   | Акролеин<br>0,6<br>Дихролэтан<br>1,0  | Толуол<br>9,0<br>Фенол<br>0,6    | Бензин<br>0,7<br>Хромовый ангидрид<br>0,04  |
| Фоновая концентрация вредных химических веществ, мг/м <sup>3</sup>           | Формальдегид<br>0,01<br>Ксилол<br>0,05 | Акролеин<br>0,02<br>Дихролэтан<br>0,5 | Толуол<br>0,15<br>Фенол<br>0,005 | Бензин<br>1,5<br>Хромовый ангидрид<br>0,001 |

| Параметр   | Варианты                             |   |  |                                       |
|--|--------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
|  | 5                                    | 6   | 7  | 8                                     |
| Высота трубы, м  | 58                                   | 55  | 40   | 30                                    |
| Диаметр трубы, м   | 0,9                                  | 1,1   | 1,5  | 1,0                                   |
| Высота здания, м   | 15                                   | 12  | 12   | 12                                    |
| Расстояние от оси трубы до заветренной стороны здания, м                     | 24                                   | 10  | 6  | 6                                     |
| Ширина здания, м   | 30                                   | 20  | 25   | 25                                    |
| Температура выбрасываемой газовой смеси, °С                                  | 90                                   | 95  | 170  | 180                                   |
| Скорость газовой смеси в устье трубы, м/с                                    | 10                                   | 12  | 12   | 18                                    |
| Расстояние от источника жилой зоны, м  | 800                                  | 1300  | 800  | 800                                   |
| Температура воздуха, °С  | 20                                   | 20  | 20   | 20                                    |
| Коэффициент стратификации атмосферы  | 120                                  | 120   | 120  | 120                                   |
| Состав выбрасываемой смеси и концентрация вредных веществ, мг/м <sup>3</sup> | Оксид азота<br>5,0<br>Ацетон<br>2,0  | Сероводород<br>0,8<br>Соляная кислота<br>14,0   | Оксид углерода<br>6,0<br>Двуокись азота<br>1,0   | Формальдегид<br>6,0<br>Ацетон<br>2,0  |
| Фоновая концентрация вредных химических веществ, мг/м <sup>3</sup>           | Оксид азота<br>0,02<br>Ацетон<br>0,1 | Сероводород<br>0,001<br>Соляная кислота<br>0,05 | Оксид углерода<br>0,02<br>Двуокись азота<br>0,02 | Формальдегид<br>0,01<br>Ацетон<br>0,1 |

**Задание 2** (2 часа). Рассчитайте размер зоны активного загрязнения (ЗАЗ) и оцените экономическую эффективность природоохранных мероприятий по защите атмосферы в пригородной зоне отдыха от загрязнения выбросами промышленного предприятия для исходных данных, приведенных в табл. 10, 11.

Таблица 10

| Параметр   | Вариант |     |     |     |     |     |     |
|--|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| Высота источника, м                              | 150     | 90  | 70  | 50  | 120 | 100 | 80  |
| Температура в устье источника, °С                | 110     | 150 | 90  | 130 | 70  | 110 | 170 |
| Скорость оседания загрязнений, см/с              | 0,5     | 3   | 15  | 5   | 8   | 0,8 | 2   |
| Температура окружающей среды, °С                 | 20      | 30  | 10  | 20  | 30  | 10  | 20  |
| Скорость ветра на уровне флюгера, м/с            | –       | 4   | 5   | –   | 7   | 2   | 0,5 |
| Капиталовложения в очистное оборудование, млн р. | 400     | 600 | 800 | 200 | 700 | 500 | 300 |
| Эксплуатационные расходы, млн р./год             | 30      | 10  | 40  | 6,0 | 20  | 70  | 40  |

Таблица 11

| Вариант | Наименование вещества | Масса выброса, тыс. т/год   |                                |
|---------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|         |                       | До установки систем очистки | После установки систем очистки |
| 1       | 2                     | 3                           | 4                              |
| 1       | Аммиак                | 40                          | 10                             |
|         | Сернистый газ         | 30                          | 10                             |
|         | Диоксид серы          | 30                          | 8                              |
| 2       | Оксид углерода        | 64                          | 22                             |
|         | Метилмеркоптан        | 18                          | 3                              |
|         | Оксид азота           | 60                          | 21                             |
| 3       | Сероводород           | 21                          | 9                              |
|         | Диоксид серы          | 32                          | 8                              |
|         | Никель                | 1                           | 0,77                           |
| 4       | Аммиак                | 44                          | 12                             |
|         | Цемент                | 128                         | 45                             |
|         | Диоксид серы          | 37                          | 8                              |

|   |                   |     |      |
|---|-------------------|-----|------|
| 5 | Цианистый водород | 4   | 1,5  |
|   | Диоксид кремния   | 14  | 3    |
|   | Сероводород       | 29  | 21   |
| 6 | Ацетон            | 65  | 21   |
|   | Диоксид серы      | 38  | 7    |
|   | Соединения свинца | 0,6 | 0,33 |
| 7 | Сероводород       | 24  | 9    |
|   | Метилмеркоптан    | 12  | 3    |

Окончание табл. 11

|   |                |     |      |
|---|----------------|-----|------|
| 1 | 2              | 3   | 4    |
|   | Никель         | 1,3 | 0,77 |
| 8 | Оксид углерода | 64  | 28   |
|   | Цемент         | 120 | 53   |
|   | Оксид азота    | 60  | 21   |

**Задание 2А** (2 часа). Определите размер зоны активного загрязнения (ЗАЗ) и оцените эффективность природоохранных мероприятий по защите атмосферы центральной части города от загрязнения выбросами промышленного предприятия для исходных данных, приведенных в табл. 12, 13.

Таблица 12

| Параметр  | З, % для варианта |    |    |    |     |     |    |    |
|---|-------------------|----|----|----|-----|-----|----|----|
|   | 1                 | 2  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7  | 8  |
| Центральная часть города (доля от общей площади ЗАЗ), % | 30                | 20 | 40 | 50 | 40  | 20  | 20 | 15 |
| Высота источника, м                                     | 150               | 90 | 70 | 50 | 120 | 100 | 80 | 60 |

|  |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Температура в устье источника, °С                | 110 | 150 | 90  | 130 | 70  | 110 | 170 | 140 |
| Скорость оседания загрязнения, см/с              | 0,5 | 3   | 15  | 5   | 8   | 0,8 | 2   | 26  |
| Температура окружающей среды, °С                 | 20  | 30  | 10  | 20  | 30  | 10  | 20  | 30  |
| Скорость ветра на уровне флюгера, м/с            | 2   | 4   | 5   | 3   | 7   | 2   | 0,5 | 4   |
| Капиталовложения в очистное оборудование, млн р. | 400 | 600 | 800 | 200 | 700 | 500 | 300 | 100 |
| Эксплуатационные расходы, млн р./год             | 30  | 10  | 40  | 6,0 | 20  | 70  | 40  | 10  |

Таблица 13

| Вариант | Наименование вещества | Масса выброса, тыс. т/год   |                                |
|---------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|         |                       | До установки систем очистки | После установки систем очистки |
| 1       | 2                     | 3                           | 4                              |
| 1       | Аммиак                | 40                          | 10                             |
|         | Сернистый газ         | 30                          | 10                             |
|         | Диоксид серы          | 30                          | 8                              |

Окончание табл. 13

| 1 | 2                 | 3   | 4    |
|---|-------------------|-----|------|
| 2 | Оксид углерода    | 64  | 22   |
|   | Метилмеркоптан    | 18  | 3    |
|   | Оксид азота       | 60  | 21   |
| 3 | Сероводород       | 21  | 9    |
|   | Диоксид серы      | 32  | 8    |
|   | Никель            | 1   | 0,77 |
| 4 | Аммиак            | 44  | 12   |
|   | Цемент            | 128 | 45   |
|   | Диоксид серы      | 37  | 8    |
| 5 | Цианистый водород | 4   | 1,5  |
|   | Диоксид кремния   | 14  | 3    |
|   | Сероводород       | 29  | 21   |
| 6 | Ацетон            | 65  | 21   |
|   | Диоксид серы      | 38  | 7    |
|   | Соединения свинца | 0,6 | 0,33 |
| 7 | Сероводород       | 24  | 9    |
|   | Метилмеркоптан    | 12  | 3    |
|   | Никель            | 1,3 | 0,77 |
| 8 | Оксид углерода    | 64  | 28   |
|   | Цемент            | 120 | 53   |
|   | Оксид азота       | 60  | 21   |

**Задание 3** (2 часа). Определите экономический ущерб от загрязнения водотока и расстояние от выпуска сточных вод вниз по течению, на котором состояние водотока будет удовлетворительным для рыбохозяйственных целей. Характеристика сточных вод приведена в табл. 14. Характеристика во-

дотока и условия сброса сточных вод представлены в табл. 15. Выпуск сточных вод сосредоточенный.

Таблица 14

| Название вещества   | Варианты                |     |     |     |     |     |  |
|---|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|   | 1                       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |  |
|   | млн м <sup>3</sup> /год |     |     |     |     |     |  |
|   | 50                      | 25  | 15  | 50  | 25  | 15  |  |
| Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, г/м <sup>3</sup> |                         |     |     |     |     |     |  |
| 1   | 2                       | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |  |
| Взвешенные вещества   | 100                     | 150 | 250 | 150 | 300 | 350 |  |

Библиотека БГУИР



Окончание табл. 14

|              |     |      |     |      |     |
|--------------|-----|------|-----|------|-----|
| 1            | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   |
| БПК          | 100 | 120  | 180 | 200  | 220 |
| ПАВ          | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   |
| Нефть        | 0,5 | –    | 0,6 | –    | 0,3 |
| Масло        | 2   | –    | 4   | –    | 1   |
| Азот общий   | 15  | –    | 25  | –    | 10  |
| Сульфаты     | 30  | 40   | 50  | 60   | 70  |
| Хлориды      | 20  | –    | 30  | –    | 40  |
| Железо       | 0,9 | 0,4  | 0,5 | 0,6  | 0,7 |
| Медь         | –   | 0,02 | –   | 0,03 | –   |
| Цинк         | –   | 0,06 | –   | 0,08 | –   |
| Формальдегид | 10  | 5    | 15  | 20   | 25  |

Таблица 15

| Номер варианта | Скорость течения, м/с | Глубина в месте выпуска, м | Диаметр выпуска, м |
|----------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|
| 1              | 0,03                  | 20                         | 1,0                |
| 2              | 0,04                  | 25                         | 1,2                |
| 3              | 0,035                 | 15                         | 1,1                |
| 4              | 0,02                  | 10                         | 0,8                |
| 5              | 0,03                  | 0,25                       | 1,2                |
| 6              | 0,04                  | 0,15                       | 1,3                |
| 7              | 0,035                 | 0,2                        | 1,1                |
| 8              | 0,03                  | 0,2                        | 1,2                |

**Задание 3А** (2 часа). Рассчитайте экономический ущерб от загрязнения озера стоками, характеристика которых указана в табл. 14, и разбавление на расстоянии до расчетного створа при условиях, указанных в табл. 16.

Таблица 16

| Номер варианта | Условия выпуска           | Глубина выпуска, м | Расстояние до расчетного створа, м |
|----------------|---------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 1              | Береговой и верхней части | 4,0                | 600; 1200; 1800                    |
| 2              |                           | 5,0                | 600; 1200; 1800                    |
| 3              |                           | 5,5                | 600; 1200; 1800                    |

|   |                 |     |                 |
|---|-----------------|-----|-----------------|
| 4 |                 | 6,0 | 600; 1200; 1800 |
| 5 | Вдали от берега | 20  | 600; 1200; 1800 |
| 6 |                 | 24  | 600; 1200; 1800 |
| 7 |                 | 30  | 600; 1200; 1800 |
| 8 |                 | 34  | 600; 1200; 1800 |

**Задание 4** (2 часа). Определите требуемую степень очистки сточных вод, сбрасываемых в реку, для исходных данных, приведенных в табл. 17, 18. В сточных водах содержатся ацетон, бензол, тяжелые металлы. Вода реки используется для санитарно-бытового водопользования. Выпуск сточных вод осуществляется в стержень реки. Рассчитайте также величину предельно допустимого сброса (ПДС) для вещества, вносящего наибольший вклад в загрязнение реки.

Библиотека БГУИР

Таблица 17

| Показатель   | Варианты исходных данных |                  |                  |      |      |      |      |      |
|--|--------------------------|------------------|------------------|------|------|------|------|------|
|  | 1                        | 2                | 3                | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| Расход воды в реке, м <sup>3</sup> /с                  | 40                       | 60               | 35               | 45   | 55   | 70   | 65   | 61   |
| Скорость течения реки, м/с                             | 1,1<br>5                 | 0,2              | 0,25             | 0,3  | 0,28 | 0,18 | 0,23 | 0,22 |
| Средняя глубина реки, м                                | 1,5                      | 1,4              | 1,3              | 1,2  | 1,1  | 1,0  | 1,35 | 1,28 |
| Расстояние от места выпуска до створа по фарватеру, км | 5,2                      | 5,5              | 5,9              | 6,1  | 6,5  | 7,0  | 6,9  | 6,4  |
| Расстояние от места выпуска до створа по прямой, км    | 4,1                      | 4,2              | 4,0              | 5,1  | 5,1  | 5,5  | 5,0  | 4,9  |
| Расход сточной воды, м <sup>3</sup> /с                 | 1,1                      | 1,05             | 0,8              | 0,85 | 0,95 | 1,3  | 1,0  | 0,95 |
| Скорость сточной воды на выпуске, м/с                  | 0,4<br>8                 | 0<br>,<br>5<br>2 | 0<br>,<br>4<br>1 | 0,51 | 0,53 | 0,6  | 0,58 | 0,55 |

| Содержание индивидуальных ингредиентов, мг/л |     |      |      |  |     |      |     |     |
|--|-----|------|------|--|-----|------|-----|-----|
| Аммиак                                       | –   | –    | –    |  | –   | –    | 3,8 | 5,5 |
| Ацетон                                       | –   | 15,0 | –    |  | 0,8 | –    | 0,8 | 1,3 |
| Бензол                                       | –   | 2,0  | 10,0 |  | –   | 11,7 | –   | 3,0 |
| Капролактам                                  | 2,0 | –    | –    |  | 1,5 | –    | 1,5 | 3,9 |
| Кобальт                                      | 2,5 | –    | 3,8  |  | 3,2 | –    | 2,8 | –   |
| Ксилол                                       | 5,0 | 0,5  | 5,0  |  | –   | 0,5  | –   | 3,0 |
| Медь   | 0,2 | –    | 1,3  |  | 1,4 | –    | –   | –   |
| Молибден                                     | –   | 0,5  | 1,5  |  | –   | 0,5  | –   | –   |
| Мышьяк                                       | –   | 0,1  | 0,2  |  | –   | 0,1  | 5,7 | –   |
| Никель                                       | 0,8 | –    | –    |  | 0,1 | 5,4  | 5,1 | 7,0 |
| Хлорофос                                     | 0,2 | 2,5  | –    |  | 7,2 | 0,7  | –   | –   |

Таблица 18

| Вещество    | Показатель                  |           |                            |
|-------------|-----------------------------|-----------|----------------------------|
|             | ЛПВ                         | ПДК, мг/л | Фоновая концентрация, мг/л |
| Аммиак      | Общесанитарный              | 2         | 0,15                       |
| Ацетон      | Общесанитарный              | 0,25      | 0                          |
| Бензол      | Санитарно-токсикологический | 0,5       | 0,1                        |
| Капролактam | Общесанитарный              | 1         | 0                          |
| Кобальт     | Общесанитарный              | 1         | 0,005                      |
| Ксилол      | Органолептический           | 0,05      | 0,01                       |
| Медь        | Общесанитарный              | 0,1       | 0,002                      |
| Молибден    | Санитарно-токсикологический | 0,25      | 0,03                       |
| Мышьяк      | Санитарно-токсикологический | 0,05      | 0,01                       |
| Никель      | Общесанитарный              | 0,1       | 0,012                      |
| Хлорофос    | Органолептический           | 0,05      | 0,0008                     |

**Задание 5** (2 часа). Определите расстояние от стационарного точечного источника выброса, на котором достигается максимальная концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы. Характеристики источника выброса приведены в табл. 19. Значение коэффициента, характеризующего неблагоприятные климатические и метеорологические условия, принять равным 160; коэффициента, зависящего от рельефа местности, – равным 1,0. Рассчитать значение предельно допустимого выброса (ПДВ) для источника, приняв фоновую концентрацию по загрязняющему веществу 0,3 предельно допустимой среднесуточной концентрацией (ПДК<sub>с.с.</sub>).

Таблица 19

| Характеристика                     | Варианты исходных данных |  |      |  |                 |  |        |
|------------------------------------|--------------------------|--|------|--|-----------------|--|--------|
|                                    | 1                        |  | 3    |  | 5               |  | 7      |
| 1                                  | 2                        |  | 4    |  | 6               |  | 8      |
| Выброс загрязняющего вещества, г/с | 0,5                      |  | 2,3  |  | 0,3             |  | 0,1    |
| Загрязняющее вещество              | SO <sub>2</sub>          |  | Пыль |  | NO <sub>2</sub> |  | Ацетон |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>             | 0,5                      |  | 80   |  | 0,085           |  | 0,35   |

Окончание табл. 19

| 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Степень очистки, %                       | –   | –   | 80  | –   | –   | 70  | –   | –   |
| Высота труб, м                           | 45  | 35  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 |
| Диаметр устья трубы, м                   | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,7 |
| Скорость выхода газовоздушной смеси, м/с | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,7 | 6,8 | 6,9 |
| Температура газовоздушной смеси, °С      | 125 | 130 | 135 | 140 | 145 | 150 | 155 | 160 |
| Температура окружающего воздуха, °С      | 21  | 21  | 21  | 22  | 23  | 24  | 23  | 22  |

## Литература

1. ОНД-86. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
2. СанПиН 4630-88. Перечень предельно допустимых концентраций нормированных веществ в воде водных объектов. – М.: Медицина, 1988.
3. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 4. – Мн., 1992.
4. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 9. – Мн., 1994.
5. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 13. – Мн., 1996.
6. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М.: Экономика, 1986.
7. Методика подсчетов убытков, причиняемых государству нарушением водного законодательства: Сб. нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Вып. 14. – Мн., 1996.
8. Методика расчета ущерба при несанкционированном размещении отходов. Утв. Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ от 08.01.96.
9. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л. и др. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов / Под ред. проф. Э.В. Гирусова, проф. В.Н. Лопатина. 2-е изд., перераб. и доп. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, Единство, 2003. – 519 с.
10. Голуб А.А., Струнова Е.Б. Экономика природопользования. – М., 1995.
11. Игнатов В.Г., Кокин А.В. Экология и экономика природопользования. – Ростов-н/Д: Феникс, 2003. – 512 с.
12. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Изд. 5-е перераб. и доп. – Ростов-н/Д: Феникс, 2003. – 576 с.



13. Михнюк Т.Ф. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для студ. инж.-техн. спец. вузов. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004.

14. Нестеров П.М., Нестеров А.П. Экономика природопользования и рынок. – М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1997.

15. Шилова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: БГЭУ, 2002.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

**Асаенок Иван Степанович,**  
**Михнюк Тимофей Федорович**

**ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**  
**и экономика природопользования**

Учебное пособие  
к практическим занятиям студентов  
экономических специальностей БГУИР всех форм обучения

Редактор Т.А. Лейко

Корректор Е.Н. Батурчик

Компьютерная верстка

Подписано в печать  
л.2,6. Тираж

.Формат 60x84 1/16.Бумага офсетная. Печать ризографическая. Усл. печ. л. Уч.-изд.  
экз. Заказ

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.  
220013, Минск, П. Бровка, 6