

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

Рецензент
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

Содержание

Введение.....	4
1. Оценка ущерба, наносимого обществу антропогенным загрязнением окружающей среды..	5
1.1. Расчет экономического ущерба от загрязнения атмосферы.....	8
1.2. Расчет экономической эффективности мероприятий по защите атмосферы	16
1.3. Расчет предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	17
1.3.1. Методика расчета загрязнения атмосферы в приземном слое.....	20
1.3.2. Расчет предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу	23
1.4. Расчет распространения загрязненности в водных бассейнах сточными водами и экономического ущерба от загрязнения водоемов.....	24
1.4.1. Расчет распространения загрязненности в водных бассейнах.....	24
1.4.2. Расчет экономического ущерба от загрязнения водоемов	29
1.4.3. Расчет экономического ущерба от загрязнения водоемов по удельным крупным показателям	32
1.4.4. Расчет экономической эффективности водоохранных мероприятий	32
1.4.5. Расчет предельно допустимых сбросов и необходимой степени очистки сточных вод.....	33
1.5. Расчет экономического ущерба, наносимого реципиентам, в результате загрязнения почв твердыми веществами	38
1.6. Расчет экономического ущерба, связанного с производственным травматизмом.....	40
1.7. Расчет экономического ущерба в связи с заболеваемостью	44
1.8. Оценка экономической эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда, направленных на снижение травматизма	48
2. Задания для самостоятельной работы.....	50
Литература	58

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 невозможный) 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 — невыработка 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 ущербобразующих 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 (V_a) определяется по формуле

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

где γ – 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; σ – коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях с различной плотностью и чувствительностью реципиентов; μ – 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 $\geq 90\%$:

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

где H – геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню зоны активного загрязнения, м; φ – поправка на тепловой подъем факела выбросов в атмосфере. Рассчитывается по формуле $\varphi = 1 + \frac{\Delta t}{75}$, где Δt – 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

$$f = f_2 = \left(\frac{1000}{60 + \varphi \cdot H} \right)^{0,5} \cdot \frac{4}{1 + U}. \quad (5)$$

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 σ_{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 φ ; σ_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	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
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

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

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

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

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 (μ), определяется по формуле

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

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

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

где a_i – поправка, характеризующая относительную опасность присутствия i -го вещества примеси в воздухе, вдыхаемом человеком; α_i – поправка, учитывающая вероятность накопления i -го вещества в окружающей среде и в цепях питания, а также поступления этого вещества в организм неингаляционным путем; δ_i – поправка, учитывающая вредное воздействие i -го вещества на основных реципиентов, кроме человека; λ_i – поправка на вероятность вторичного попадания i -го вещества в атмосферу после его оседания на поверхности (для пылей); β_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

$$a_i = \left(\frac{ПДК_{c.cCO} \cdot ПДК_{p.3CO}}{ПДК_{c.ci} \cdot ПДК_{p.3i}} \right)^{0,5} = \left(\frac{60}{ПДК_{c.ci} \cdot ПДК_{p.3i}} \right)^{0,5}, \quad (12)$$

где $ПДК_{c.cCO}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация оксида углерода, равная 3 мг/м³; $ПДК_{c.ci}$ – то же для i -го вещества (см. табл. 2); $ПДК_{p.3CO}$ – предельно допустимая концентрация (усредненная за рабочую смену) оксида углерода в воздухе рабочей зоны; $ПДК_{p.3i}$ – то же для i -го вещества (см. табл. 2).

Значение поправки α_i принимается равным:

5 — для следующих токсичных материалов (веществ) и их оксидов: ванадия, марганца, кобальта, никеля, хрома, цинка, мышьяка, серебра, кадмия, сурь-

мы, 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 δ_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, неограниченных 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 λ_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 β_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	$ПДК_{с.с.}$ мг/м ³	$ПДК_{р.з.}$ мг/м ³	a	λ	α	β	δ	A_i 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
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/ 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 соединения свинца	0,0003	0,01	4472	1	5	1	1	22400
16	Неорганические соединения б-валентного хрома CrO ₃	0,0015	0,01	2000	1	5	1	1	10 ⁴

Окончание табл. 2

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 пятиоксида 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
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^{-6}	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^5$	1	1	1	1	$12,6 \cdot 10^5$

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	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: березовских, назаровских, ангренинских донецких, подмосковных кузнецких, экибастузских, карагандинских	60 70 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

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 (μ) после проведения атмосферозащитных мероприятий (формула 10), то есть

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

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

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

$$Z = C + E_n \cdot K,$$

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 эф-

фективности ($E \geq E_i$) либо неэффективности ($E < E_i$) 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_ϕ). 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 $ПДК_{с.с}$ (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 устанавливаются 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, свя-

занных 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 моделях 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

$$\Delta T = T_2 - T_0, \quad (15)$$

где T_2 – температура газовой смеси, $^{\circ}\text{C}$; T_0 – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Отнесение источника к холодному или нагретому производится по принятому значению разности температур T_a , которое обычно составляет 10-15⁰С. 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 ΔT по следующим формулам:

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

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

где V_1 – объем газовойоздушного выброса источника, м³/с; H – высота источника выброса, м; D – диаметр устья источника выброса, м; W_0 – скорость выхода смеси из устья, м/с.

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

Ускорение перемещения фронта охлаждения смеси включает параметр f , м/(с^{2,0}С):

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

$$f_e = 800 \cdot (V_m')^3. \quad (20)$$

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

$$d = 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot f^{1/3}) \text{ при } 0,5 < V_m \leq 2; \Delta T > T_a; \quad (21a)$$

$$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot f^{1/3}) \text{ при } V_m \leq 0,5; \Delta T > T_a; \quad (21б)$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{V_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot f^{1/3}) \text{ при } V_m > 2; \Delta T > T_a; \quad (21в)$$

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

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

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

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:

$$U_m = 0,5 \text{ при } V_m \leq 0,5; \Delta T > T_a; \quad (23)$$

$$U_m = V_m \text{ при } 0,5 < V_m \leq 2; \Delta T > T_a; \quad (24)$$

$$U_m = V_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \text{ при } V_m > 2; \Delta T > T_a. \quad (25)$$

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

Для $f \geq 100$ при $\Delta T < T_a$ коэффициент n вычисляется по формулам (29a – 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

$$C_m = (A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta) / (H^2 \cdot (V_1 \cdot \Delta T)^{1/3}), \quad (30)$$

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, $F = 3$; η – 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

$$C_m = ((A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta) / H^{4/3}) \cdot (D / (8 \cdot V_1)). \quad (31)$$

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

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

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

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_{ϕ} рассматриваемой примеси установлена не зависящей от направления и скорости ветра и постоянной по всей территории промплощадки, определяется по формуле

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

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

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

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

$$H = [(A \cdot F \cdot M \cdot m \cdot n \cdot \eta) / (ПДК - C_{\phi})]^{1/2} (1/V_1 \Delta T)^{1/6}, \quad (36)$$

для выбросов *холодной* газовой смеси

$$H = ((A \cdot F \cdot M \cdot n \cdot \eta \cdot D / 8 \cdot V_1) / (ПДК - C_{\phi}))^{3/4}. \quad (37)$$

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 м³, а 1 т меди – 500 м³ 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 отрицательное 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 во-

допользования – рыбохозяйственного и санитарно-бытового (в том числе питьевого назначения).

Таблица 4

Предельно допустимая концентрация загрязнителей для санитарно-бытового и рыбохозяйственного назначения

Вещество	ПДК _{с/б} , мг/л ³	ПДК _{р/х} , мг/л ³
Азот аммонийный	10	0,39
Аммиак	–	0,05
БПК _{полн}	–	3 мг O ₂ /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_i), 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

$$n = n_i \cdot n_o. \quad (39)$$

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

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

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

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

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

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

Показатель S рассчитывается из выражения

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

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_i 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, м³/с; H – средняя глубина в прибрежной части, м.

Основное разбавление n_o рассчитывается по формулам:

для выпуска у берега –

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

где $\Delta x = 6,53 \cdot H^{1,167}$;

для выпуска вдали от берега –

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

где $\Delta x = 4,41 \cdot H^{1,167}$.

1.4.2. Расчет экономического ущерба от загрязнения водоемов

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

$$Y = Y_{y\partial} \cdot \sigma_k \cdot M, \quad (48)$$

где $Y_{y\partial}$ – 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); σ_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 обусловливается как составом реципиентов, подвергавшихся воздействию, так и особенностями распространения загрязнения по территории водохозяйственного уча-

стка. Эти экологические особенности каждого водохозяйственного участка учитываются с помощью показателя σ_k (табл. 5); M – приведенная масса загрязняющих веществ в годовом объеме сточных вод, которая определяется в условных тоннах по формуле

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

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_п.

Таблица 5

Значение показателя относительной опасности загрязнения δ_k для различных водохозяйственных участков

Наименование бассейна рек	Административный состав водохозяйственных участков	Значение δ_e
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	–
ДДТ		0,1	–
Кадмий		0,001	0,005
Мышьяк		0,05	0,05
Никель		0,1	0,03
Нитриты (NO ₂)		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 ₃)		45	–
Бром		0,2	–
Аммоний (NH ₄ ⁺)		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 ³⁺)		0,5	
Хром (Cr ⁶⁺)		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 (\dot{O}) 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

$$Y_i = Y_{уд.i} \cdot M_i. \quad (52)$$

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

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

где a_i – концентрация i -й примеси, г/м³; Q – объем годового сброса сточных вод, м³/год.

Таблица 7

Удельный ущерб от некоторых загрязняющих веществ

Вещество	$Y_{уд.i}$, р./т
БПК _{CO}	820
Взвешенные вещества	205
Нефть и нефтепродукты	17 120
СПАВ	3 400

1.4.4. Расчет экономической эффективности водоохранных мероприятий

Экономическая эффективность водоохранных мероприятий A 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 го-

дового экономического ущерба Y_1 , рассчитанного до проведения водоохраных мероприятий, и Y_2 после их проведения, то есть

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

Приведенные затраты на строительство или модернизацию водоохраных сооружений (Z) могут быть вычислены по формуле

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

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

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

где C_{ϕ} – 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 степени очистки сточных вод перед спуском их в водоем в общем виде выражается формулой

$$C_{с.с} \cdot Q_{с.с} + C_{\phi} \cdot Q_p \leq (aQ_p + Q_{с.с}) \cdot C_{н.д}, \quad (58)$$

где $C_{с.с}, C_{\phi}$ – концентрации вещества в сточных водах и речной воде (фоновая) соответственно, мг/л; a – коэффициент смешения; $Q_p, Q_{с.с}$ – расходы воды в реке и сточных вод соответственно, м³/с; $C_{н.д}$ – предельно допустимая концентрация

ция загрязняющего вещества в воде водоема, мг/л (контролируется в расчетном створе).

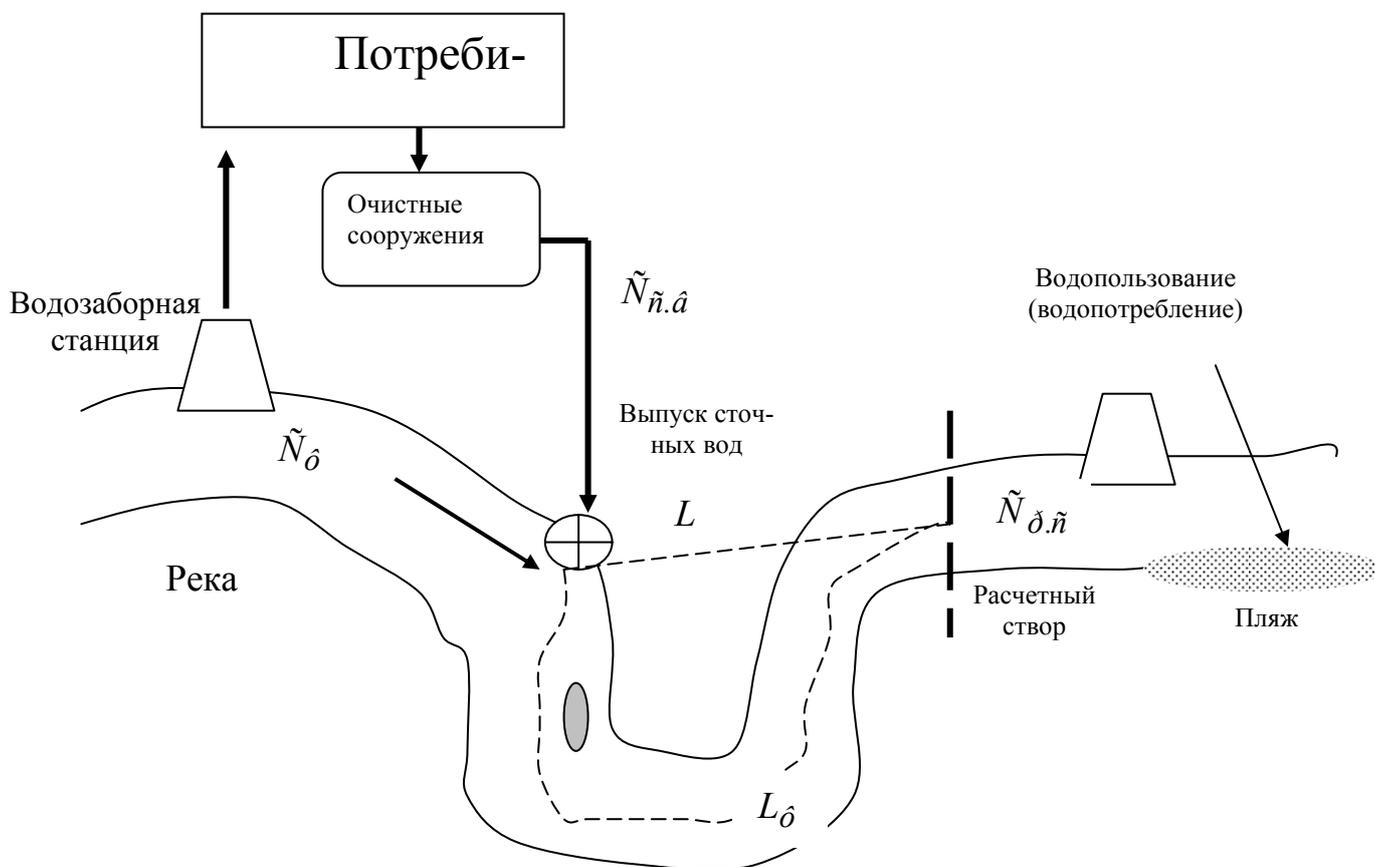


Рис 1. Схема возможного положения мест выпуска сточных вод

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

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

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

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

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

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

$$\psi = \frac{V_{c.B}}{V_p}, \quad (63)$$

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

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

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

где H_{cp} – средняя глубина реки.

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

$$n = (a \cdot Q_p + Q_{c.B})/Q_{c.B}, \quad (65)$$

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

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

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

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 $C_{n.d}$ в

расчетном створе, при которой соблюдается вышеприведенное условие, по формуле

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

Далее, подставив в формулу (59) полученное значение $C_{n,d}$, рассчитывают $C_{c.в}$, 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

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

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:

$$ПДС = C_{c.в} \cdot Q_{c.в}. \quad (70)$$

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 (Y) от загрязнения и отчуждения земельных ресурсов производится по следующей формуле:

$$Y = q \cdot y \cdot M, \quad (71)$$

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 (области, города)	Количество твердых отходов, 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 производственным травматизмом

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 (Π_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 необлагаемой части дохода (выплат по больничному листу), р.; C_o – 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

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

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

$$C_1 = C_{н.г} / P D_p, \quad (77)$$

где $C_{н.г}$ – 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

$$\mathcal{E} = П_1 + П_2 + П_3 + П_4 + П_5 + П_6 + П_7 + П_8 + П_9, \quad (78)$$

где \mathcal{E} – потери предприятия, р.; $П_1$ – потери, связанные с простоем рабочих и оборудования, вызванным травматизмом, р.; $П_2$ – заработная плата пострадавшему за недоработанную часть смены, р.; $П_3$ – затраты, связанные с доставкой пострадавшего в медицинское учреждение, р.; $П_4$ – выплата пособия по временной нетрудоспособности, р.; $П_5$ – доплата к пенсии до уровня средней заработной платы при потере трудоспособности в результате несчастного случая, р.; $П_6$ – доплаты рабочим при частичной утрате трудоспособности, р.; $П_7$ – единовременная помощь семье пострадавшего от несчастного случая с тяже-

лым исходом, р.; P_8 – упущенная экономическая выгода, р.; P_9 – суммы, взимаемые 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 длительном 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 накопления 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 наиболь-

шей 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 данных 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

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

где C_n – число заболеваний, зарегистрированных по предприятию, цеху, участку; P – среднесписочная численность работающих за отчетный период.

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

$$З_о = \frac{Д_n \cdot 100}{P}, \quad (81)$$

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

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

$$П_{о.з} = \frac{З_о}{З_c}. \quad (82)$$

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

$$С_n = C_{n.г} \cdot Д_з / PД_p, \quad (83)$$

где $С_{n.г}$ – стоимость всей продукции, произведенной на предприятии за год; $Д_з$ – общее число дней нетрудоспособности вследствие заболеваний, связанных с условиями труда; $Д_p$ – число рабочих дней в году.

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

$$С_{m.з} = C_{n.г} \cdot (Д_m + Д_з) / PД_p. \quad (84)$$

Суммарные потери $П_c$, связанные с травматизмом $П_m$ и заболеваемостью $П_з$, можно определить по следующей приближенной формуле:

$$P_c = P_m + P_3, \quad (85)$$

где P_c – суммарные потери из-за травм и заболеваний, р.; P_m – сумма потерь, связанных с травмами, р.; P_3 – 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

$$\mathcal{E}_o = P_{m.31} - P_{m.32}, \quad (86)$$

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

При менее точных расчетах можно использовать формулу

$$\mathcal{E}_o = (C_{c.2} + C_{m.3.c}) \cdot (D_{\bar{b}.2} - D_2), \quad (87)$$

где $C_{с.г}$ – среднегодовое производство продукции на одного работающего в день; $C_{т.э.с}$ – стоимость среднегодовой оплаты больничного листа в день по травмам, являющимся следствием плохих условий труда, р.; $D_{б.г}$ – 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:

$$P_{о.т} = (C_{н.м} + C_{доп}) / \Phi_o, \quad (88)$$

где $P_{о.т}$ – 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.; Φ_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 газоз-душную смесь, 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 газоз-душной смеси, °С	100	120	125	80
Скорость газоз-душной 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 ³	Формальдегид 4,0 Ксилол 1,2	Акролеин 0,6 Дихролэтан 1,0	Толуол 9,0 Фенол 0,6	Бензин 0,7 Хромовый ангидрид 0,04
Фоновая концентрация вредных химических веществ, мг/м ³	Формальдегид 0,01 Ксилол 0,05	Акролеин 0,02 Дихролэтан 0,5	Толуол 0,15 Фенол 0,005	Бензин 1,5 Хромовый ангидрид 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 ³	Оксид азота 5,0 Ацетон 2,0	Сероводород 0,8 Соляная кислота 14,0	Оксид углерода 6,0 Двуокись азота 1,0	Формальдегид 6,0 Ацетон 2,0
Фоновая концентрация вредных химических веществ, мг/м ³	Оксид азота 0,02 Ацетон 0,1	Сероводород 0,001 Соляная кислота 0,05	Оксид углерода 0,02 Двуокись азота 0,02	Формальдегид 0,01 Ацетон 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	8
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	–	4	5	–	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 11

Вариант	Наименование вещества	Масса выброса, тыс. т/год	
		До установки систем очистки	После установки систем очистки
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
	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	Доля от общей площади ЗАЗ, % 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	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
	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 водотока и условия сброса сточных вод представлены в табл. 15. Выпуск сточных вод сосредоточенный.

Таблица 14

Название вещества	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Объем сточных вод, млн м ³ /год							
	50	25	15	50	25	15	40	10
Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, г/м ³								
Взвешенные вещества	100	150	250	150	300	350	200	400
БПК	100	120	180	200	220	250	300	400
ПАВ	2	3	4	5	6	4	2	3
Нефть	0,5	–	0,6	–	0,3	-	0,4	-
Масло	2	–	4	–	1	-	3	-
Азот общий	15	–	25	–	10	-	30	-
Сульфаты	30	40	50	60	70	80	100	110
Хлориды	20	–	30	–	40	-	50	-
Железо	0,9	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,4	0,5
Медь	–	0,02	–	0,03	–	0,04	-	0,05
Цинк	–	0,06	–	0,08	–	0,10	-	0,12
Формальдегид	10	5	15	20	25	30	35	5

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.

Таблица 17

Показатель	Варианты исходных данных							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход воды в реке, м ³ /с	40	60	35	45	55	70	65	61
Скорость течения реки, м/с	1,15	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 ³ /с	1,1	1,05	0,8	0,85	0,95	1,3	1,0	0,95
Скорость сточной воды на выпуске, м/с	0,48	0,52	0,41	0,51	0,53	0,6	0,58	0,55
Содержание индивидуальных ингредиентов, мг/л								

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Аммиак	–	–	–	3,1	–	–	3,8	5,5
Ацетон	–	15,0	–	1,6	0,8	–	0,8	1,3
Бензол	–	2,0	10,0	–	–	11,7	–	3,0
Капролактam	2,0	–	–	2,0	1,5	–	1,5	3,9
Кобальт	2,5	–	3,8	3,8	3,2	–	2,8	–
Ксилол	5,0	0,5	5,0	–	–	0,5	–	3,0
Молибден	–	0,5	1,5	24,0	–	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_{с.с}).

Таблица 19

Характеристика	Варианты исходных данных							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Выброс загрязняющего вещества, г/с	0,5	0,2	2,3	0,5	0,3	2,7	0,1	0,2
Загрязняющее вещество	SO ₂	NO ₂	Пыль	CO	NO ₂	Пыль	Ацетон	NH ₃
ПДК, мг/м ³	0,5	0,085	80	5	0,085	5	0,35	0,2
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 газовой смеси, м/с	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,7	6,8	6,9
Температура газовой 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.

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. Бровки, 6

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кафедра экологии

И. И. Кирвель, В. И. Петровская, Н. В. Цявловская

**ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: ИХ ОЦЕНКА, СОСТОЯНИЕ
И ЗАГРЯЗНЕНИЕ**

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»

Минск 2007

УДК 502

ББК 20.1

К 43

Кирвель, И. И.

Земельные ресурсы: их оценка, состояние и загрязнение: метод. пособие для К 43 практич. занятий по дисц «Основы экологии и энергосбережение» / И. И. Кирвель, В. И. Петровская, Н. В. Цявловская – Минск: БГУИР, 2007. – 13 с.

ISBN

Рассмотрены вопросы классификации, кадастровой и иных стоимостных оценок земельных угодий, представлены статистические показатели деграционных процессов, даны практические задания для расчетов стоимости земельных участков с учетом социально-экономических факторов. Издание предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

УДК 502
ББК 20.1

ISBN

© Кирвель И. И., Цявловская Н. В.,
Петровская В. И., 2007

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2007

1. Структура и почвы земельного фонда

Земельные ресурсы и их важнейший компонент – почвы являются основным природным и национальным богатством Беларуси, от эффективности использования и охраны которого во многом зависит социально-экономическая и экологическая ситуация в стране. Специфическая черта земли заключается в ее многофункциональности. Земля является всеобщим материальным условием производства, служит пространством для размещения отраслей хозяйственного комплекса, поселений, инфраструктуры, ведения сельского и лесного хозяйства, выступает составной и неотъемлемой частью природных систем. Слагающие её почвы обладают уникальным свойством *плодородия* – способностью производить биомассу. Сохранение почвы и ее рациональное использование является одним из приоритетных направлений природоохранной политики. На территории Беларуси имеются разнообразные типы почв: *дерново-подзолистые, дерново-подзолисто-заболоченные, дерновые и дерново-карбонатные, дерновые и дерново-карбонатные заболоченные, торфяно-болотные и пойменные (аллювиальные)*. Структура земельного фонда по основным видам земель выглядит следующим образом (рис. 1).

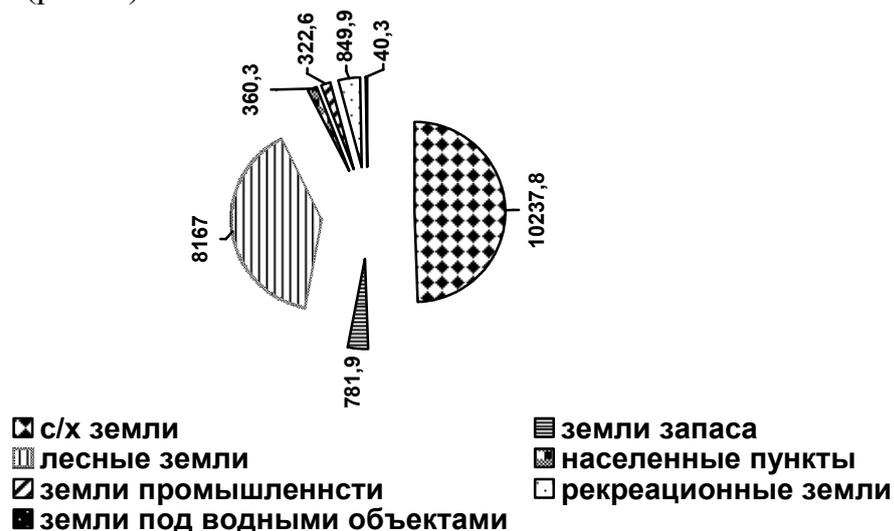


Рис. 1. Структура земельного фонда Республики Беларусь (площадь, тыс. га)

Структура земельного фонда республики по видам земель и ее изменение за период 2004-2007 гг. представлена в табл. 1. Анализ динамики земельного фонда выявил основные тенденции изменения площади земель по видам их использования:

- 1) постепенное сокращение площади сельскохозяйственных, в том числе пахотных земель (соответственно 32,1 тыс. га и 53,3 тыс. га в год);
- 2) устойчивый рост площадей лесных земель и земель, покрытых древесно-кустарниковой растительностью (на 62,6 тыс. га в год);
- 3) очень медленный рост количества земель под водными объектами и

земель под дорогами и иными транспортными путями (соответственно 0,72 тыс. га и 0,895 тыс. га в год);

4) постепенное сокращение количества нарушенных, а также неиспользованных и других земель (соответственно 3,4 тыс. га и 23,9 тыс. га в год);

Основными причинами сокращения площади сельскохозяйственных земель является исключение из использования низкоплодородных, убыточных для земледелия участков, а также отвод земель для других нужд. Всего рекомендовано репрофилировать 1338 тыс. га сельскохозяйственных земель, из них 801,0 тыс. га пахотных, в том числе в Брестской области – 59,2 тыс. га, Витебской – 259,7 тыс. га, Гомельской – 119,2 тыс. га, Гродненской – 76,6 тыс. га, Минской – 157,0 тыс. га, Могилевской – 129,3 тыс. га.

Таблица 1

Виды земель Беларуси и их динамика

Виды земель	Площадь, тыс. га		
	на 2004 г.	на 2007 г.	+, –
Сельскохозяйственные земли, в том числе пахотные	9 204,7 5 761,1	9 076,3 5 547,9	–128,4 –213,2
Лесные и прочие лесопокрытые земли	8 571,1	8 821,7	+250,6
Земли под болотами	934,0	916,2	–17,8
Земли под водными объектами	475,6	478,5	+2,9
Земли под дорогами, транспортными путями	358,4	362,2	+3,8
Земли под улицами, местами общего пользования	153,0	150,2	–2,8
Земли под застройками	329,8	330,7	+0,9
Нарушенные земли	19,6	5,9	–13,7
Неиспользованные и другие земли	713,8	618,1	–95,7

В настоящее время в земельном фонде Республики Беларусь насчитывается 3416,0 тыс. га (16,5 % территории страны) осушенных земель. Данные инвентаризации мелиоративных систем показали, что в республике нуждаются в реконструкции 760,8 тыс. га земель, а на 184,0 тыс. га осушенных земель требуется проведение агро-мелиоративных мероприятий.

2. Экологические угрозы для земель и почв

Одной из актуальных экологических проблем Беларуси является охрана и устойчивое неистощимое использование земель. Деградация земель в различных ее формах обусловлена как природными факторами, так и деятельностью человека, несоблюдением норм и правил рационального использования и охраны. Применительно к природно-территориальным условиям и особенностям хозяйственного использования деградация земель/почв проявляется в следующих основных формах:

- водная, ветровая эрозия почв;
- химическое, в т.ч. радионуклидное загрязнение земель/почв;
- ухудшение свойств почв, особенно торфяных, при сельскохозяйственном их использовании;
- деградация земель в результате добычи полезных ископаемых, дорожного и других видов строительства, а также их затопления и подтопления;
- деградация торфяных почв на осушенных болотных массивах в результате торфяных пожаров;
- деградация земель лесного фонда в результате нерационального лесопользования и лесных пожаров;
- деградация земель при чрезмерных рекреационных, технических и других антропогенных нагрузках на земли/почвы.

Площадь земель с потенциально возможным смывом почвы (*эрозионно-опасные земли*) составляет 1443 тыс. га, или почти 7 % территории Беларуси (рис. 2).

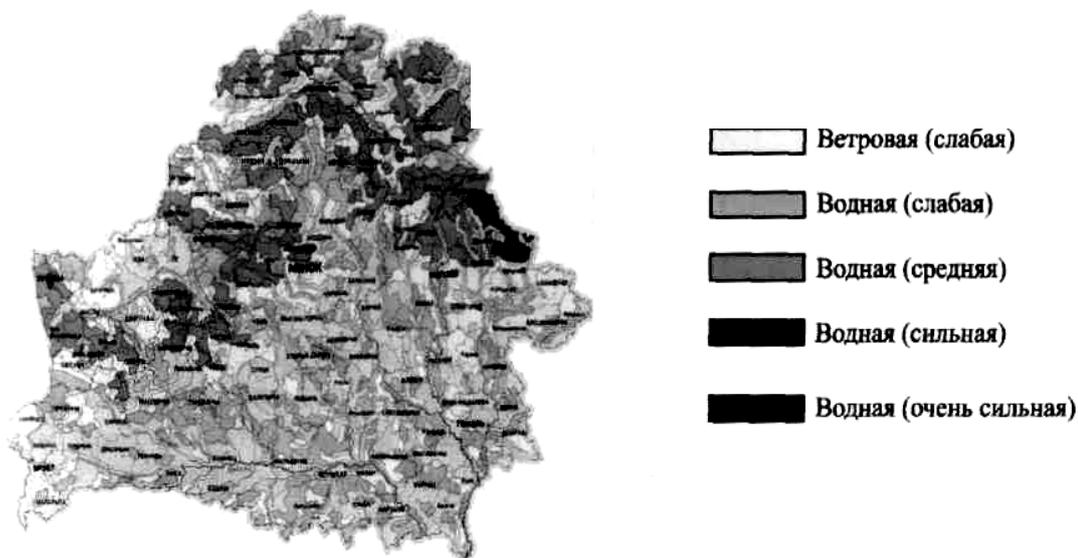


Рис. 2. Типы эрозии и интенсивность ее проявления

Ветровая эрозия (*дефляция*) чаще встречается на юге и юго-западе, где большие площади занимают легкие по гранулометрическому составу и осушенные торфяно-болотные почвы. Экономический ущерб от проявления эрозион-

ных процессов на земле выражается в ежегодных потерях мелкозема и биогенных элементов почвы и снижении её плодородия. Предупредить эрозионные процессы и обеспечивать неуклонное повышение плодородия почв возможно лишь посредством комплекса противоэрозионных мероприятий. Наиболее перспективным направлением предотвращения эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях является переход на ландшафтно-адаптивную систему земледелия и формирование противоэрозионных севооборотов. Примером техногенного преобразования земной поверхности является Солигорский район, где шахтным способом ведется добыча калийных солей. Институтом геохимии и геофизики НАН Беларуси определены средние величины техногенных нагрузок на земли/почвы путем установления количества перемещенных почвогрунтов на единицу площади. Они варьируют от $300 \text{ м}^3/\text{км}^2$ до десятков тысяч $\text{м}^3/\text{км}^2$ и свидетельствуют о достаточно высокой степени проявления этого процесса на территории республики (рис. 3). Техногенное преобразование земель/почв не только непосредственно воздействует на земную поверхность, но и активизирует многие процессы, которые могут привести к деградации земель (развитие осыпей, размывов, оползней, оврагов, разрушение берегов водных объектов, проявление дефляции почв и др.).

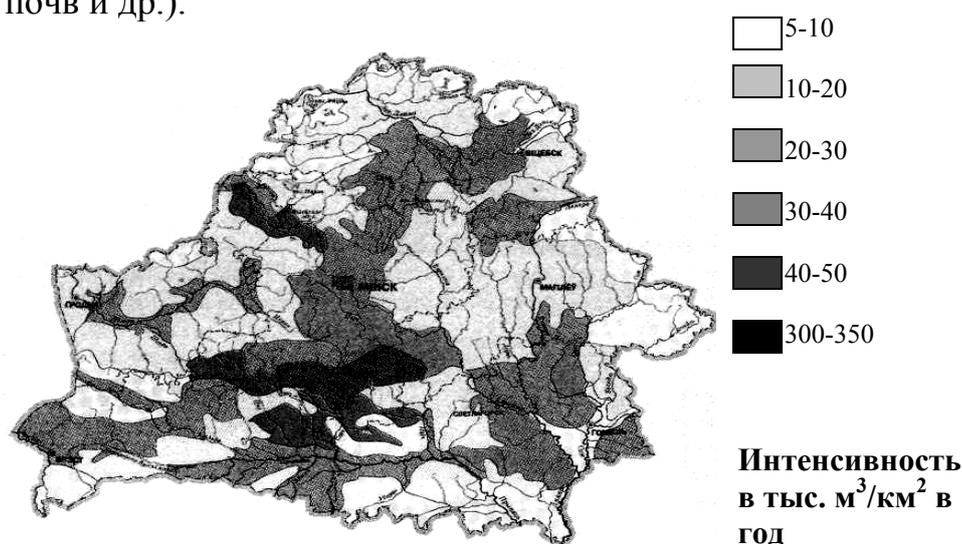


Рис. 3. Техногенная трансформация земель Беларуси

Земля является незаменимым природным ресурсом, от разумного использования которого зависит устойчивое социально-экономическое развитие страны и состояние окружающей среды. Поэтому в Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды на 2006 – 2010 гг. включены следующие приоритетные направления деятельности в области охраны и использования земель и почв:

- создание системы стимулирующих экономических механизмов по эффективному использованию и охране земель;
- обеспечение комплексного подхода к планированию, использованию и охране земель, предусматривающего поддержание экологических функций почв

в ландшафтах и реализацию мер по борьбе с деградацией и загрязнением;

- продолжение мероприятий по оптимизации землепользования с целью формирования устойчивых природно-территориальных комплексов;
- получение достоверной объективной информации о состоянии земель/почв республики на основе широкого использования дистанционных методов, эколого-геохимического картографирования, мониторинга, развития методической и аналитической базы для принятия своевременных и оперативных управленческих решений;
- разработка и реализация приоритетных мероприятий Национальной программы действий по борьбе с деградацией земель с целью повышения координации действующих программ и объединения усилий заинтересованных сторон в обеспечении устойчивого использования и охраны земель/почв;
- получение информации о загрязнении почв в населенных пунктах, эколого-геохимическое картирование состояния городских почв, выявление типовых загрязнителей для основных видов (типов) предприятий республики.

3. Учет и стоимостная оценка земель

В связи с реформированием земельных отношений в стране приведена участковая *кадастровая оценка* земель. Она учитывает технологические характеристики участков, местоположение участков по отношению к внутрихозяйственным производственным центрам, плодородие почвы (рис. 4).

Земельный налог на землю подразделяется на две группы:
– земли сельскохозяйственного назначения;
– земли несельскохозяйственного назначения.

Плата за землю первой группы определяется по формуле

$$Z = n \cdot S, \quad (1)$$

где n – нормативная ставка земельного налога;

S – площадь с/х угодий.

Плата за землю второй группы определяется по формуле

$$Z = n \cdot S \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

где n – нормативная ставка земельного налога;

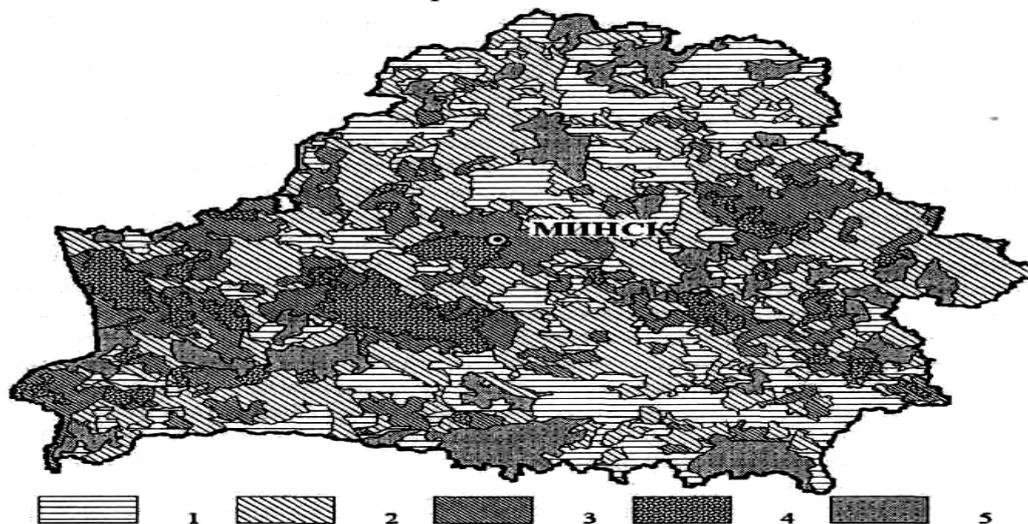
S – площадь;

k_1 – коэффициент повышения ставки налога, учитывающий улучшение социально-культурного потенциала за год;

k_2 – коэффициент повышения ставки налога, учитывающий исторический и экономический статус района.

Кроме земельного налога используются еще две формы платы за землю: арендная плата и нормативная цена земли. *Арендная плата* взимается за земли, сданные в аренду, ее величина устанавливается по договору. *Нормативная цена* рассчитывается с учетом природно-климатических условий видов земель, местоположения и т. п. Для определения цены конкретного земельного участка

территория Беларуси подразделена на три природно-климатические зоны: северную, центральную и южную; каждая из них делится на два округа: западный и восточный, кроме того, выделено 17 типов почв, которые отражают природное состояние земель и общее направление их использования.



Баллы: 1 – до 25,0; 2 – 25,1 – 30,0; 3 – 30,1 – 35,0; 4 – более 35,0; 5 – лес
Рис. 4. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель Беларуси

При оценке земельного участка учитывается его местоположение по отношению к населенным пунктам; коэффициенты дифференцированы по расстоянию (до 10 км, 11–20 км, 21–30 км); административному и социально-экономическому статусу (г. Минск, областные центры города с населением свыше 50 тыс. человек, районные центры). Средняя нормативная цена по стране в 1993 г. была определена в 2,5 млн р. за 1 га. Так, нормативная цена для Минска составляет 51,8 млн р. за 1 га. Стоимость необустроенной земли – 3,8 млн р. за 1 га. Такие же, примерно, земли в Гомеле оценены в 40,03 млн р. Дзержинске – в 21,52 млн р., в Ивье – 13,98 млн р. за 1 га. *Льготная цена* устанавливается в размере пятикратной ставки земельного налога, уплачиваемого за этот участок на момент приобретения его в собственность.

Рентная оценка земель определяется как разница замыкающих и индивидуальных затрат на получение продукции природопользования. В итоге в соответствии с принципами ценообразования цена должна отражать и общественно необходимые затраты труда на производство продукции и эффект добавочной прибыли, т.е. дифференцированную ренту:

$$Ц = R + З, \quad (3)$$

где, R – экономическая оценка на базе дифференцированной ренты;

$З$ – затраты на освоение и воспроизводство ресурса.

Система финансово-экономического стимулирования природоохранной деятельности предприятий предполагает применение прямого налогового контроля за состоянием окружающей среды, а также использование льготных кредитов на проведение природоохранных мероприятий.

4. Методика расчета МДУ пестицидов в растительных продуктах

МДУ веществ, загрязняющих почву (тяжелые металлы, компоненты нефтепродуктов и др.), рассчитывается по формуле:

$$\text{МДУ} = (\text{ДСД} \cdot 0,8 \cdot \text{В}_ч) / \text{СПП}, \quad (4)$$

где МДУ – максимально допустимый уровень накопления веществ в растительных продуктах (ПДК), (мг/кг);

ДСД – допустимая суточная доза (мг/кг массы человека);

0,8 – доля ЭХВ (экзогенно-химических веществ), поступающая в организм человека с пищевым рационом;

$\text{В}_ч$ – масса взрослого человека, (кг);

СПП – рекомендуемое суммарное потребление пищевых продуктов растительного происхождения в сутки для взрослого населения;

$$\text{ДСД} = \text{МНД} / \text{К}_{\text{запаса}} \quad (5)$$

где МНД – максимально недействующая доза (подпороговая доза, установленная в токсикологическом эксперименте).

Задача 1. Определите цену участка земли, если:

- прибыль предприятия составляет – 1 млн р./г.;
- коэффициент эффективности единовременных вложений – 0,5 р./р./г.

Задача 2. Рассчитать максимально допустимый уровень пестицидов в растительных продуктах, используя данные по собственному весу.

Таблица 2

Показатели коэффициента запаса и максимально недействующей дозы

Вариант	$\text{К}_{\text{запаса}}$	МНД, мг/кг
1	30	0,001
2	35	0,01
3	40	0,1
4	45	1,0
5	50	10
6	55	0
7	60	30
8	65	40
9	70	50
10	75	60
11	80	70
12	85	80
13	90	85
14	100	90

Рекомендуемый среднесуточный набор продуктов растительного происхождения для взрослого населения

Продукты	Среднее количество в граммах (нетто)	Продукты	Среднее количество в граммах (нетто)
Хлеб пшеничный	120	Свекла	28
Хлеб ржаной	235	Лук репчатый	19
Мука пшеничная	25	Бахчевые	23
Крахмал картофельный	5	Перец сладкий	5
Макаронные изделия	22	Горошек зеленый	3
Крупы: рисовая	7	Зелень	20
Манная	1	Томат-паста	4
Пшеничная	6	Виноград	17
Гречневая	10	Цитрусовые	5
Овсяная	4	Косточковые	9
Прочие	2	Ягоды	14
Бобовые	4	Яблоки, груши	151
Картофель	324	Прочие	28
Овощи: капуста	68	Шиповник	9
Томаты	57	Сухофрукты	7
Огурцы	37	Сок фруктовый	200
Морковь	40	Масло растительное	24

Литература

1. Богдевич, И. М. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь / И. М. Богдевич – Минск: Минсктиппроект, 2002.
2. Богдевич, И. М., Смян, Н. И., Лапа, В. В. Концентрация повышения плодородия почв Республики Беларусь / И. М. Богдевич, Н. И. Смян, В. В. Лапа – Минск: Минсктиппроект, 2002.
3. Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агросистемах / С. Е. Головатый – Минск: Минсктиппроект, 2002.
4. Глухов, В. В., Некрасова, Т. П. Экономические основы экологии / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова – Санкт-Петербург: Питер, 2003.
5. Зайко, С. М., Вашкевич, Л. Ф., Бачила, С. С. Настоящее и будущее осушенных болот Беларуси / С. М. Зайко, Л. Ф. Вашкевич, С. С. Бачила – Минск: БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 2005.
6. Касьяненко, И. И., Бракович, И. С., Жалейко, Г. А. Актуальные научно-технические разработки белорусских ученых по проблемам природопользования и охраны окружающей среды // Обзорная информация / И. И. Касьяненко, И. С. Бракович, Г. А. Жалейко – Минск: БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 2002.
7. Матесович, А. А., Савастенко, А. А. Природная среда в Республике Беларусь: состояние и проблемы / А. А. Матесович, А. А. Савастенко – Минск: БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ, 1992.
8. Соколов, С. М., Цыганкова, В. Г. Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов / С. М. Соколов, В. Г. Цыганкова – Минск: Технопринт, 2001.
9. Яцухно, В. М., Черныш, А. Ф. Проблема деградации земель Беларуси / В. М. Яцухно, А. Ф. Черныш – Минск: 2003.

Содержание

1. Структура и почвы земельного фонда.....	3
2. Экологические угрозы для земель и почв.....	5
3. Учет и стоимостная оценка земель.....	7
4. Методика расчета МДУ пестицидов в растительных продуктах.....	9
Литература.....	11

Учебное издание

Кирвель Иван Иосифович
Петровская Виктория Ивановна
Цявловская Наталья Владимировна

**ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: ИХ ОЦЕНКА, СОСТОЯНИЕ
И ЗАГРЯЗНЕНИЕ**

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»
для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР

Редактор Е.Н. Батурчик.

Корректор М.В. Тезина.

Компьютерная верстка

Подписано в печать	2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ. л.
Уч. изд. л.		Тираж 250 экз	Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004.

ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.

220013, Минск, П.Бровки, 6

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кафедра экологии

И. И. Кирвель, Н. В. Цявловская

ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ
ОЦЕНКА, СОСТОЯНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОВ
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»

Минск 2007

УДК 502.7(075.8)

ББК 65.28 я73

К 43

Рецензент

Проректор по учебной работе, д. биол. наук, профессор Международного государственного экологического университета им. А. Сахарова К. Ф. Саевич.

Кирвель, И. И.

Лесные ресурсы. Оценка, состояние, экологические проблемы лесов и пути их ре-
К 43 шения: метод. пособие для практич. занятий по дисц «Основы экологии и энерго-
сбережение» для студ. всех спец. и форм обуч. / И. И Кирвель., Н. В Цявловская. –
Минск: БГУИР, 2007. – 21 с.: ил.

ISBN 978-985-488-199-7

Рассмотрены вопросы классификации, распределения, состояния лесов Беларуси на фоне мировых лесных ресурсов, значение лесных ресурсов республики, в том числе в решении энергетической проблемы страны. Даны статистические показатели динамики изменчивости лесных угодий, представлены задания для практических расчетов продуктивности лесов. Издание предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

УДК 502.7(075.8)

ББК 65.28 я73

ISBN 978-985-488-199-7

© Кирвель И. И., Цявловская Н. В., 2007

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

1. ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА

Наиболее важной частью растительного мира является лес. Его общая площадь на Земле 38 млн км². Лес занимает около 7 % поверхности Земли, но вырабатывает 50 % кислорода, получаемого атмосферой от растительного мира. Одно дерево выделяет за сутки столько кислорода, сколько необходимо для дыхания трех человек. Кроме того, деревья осаждают частицы пыли из атмосферы (1 га хвойных деревьев задерживает за год около 40 т пыли, а 1 га лиственных – около 100 т). Ежегодно вырубается 11–12 млн га леса. Особенно активно уменьшается их площадь в долине реки Амазонки, в Африке, на Дальнем Востоке. Характеристиками леса, как ресурса, являются площадь, количество древесины, продуктивность. Особенность леса – его способность к самовосстановлению после пожаров, механических и химических воздействий. Лиственные породы деревьев восстанавливаются быстрее хвойных. Достаточно красноречивое представление о лесах Беларуси на фоне мировых запасов можно получить, анализируя *табл. 1*.

Таблица 1

Общие сведения о лесах Беларуси

Год учета	Площадь лесов, тыс га				Лесистость, %	Запас древесины, м ³	
	Общая	В том числе				Общий	В том числе т.ч.
		Всего лесных земель	Из нее покрыто лесом	Спелых и перестойных			
1973	8 205,1	7 478,5	7 042,8	246,8	33,9	632,60	48,3
1988	8 054,8	7 301,6	7 027,7	217,2	33,9	921,32	46,2
1994	8 676,1	7 775,9	7 371,7	350,1	35,5	1 093,23	74,5
2004	9 247,5	8 275,7	7 851,1	623,0	37,8	1 339,85	129,19

Леса – национальное богатство Беларуси, один из основных природных ресурсов страны, важнейший средообразующий компонент биосферы. Леса Беларуси относятся в основном к хвойным и широколиственно-хвойным (60,2 % лесопокрытой площади). Все леса Беларуси – исключительная собственность государства. Они предоставлены в пользование учреждениям и предприятиям ряда министерств (*табл. 2*).

Распределение лесов Беларуси по органам управления

Министерство, орган	Площадь земель лесного фонда			
	1997 г.		2003 г.	
	тыс. га	% от общей площади	тыс. га	% от общей площади
1. Министерство лесного хозяйства	6 649,1	76,6	7 979,3	86,3
2. Министерство сельского хозяйства и продовольствия	942,7	10,9	-	-
3. Министерство обороны	437,4	5,0	286,7	3,1
4. Управление делами Президента	326,3	3,8	663,8	7,2
5. Министерство по чрезвычайным ситуациям	215,4	2,5	216,2	2,3
6. Местные органы исполнительной власти	43,9	0,5	33,1	0,4
7. Министерство образования	2,5	0,3	27,6	0,3
8. Национальная академия наук Беларуси	36,8	0,4	40,8	0,4
Всего лесов	9 007,0	100	9 247,5	100

Многообразие функций лесов отражено в их распределении на группы и категории защитности. К 1-ой группе относятся леса особо охраняемых природных территорий (заповедников, национальных парков, заказников), а также леса водоохранного, защитного, санитарно-гигиенического и оздоровительного назначения. Остальные леса, предназначенные преимущественно для выращивания и промышленной заготовки древесины, относятся ко 2-й группе (рис. 1).

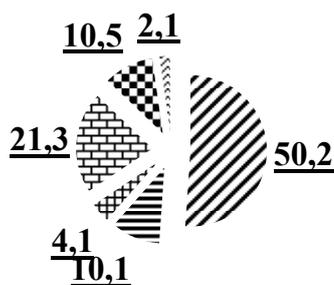


Рис. 1. Распределение земель лесного фонда по группам и категориям защитности

В составе обеих групп лесов выделяются особо защитные участки с ограниченным лесопользованием, на долю которых приходится около 10 % покрытых лесом земель. К особо защитным участкам относятся опушки леса по гра-

ницам с безлесными пространствами, берегозащитные полосы, полосы вдоль рек, заселенных бобрами, 100-метровые полосы вдоль шоссе и железных дорог, места обитания редких птиц, зверей и произрастания редких растений и др. Лесистость территории республики достигла 37,8 % и близка к оптимальной. В течение всего послевоенного периода лесистость устойчиво росла. На 1.01.2001 общая площадь земель лесного фонда Республики Беларусь составила 9 247,5 тыс. га (44,5 % территории страны), из которых покрыто лесом 7 851,1 тыс. га. К категории лесных земель относилось 8 275,7 тыс. га. На 1.01.2003 площадь лесных земель уже достигла 8 677,1 тыс. га. К 2015 году планируется довести лесистость территории до 40 %, а к 2020 году реально ее увеличение до 41,5 %.

Однако распределение лесов по территории страны неравномерно. Лесистость отдельных административных районов варьирует от 10,1 % (Несвижский р-н) до 65,9 % (Лельчицкий р-н). В отдельных районах имело место сокращение лесистости, обусловленное крупными ураганами (Столбцовский, Несвижский, Клецкий, Копыльский районы) и массовым усыханием ельников (юго-восток Витебской области, Лидский, Слонимский, Молодечненский и другие районы). Это определяет необходимость дальнейшего увеличения площади лесов, прежде всего в малолесных районах. Помимо сосны, ели, дуба, ольхи черной и серой, берез бородавчатой и пушистой, осины и ясеня, в лесах встречаются вяз шершавый, вяз гладкий, граб обыкновенный, клен остролистный, липа мелколистная, другие древесные породы, – всего 28 аборигенных видов. Распределение общей площади лесов Беларуси по преобладающим породам приведено *на рис. 2*. Кустарники занимают 2,3 % площади земель гослесфонда. Общий запас древесины в лесах Беларуси достигает 1,34 млрд м³, средний возраст древостоев – 48 лет, средний запас на 1 га – 175 м³, средний бонитет – 1,9, полнота – 0,71. Общее среднее изменение запаса (прирост) лесов страны – около 28 млн м³ в год.



сосна
 ель
 дуб, ясень
 береза
 ольха
 осина

Рис. 2. Распределение общей площади лесов по преобладающим породам

Покрытая лесом площадь распределяется по возрастным категориям следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Средние таксационные показатели лесов

Показатель	Годы					
	1973	1988	1994	1998	1999	2004
Средний возраст, лет	36	39	45	47	47	48
Средний бонитет, м	11	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7
Средняя полнота	0,70	0,71	0,69	0,7	0,7	0,7
Общий прирост, млн м ³	16,06	21,68	20,71	21,66	21,72	23,41
Прирост покрытой лесом площади, га/м ²	3,0	3,6	3,5	3,7	3,7	3,6
Запас покрытой лесом площади, га/м ³	99	134	159	175	175	173
Запас спелых насаждений на 1 га/м ³	183	200	208	221	222	217

Особое внимание в Беларуси уделяется энергетическому потенциалу страны и т.к. древесина является хотя и не основным, но стабильным источником получения тепловой энергии, рассмотрим энергетические характеристики лесных ресурсов. Как видно из табл. 4, за счет собственных ресурсов покрывается приблизительно 15 % потребностей в энергии. Основной характеристикой топлива является количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы топлива. Горючими компонентами топлива являются углерод, водород и сера. Чем выше содержание углерода в топливе, тем больше выделяется теплоты. Кислород, как и остальные элементы, содержится в виде сложных ор-

ганических соединений, и чем больше кислорода (особенно в древесине), тем больше доля углерода топлива.

Таблица 4

Местные топлива

Вид топлива	Природные запасы, млн т	Q, кДж/кг	Примечание (влажность, зональность)
Торф	1 350	8,1	W=35–40%
Древесина	15,4·10 ⁶	12,5	–
Нефть	362,1	44,9	–
Горючие сланцы	11 000	4,2–6,7	A=66–87%
Бурый уголь	1 350	19,3–21,3	W=47–62%
Твердые бытовые отходы	–	3,3–8,4	–
Лигнин	4	4,2–6,7	W=60–71%

С увеличением возраста древесины доля кислорода уменьшается до 45 % в горючем состоянии. При сжигании древесины без доступа воздуха выделяются летучие вещества в виде газов, смоляных и водяных паров. Их количество составляет 85 – 90 %. Представленные в *табл. 5* данные характеризуют связь состава топлива с теплотой сгорания.

Таблица 5

Состав и теплота сгорания топлива

Вид топлива	Состав топлива							Q, МДж/кг
	C	H	N	O	S	A	W	
Торф	25–60	2,6–6	1,1–3,0	15–40	–	6–50	0–95	8,1
Бурый уголь	55–60	4–6,5	–	15–30	–	9–50	35–62	19,3–21
Антрацит	94–97	1–3	1,0	3,0	3,0	–	–	34,3
Древесина	48–52	6–7	0,1–0,6	43–45	–	–	60–100	12,5
Нефть	82–87	11–14	0,7–1,8	0,7–1,8	0,1–5,5	0,3	0,4	44,9
Мазут	87,5	10,7	0,7	0,7	0,6	0,3	0,2–4,0	40,3–41,3

Общая тенденция современной динамики лесного фонда определяется позитивным процессом передачи или возврата земель в его состав. В частности, это относится к землям, переданным в прошлом под карьеры и торфо-разработки (*табл. 6*).

Прием и передача земель лесного фонда для разработки нерудных ископаемых, га

Территория	Передано из лесного фонда	Выработано	Возвращено в лесной фонд	Облесено
Торфоразработки	93 526	67 081	75 542	44 417
Карьеры	9 580	7 218	7 230	5 998

Доля лесного сектора экономики во внутреннем валовом продукте относительно невелика (4,5 %), однако значение лесов значительно шире, чем только производство сырья для промышленности и топлива. Огромна средообразующая и защитная роль лесов: это 35 млн т кислорода в год, очищение воздушного бассейна от пыли и вредных примесей, включая парниковые газы, регулирование водности болот и стока рек, сохранение биоразнообразия, защитные и рекреационные функции и т.д. Первые годы нового тысячелетия отмечены значительным ростом объемов создания новых лесов (табл. 7). Только на принятых от сельскохозяйственных предприятий низкобонитетных и загрязненных радионуклидами землях за 5 лет создано 83,4 тыс. га новых насаждений.

Динамика объемов лесовосстановления и лесоразведения, м³

Область	Годы				
	1995	1998	1999	2000	2004
Брестская	2 824	4 132	4 148	4 028	4 827
Витебская	4 304	4 703	5 456	6 178	7 255
Гомельская	5 397	6 229	8 474	9 515	12 700
Гродненская	1 915	3 894	3 520	3 677	4 963
Минская	5 895	6 882	6 964	8 683	8 443
Могилевская	2 220	3 260	3 809	6 057	5 021
Итого по республике	22 555	29 100	32 371	38 138	43 209

Объем использования лесов за пятилетие 2000 – 2004 гг. возрос на 41,5 % и достиг уровня 15,2 млн м³ ликвидной древесины. Это на 63,4 % выше, чем в 1995 г. Рост лесозаготовок достигнут главным образом за счет увеличения объемов прочих рубок, основную часть которых составили сплошные санитарные

рубки усыхающих ельников. Объемы рубок ухода и главного пользования также возросли относительно уровня 1995 г., но этот рост не столь значителен: на 15,4 и 11,4 % соответственно. Среднегодовой объем пользования в последние годы возрос до 1,5 – 1,9 м³ древесины с 1 га покрытой лесом площади. Но при среднем приросте 3,6 м³/га в год и текущем 5,1 м³/га интенсивность лесопользования остается низкой по сравнению с большинством стран Европы. Это ведет к интенсивному накоплению древесины в лесах, создает благоприятные экологические условия и хорошие ресурсные перспективы. В 2004 г. заготовки живицы и березового сока снизились, подсочка сосны осуществлялась на площади 33,7 тыс. га из 102 тыс. га возможных и подсочка березы – на площади 722 га. Было заготовлено 7 504 т живицы и 3 835 т березового сока. Поскольку подсочка наносит неизбежный ущерб древостоям и снижает товарные качества древесины, то сокращение объемов подсочки нельзя оценивать однозначно отрицательно.

2. СОСТОЯНИЕ ЛЕСОВ

Динамику состояния лесов на территории Беларуси в первое пятилетие 21-го столетия приходится характеризовать как неустойчивую и тревожную. Растут масштабы гибели древостоев, хотя лесное хозяйство и предпринимает все возможные меры для борьбы с вредителями и болезнями леса, пожарами (рис. 3).

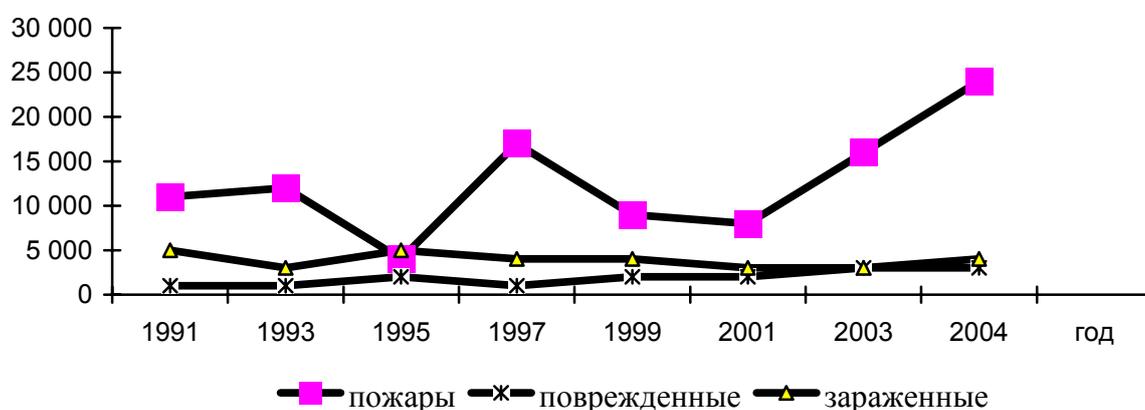


Рис. 3 Динамика площади пораженных лесов, га

Результаты лесопатологического мониторинга свидетельствуют о сокращении в 2004 г. ущерба от вредителей и болезней леса. Общая площадь их очагов снизилась на 51,3 тыс. га и составила 198,7 тыс. га, что на 20,5 % ниже уровня 2003 г. Но, если площади очагов заболеваний леса сократились всего на 1,1 %, то масштабы размножения насекомых-вредителей леса сократились почти вдвое. Череда летних засух в 1990-х и начале 2000-х гг., которые сочетались с малоснежными, но нередко морозными зимами, привела к заметному ослаблению древостоев. Данные о площади расстроенных насаждений и очагов стволовых вредителей представлены в *табл. 8*.

Таблица 8

Динамика очагов вредителей в лесах Беларуси в 2004 г., га

Область	Общая площадь	Возникло вновь	Ликвидировано мерами борьбы	Всего очагов	
				всего	Требующих мер борьбы
Брестская	778	389	362	27	27
Витебская	915	3 067	3 734	248	242
Гомельская	154	1 306	1 342	118	118
Гродненская	474	2 780	3 116	138	138
Минская	420	2 443	2 780	83	83
Могилевская	1 144	5 915	6 311	748	748
Всего по Минлесхозу	3 885	15 900	17 645	1 362	1 356
Всего за 2004 г.	1 411	24 280	22 584	3 107	2 932

Сосна. Хотя в целом состояние сосновых лесов, формирующих основу лесного растительного покрова Беларуси, остается удовлетворительным, в отдельных регионах республики древостои сосны ослаблены. В 2004 г. к категории поврежденных с дефолиацией крон свыше 25 % отнесено 8,0 % сосен.

Ель в последнее десятилетие является наиболее проблемной древесной породой в лесах Беларуси. Дает о себе знать и господствовавшая в прошлом практика создания однопородных и одновозрастных ельников, не отличающихся устойчивостью к негативным влияниям природы. Состояние ельников в начале 2000-х гг. продолжало ухудшаться. Получила развитие тенденция роста числа погибших деревьев, особенно среди елей старше 60 лет.

Дуб. Не вполне удовлетворительное состояние популяций дуба значительно ухудшилось в 2003 г. Доля усохших учетных деревьев в 2-3 раза превышает норму (2,5 % в 2003 г. и 2,4 % в 2004 г.). Деревья с сильной степенью дефолиации крон составили 6,8 % в 2003 г. и 5,0 % — в 2004 г., со средней дефолиацией — 23,5% и 25,7%, соответственно.

Ясень. В северной части республики состояние ясеня в последние годы резко ухудшилось. В Полесском регионе доля усохших и ослабленных учетных деревьев ясеня невелика. В Гомельской и Брестской областях состояние ясеня хотя и ухудшилось, но остается стабильным, в Витебской области – крайне неблагоприятное, в Минской и Гродненской областях – весьма тревожное.

Береза. Состояние этой породы, ухудшившееся, особенно на севере страны, в 2004 г. улучшилось. Очаги болезни на общей площади 1 288 га выявлены в 20 лесхозах страны: в Брестской области (на 561 га), Витебской и Минской (по 8 га), Гродненской (14 га), Гомельской (423 га) и Могилевской области (275 га).

Ольха черная. Состояние ольхи черной в начале 2000-х гг. стабилизировалось. В 2004 г. 95,8 % деревьев имели незначительную и слабую степень дефолиации, 37 % – среднюю или сильную и всего 0,5 % деревьев усохли.

Осина. Состояние популяций этой породы в целом стабильное. В 2004 г. доля усохших деревьев, как и особей с сильной дефолиацией, – около 1,0 %.

3. СОСТОЯНИЕ ЛЕСОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРАХ

Регулярные наблюдения за состоянием лесов в промышленных центрах, а также в Минске и Новополоцке позволяют оценить общее состояние древостоев лесов и лесопарков этих городов и их ближайших окрестностей как удовлетворительное. Пока общее состояние лесов и лесопарков Минска не вызывает особого беспокойства. Подавляющее большинство насаждений относится к группе здоровых с признаками ослабления (75,5 % в городе и 71,7 % в пригородной

зоне). Количество ослабленных древостоев находится в пределах 20 – 25 %. Но в 2002 – 2004 гг. проявилась негативная тенденция к ухудшению их состояния, что связано с увеличением численности транспортных средств. Наиболее благополучны участки городских лесов в микрорайонах Сухарево и Степянка. Наоборот, повышенной дефолиацией древостоев характеризуются Центральный ботанический сад, парк Челюскинцев, микрорайон Дrajня. За пределами Минска лучше состояние насаждений к востоку, северо-западу и западу от города, а участки леса с повышенной дефолиацией деревьев выявлены к юго-западу и югу. В 2002 г. завершена реконструкция Минской кольцевой автодороги (МКАД); ее пропускная способность достигла 6 000 автомобилей в час, что существенно повысило уровень загрязнения придорожной полосы. По результатам исследований ареал повышенных концентраций загрязнителей (тяжелых металлов, хлоридов в снежном покрове и компонентах лесных фитоценозов) распространяется до 300 м от МКАД. Особую тревогу вызывают опушки вдоль МКАД. Состояние деревьев лучше в местах, где кроны подняты намного выше полотна дороги. Таким образом, расширение МКАД привело к повышению уровня техногенного загрязнения.

4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Лесное хозяйство уже к 2010 г. будет в состоянии не только полностью обеспечить внутренние потребности в древесине и других продуктах леса, но и поставлять на внешний рынок в виде продукции от 25 до 30 млн м³ древесины. Стратегическими целями лесного хозяйства в части решения экологических проблем являются: обеспечение стабильного функционирования лесных экосистем, сохранение биологического и генетического разнообразия лесов, повышение эколого-экономического потенциала лесного сектора экономики, устойчивое использование многообразных древесных и недревесных лесных ресур-

сов, усиление роли леса в сохранении биосферы. Это предполагает реализацию следующих основных задач:

разработка и реализация мер по сохранению и устойчивому использованию биологических и генетических ресурсов лесов Беларуси;

инвентаризация, сбережение и сохранение всех особо ценных лесных комплексов, характерных для Беларуси и уникальных для Европы, в том числе особо охраняемых природных территорий;

сохранение лесных генетических ресурсов in-situ путем организации лесных генетических резерватов на основе прямой оценки генетического разнообразия;

сохранение генофонда лесных популяций и видов ex-situ путем создания географических культур плюсовых деревьев, архивов клонов и коллекций форм определенных видов в ботанических садах и дендрариях.

Экологизация хозяйственной деятельности — ключевой элемент рационального лесопользования и устойчивого развития лесного хозяйства Беларуси. Анализ сложившейся системы управления лесными ресурсами и ведения лесного хозяйства Беларуси показывает целесообразность внесения определенных корректив в механизм управления и практику лесохозяйственной деятельности. Для этого необходимо:

внедрить в практику лесоустройства и лесного хозяйства систему проектирования и ведения деятельности на принципах ландшафтного планирования, создания и поддержания экологического каркаса лесных территорий, обеспечивающих сохранение биоразнообразия;

оптимизировать системы рубок леса, формировать разновозрастные насаждения, смешанные по составу и сложные по форме, при производстве рубок ухода, обновления, переформирования и главного пользования;

сохранять при рубках отдельные крупные деревья, часть сухостоя и валяжника, деревья с дуплами и гнездовьями, важные для поддержания биораз-

нообразия, а также старые деревья и насаждения, являющиеся источником получения семян повышенной генетической ценности;

отдавать предпочтение способам лесовосстановления, обеспечивающим формирование устойчивых и производительных насаждений, стимулировать естественные способы лесовосстановления путем расширения практики несплошных рубок леса и содействия естественному возобновлению;

развивать систему мероприятий, сохраняющих недревесные ресурсы и экологические функции леса, обеспечивая тем самым многофункциональное лесопользование;

разработать систему эффективного ведения хозяйства, охраны и защиты лесов на избыточно увлажненных и мелиорированных лесных землях на основе интенсификации лесохозяйственной деятельности, применения несплошных рубок, содействия естественному возобновлению и лесовосстановлению, противопожарных мероприятий, провести оптимизацию гидролесомелиоративных систем;

развивать систему многоцелевого лесного мониторинга, осуществить разработку комплексной ЭГИС-технологии, интегрирующей результаты учета лесного фонда, лесного мониторинга и оперативной космической съемки.

Особое место занимают экологические проблемы лесов, загрязненных радионуклидами. На 2005 г. 1 752,2 тыс. га земель лесного фонда (21,8 % общей площади) оставались загрязненными радионуклидами. Основными направлениями деятельности по минимизации последствий загрязнения радионуклидами лесных земель являются:

разработка технологических регламентов по лесовосстановлению и лесоразведению на загрязненных радионуклидами землях;

совершенствование системы оперативного обнаружения, оповещения и способов тушения лесных пожаров;

обеспечение радиационной безопасности работников лесного хозяйства и населения при посещении лесов и пользовании лесной продукцией;

радиационный контроль лесной продукции на всех этапах ее производства и реализации.

Сертификация лесов, принципы которой провозглашены Лесным попечительским советом (*Forest Stewardship Council – FSC*) и развиты в Пан-Европейской системе лесной сертификации (*Pan-European Forest Certification – PEFC*), стала мощным инструментом экологизации лесного сектора мировой экономики. В Республике Беларусь разработаны и внедрены государственные стандарты устойчивого лесопользования и лесопользования, нормативные документы, регламентирующие функционирование Национальной системы лесной сертификации.

5. СЛОВАРЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕРМИНОВ

Антропогенное загрязнение – загрязнение, возникающее в результате хозяйственной деятельности людей.

Бонитет леса – показатель продуктивности леса, зависящий от природных условий и от воздействия человека на лес. За основной показатель продуктивности насаждений принята средняя высота насаждений определенного возраста.

Дефолиация – повреждение деревьев вредителями, климатическими факторами, пожарами, механическими факторами.

Мониторинг окружающей среды – наблюдение за состоянием окружающей среды и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для человека.

Плата за загрязнение среды – денежное возмещение предприятиями социально-экономического ущерба от загрязнения среды, наносимого хозяйству и здоровью людей.

Полнота насаждений – степень сомкнутости крон деревьев в лесу. Если между кронами нет просветов, то полнота насаждений принимается равной 1,0.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – нормативное количество вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека.

Санитарно-защитная зона – полоса, отделяющая промышленное предприятие или загрязненный участок от населенного пункта.

Экологические требования – обязательные требования, установленные в законодательных и нормативных документах.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Задача 1. Рассчитать потери продуктивности леса, используя данные табл.9 и рис. 3.

Таблица 9

Эффективность лесных ресурсов

Показатель величины эффекта	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Пылезащитная оценка леса, р/га, год, $\times 10^3$	10	11	10,5	9,5	9	9,8	10,1	10,9
Ежегодная стоимость продукции, р/га, год, $\times 10^3$	1 245	1 246	1 247	1 248	1 249	1 244	1 243	1 242
Производительность труда, р/га, год, $\times 10^3$	14	13	12	11	15	16	10	17
Объем прироста древесины, $\text{м}^3/\text{га}$, $\times 10^3$	4	5	6	7	8	3	9	4,5
Себестоимость древесины, р/ м^3	7	7	7	7	7	7	7	7
Площадь пораженной территории, по годам тыс./га (по рис. 3)	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2004

$$П_{пр} = Э_{л} \cdot S, \quad (1)$$

где $П_{пр}$ – потери продуктивности леса,
 $Э_{л}$ – эффективность лесных ресурсов,
 S – площадь лесных ресурсов, подвергшихся загрязнению.

$$Э_{л} = Э_{пз} + C_{пр} + K_{у} + K_{пд}, \quad (2)$$

где $Э_{пз}$ – величина эффекта от пылезадерживающей способности леса,
 $C_{пр}$ – величина стоимости ежегодно получаемой продукции леса,
 $K_{у}$ – коэффициент увеличения производительности труда от рекреационных ресурсов,
 $K_{пд}$ – коэффициент прироста древесины.

$$K_{пд} = V \cdot C, \quad (3)$$

где V – объем прироста древесины,
 C – себестоимость единицы объема древесины.

Задача 2. Определить затраты на воспроизводство кислорода для сжигания 1 т органического топлива, используя данные *табл. 10*.

$$Z = k/m [(Ц_1 + Ц_2) \cdot (1 + \alpha) + y \cdot \gamma - Э_{л} \cdot \text{£}], \quad (4)$$

где k – расход кислорода для полного сгорания 1 т топлива,
 m – количество кислорода, выделяемого 1 га леса в атмосферу,
 $Ц_1$ – затраты на посадку 1 га леса,
 $Ц_2$ – затраты на освоение 1 га новых земель,
 α – плата за кредиты на выполнение мероприятий по лесопосадкам,
 y – потери от снижения урожайности вновь освоенных земель взамен отпущенных под лесопосадки,
 γ – коэффициент, учитывающий затраты для получения дополнительной продукции,

$\mathcal{E}_л$ – эффект, полученный от 1 га леса,

\mathcal{E} – относительный коэффициент ценности лесных угодий по сравнению с сельскохозяйственными,

$m = \frac{1}{2}$ от общего количества кислорода, выделяемого зелеными насаждениями.

Таблица 10

Данные для расчетов

Показатель	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Кол-во выделенного кислорода, т/год	7,0	10,0	5,5	7,6	4,5	6,4	3,6	5,2
Затраты на лесопосадки, р/га, $\times 10^3$	350	400	100	150	200	300	175	375
Эффективность леса, р/га, год	Данные расчета из задачи 1							
Расход Q_2 при сжигании, т	1,55	1,53	1,47	1,50	1,51	1,56	1,52	1,58
Затраты на освоение, р, $\times 10^6$	2	1,5	1,7	2,2	2,5	2,57	2,6	2,22
Плата за кредит, р	23,5	31,5	29,7	28,1	35	20	25	30
Потери урожайности, р, $\times 10^5$	4,3	5,1	6,0	5,5	5,3	4,5	5,0	4,8
Затраты на воспроизводство с/х продукции, р	2,9	2,75	0,5	2,0	1,1	2,1	3,0	1,7
Коэффициент ценности древесины	2	1	1,5	2	1,5	1	2,5	2,5
Дополнительные затраты на воспроизводство кислорода, р, $\times 10^3$	30	31	32	33	34	35	36	37

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается экологическое и экономическое значение лесов?
2. Какова роль лесов в миграции химических элементов и круговороте веществ?
3. Чем обусловлено естественное и искусственное сокращение площади лесов и их продуктивности?
4. Каковы основные причины отчуждения значительных территорий лесных угодий?
5. В чем заключаются охрана и защита лесов и роль национальных парков, заказников, заповедников, памятников природы?
6. Каковы сущность и цели системы многоцелевого лесного мониторинга?
7. Каковы система распределения лесов Беларуси по органам управления, причины и следствия данной классификации?
8. В чем состоит многообразие функции леса (групп и категорий защитности)?
9. Каково территориальное распределение лесов Беларуси? Какова статистика изменения лесистости и возрастного состава лесов?
10. Каково распределение общей площади лесов по преобладающим породам (на примере Беларуси)?
11. В чем заключается хозяйственное использование территории лесов и собственно древостоя леса?
12. Определите оценку и динамику состояния лесов на территории Беларуси в первое пятилетие 21-го столетия.
13. Каково состояние лесов в промышленных центрах? Назовите зону «тревожного состояния» лесов.
14. Что такое радионуклидное загрязнение лесов?
15. Назовите экологические проблемы лесов и пути их решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, В. А. Световой режим леса / В. А. Алексеев – Л.: Санкт-Петербургский университет, 1975.
2. Белый, О. А. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Беларусь / О. А. Белый, А. А. Савастенко – Минск: «Экология», 2005.
3. Воробьев, Д. В. Типы лесов европейской части СССР / Д. В. Воробьев – Киев, 1953.
4. Глухов, В. В., Экономические основы экологии / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова – СПб.: 2003.
5. Логинов, В. Ф. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень / В. Ф. Логинов – Минск: 2005.
6. Логинов, В. Ф. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / В. Ф. Логинов – Минск: 2004.
7. Морозов, Г. Ф. Учение о лесе / Г. Ф. Морозов – М., 1928.
8. Норин, Б. Н. Основы лесной биогеоценологии / Б. Н. Норин – М., 1964.
9. Саевич, К. Ф. Рациональное использование лесных ресурсов / К. Ф. Саевич – Минск: 1990.
10. Саевич, К. Ф. Мониторинг лесных экосистем / К. Ф. Саевич – Минск: 1992.
11. Саевич, К. Ф. Охрана возобновляемых ресурсов / К. Ф. Саевич – Минск: 1992.
12. Саевич, К. Ф. Локальный мониторинг окружающей среды / К. Ф. Саевич – Минск: 2004.
13. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер – М., 1980.
14. Фукарек, Ф. Растительный мир Земли / Ф. Фукарек, Г. Мюллер, Р. Шустер – М.: 1982.
15. Ясовеев, М. Г., Гледко Ю.А., Антипин Е.Б., Кирвель И.И., Шершнева О.В. Экология рационального природопользования / М. Г. Ясовеев [и др.] – Минск: 2005.
16. Шимова, О. С. Управление природопользованием и природоохранной деятельностью: учеб. пособие / О. С. Шимова, А. М. Кабушко – Минск: 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лесные ресурсы, их классификация и оценка.....	3
2. Состояние лесов.....	9
3. Состояние лесов в промышленных центрах.....	11
4. Экологические проблемы лесов и пути их решения.....	12
5. Словарь используемых терминов.....	15
6. Практические задания.....	16
7. Контрольные вопросы.....	19
Литература.....	20

Учебное издание

Кирвель Иван Иосифович
Цявловская Наталья Владимировна

ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ
ОЦЕНКА, СОСТОЯНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОВ И ПУТИ ИХ
РЕШЕНИЯ

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»
для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР

Редактор С.Б. Саченко
Корректор
Компьютерная верстка

Подписано в печать	2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ.л.
Уч.-изд.л. 1,1.		Тираж 250 экз.	Заказ № 255.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кафедра экологии

И. И. Кирвель, В. И. Петровская, Н. В. Цявловская

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»

Минск 2007

УДК 621.311.16 (075.8)

ББК 31.15 я73

К 43

Рецензент

заведующий кафедрой геоэкологии БГУ, доктор географических наук, профессор – А. Н. Витченко

Кирвель, И. И.

Экологические проблемы использования энергоресурсов: метод. пособие для практич. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережение» / И. И. Кирвель, В. И. Петровская, Н. В. Цявловская. – Минск: БГУИР, 2007. – 21 с.

ISBN

Рассмотрены вопросы потенциала энергоресурсов, их классификация, эффективность К 43 и значение в решении энергетической проблемы страны, даны статистические показатели исчерпаемости и возобновляемости ресурсов. Представлены возможные пути развития энергетики в Беларуси, а также предложены методики практических расчетов по энергосберегающим технологиям. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и всех форм обучения БГУИР.

УДК 621.311.16 (075.8)

ББК 31.15 я73

ISBN 985-488-062-1

© Кирвель И. И., Петровская В. И.,
Цявловская Н. В., 2007

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Энергетические ресурсы – это любые источники механической, химической и физической энергии. Запасы топлива в земных недрах складываются из угля, нефти, газа и урановых руд. Мировой запас угля оценивается в 9 – 11 трлн т при добыче более 4,2 млрд/г. Мировой запас нефти – 840 млрд т условного топлива, природного газа – 300 – 500 трлн м³, урана – 135 тыс.т. В расчете на 1 человека потребление энергии за период 1990 – 2000гг. увеличилось в 5 раз и будет расти и дальше. Объекты, производящие энергию, являются источниками вредных выбросов в окружающую среду. В процессе горения топлива выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Их характеристика дана в табл. 1.

Таблица 1

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Наименование	Характеристика
Диоксид серы (SO_2)	Оказывает воздействие на окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для получения ряда химикатов и для консервирования фруктов.
Оксиды азота (NO_2)	Оказывают вредное воздействие на здоровье человека и способствуют образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что отрицательно воздействует на здоровье человека. Оксиды азота вызывают «вымирание лесов», «кислотные дожди».
Монооксид углерода (CO)	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ). В то же время является высококалорийным топливом в процессе газификации угля.
Углекислый газ (CO_2)	Образование CO_2 – необходимое условие процесса горения (при производстве энергии). Однако экологические законы ограничивают уровень выбросов CO_2 . Углекислый газ способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности.
Твердые частицы	Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Являются источником выбросов в атмосферу радионуклидов при сжигании древесины из загрязненной зоны.

Воздействие на окружающую среду оказывают также и другие газы, поступающие в атмосферу: пар, метан, хладагенты. Для лучшего понимания механизма отрицательного воздействия выбрасываемых в атмосферу вредных веществ рассмотрим ее строение [6]. Атмосфера включает четыре области по высоте:

- тропосферу – от 0 до 10+12 км с падением температуры до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давления до 41,0 мм рт.ст.;
- стратосферу – от 10+12 до 50+55 км с ростом температуры до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и падением давления до 8,9 мм рт.ст. в средней стратосфере и до 0,63 мм рт.ст. в верхней;
- мезосферу — от 50+55 до 80+90 км с падением температуры до $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давления до 0,04 мм рт.ст.;
- термосферу, простирающуюся от 80+90 км до 200 – 300 км с непрерывным повышением температуры до сотен градусов.

Каждая зона атмосферы завершается областью постоянной температуры, тропопаузой, стратопаузой и мезопаузой. Фазы накапливаются в верхних слоях тропосферы и стратосферы, препятствуют выходу теплового инфракрасного излучения с поверхности Земли, нагретой Солнцем. Атмосфера и поверхность Земли нагреваются, пока уходящие потоки энергии не уравниваются с приходящими. Это явление представляет собой парниковый эффект, который сопровождается нагревом тропосферы и охлаждением стратосферы.

В средней атмосфере присутствует озоновый слой. Молекулы озона поглощают солнечное излучение с длиной волн короче 290 нм и инфракрасное излучение с поверхности Земли с длиной 9 – 10 мкм, усиливая «парниковый эффект». Таким образом, озоновый слой участвует в обеспечении безопасного уровня ультрафиолетовой радиации и поддерживает устойчивый климат на Земле.

В тропосфере и стратосфере озон оказывает воздействие на химические процессы с участием антропогенных примесей, контролируя их содержание. Эти процессы обеспечивают оптимальные условия существования флоры и фауны. Выбросы в атмосферу хлорсодержащих газов и окислов азота приводят к истощению и разрушению озонового слоя, что ведет к увеличению поступающего на Землю биологически вредного солнечного ультрафиолетового излучения [3]. Наиболее эффективным способом снижения вредных выбросов и атмосфере является уменьшение использования топлива, которое может быть достигнуто за счет рационального и экономного использования энергии.

Таким образом, энергосбережение способствует улучшению экологии окружающей среды. Этот фактор важен для Беларуси, где основным источником энергии являются топливоиспользующие установки. Рассмотрим, какими путями может быть достигнуто снижение потребления топлива. Например, использование контактных утилизационных теплообменных аппаратов позволяет не только утилизировать отходящее тепло, но и очищать газы. Утилизация тепловых энергетических отходов непосредственно связана с экологическими мероприятиями, так как за счет этого достигается снижение вредных выбросов, пропорциональное сэкономленному топливу. Особенно наглядной и ощутимой является организация оптимальных топочных процессов и утилизация сбросного тепла в промышленных печах, котельных установках и на других объектах электроэнергетики. Рассмотрим некоторые аспекты данного направления.

В настоящее время 90 % потребляемого топлива в энергетике Беларуси покрываются за счет поставок российского природного газа, цена на который

существенно возросла. В 2006 г. на Белорусском газоперерабатывающем заводе (БГПЗ) Республиканского унитарного предприятия «Производственное объединение «Беларуснефть»» официально введена в эксплуатацию когенерационная ТЭЦ на попутном газе (когенерация – комбинированное производство тепловой и электрической энергии), генеральным подрядчиком и системным интегратором пусконаладки которой был Институт информационных технологий БГУИР. Строительство подобных энерготехнологических ТЭЦ и комплексов является одним из актуальнейших для Республики Беларусь направлений обеспечения энергетической безопасности, экономии топливно-энергетических ресурсов и повышения экономической эффективности предприятий. При этом на выработку электрической энергии расходуется условного топлива 140 – 180 граммов на киловатт-час, почти в два раза ниже, чем на вырабатываемой только электроэнергию конденсационной электростанции традиционной большой энергетики. Так, на Лукомльской ГРЭС – одной из лучших в мире конденсационных электростанций – удельный расход условного топлива составляет 320 г/кВт·ч, на Минской ТЭЦ 4, одной из наиболее эффективной в Европе теплофикационной ТЭЦ, обеспечивающей помимо выработки электроэнергии теплоснабжение нашего города – 212 г/кВт·ч. Первая из построенных в нашей республике на Белорусском цементном заводе когенерационная энерготехнологическая установка мощностью 16 МВт экономит 23 тысячи условного топлива (т.у.т.) в год, ТЭЦ на попутном газе будет экономить более 30 т.у.т. Срок окупаемости энерготехнологических комплексов на базе газопоршневых и газотурбинных агрегатов составляет 1 – 3 года, традиционных паротурбинных энергоблоков большой энергетики – 8 – 12 лет.

Без традиционной большой энергетики на базе мощных паровых турбоагрегатов невозможно обеспечить все потребности электроэнергии нашей республики. Однако, по оценкам специалистов, на белорусских предприятиях могут быть введены в эксплуатацию тысячи эффективнейших энерготехнологических установок и комплексов мощностью от 100 кВт до 100 мВт с суммарной электрической мощностью, превышающей 40 действующих мощностей энергосистемы Беларуси. Это задача и встает перед вами и решать ее вам.

Исследования показывают [7], что комбинированное производство электрической энергии и тепла на ТЭЦ является самым важным направлением в снижении выбросов CO_2 . При этом снижение выбросов CO_2 составляет 500 кг/МВт·ч при производстве 1 МВт·ч электроэнергии по комбинированному циклу в сравнении с отдельным производством электрической и тепловой энергии на ТЭС и в котельных. Кроме диоксида углерода уменьшается количество выбросов SO_2 и NO_x (рис. 1). Использование оптимального состава топливовоздушной смеси позволяет достичь максимально возможной температуры горения, что снижает потребление топлива. При увеличении коэффициента избытка воздуха до 2 температура горения уменьшается на 40 %. Кроме того, при избытке воздуха дополнительное потребление топлива возрастает до 25 %.

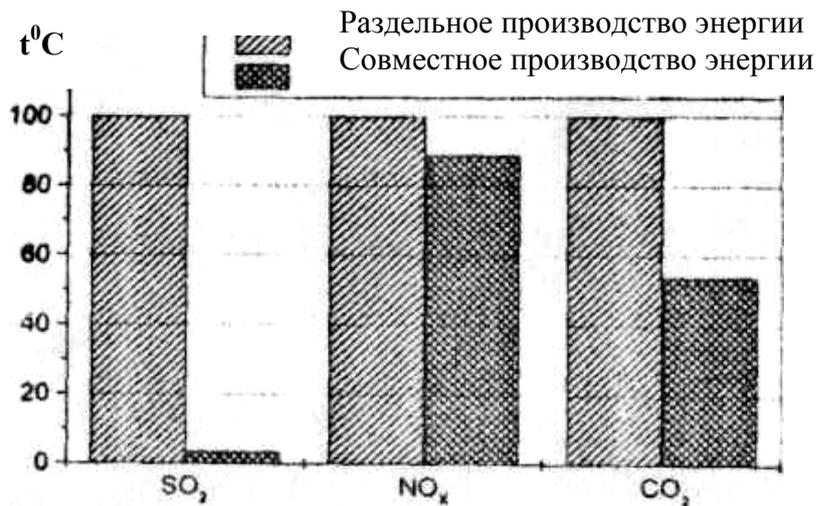


Рис. 1. Влияние технологии производства теплоты и электроэнергии на загрязнение окружающей среды

Реальной экономии топлива можно добиться использованием тепловых энергетических отходов в котельных установках и промышленных печах для подогрева питательной воды и предварительного подогрева первичного воздуха до 200 – 400 °С. Так, при подогреве воздуха реальная экономия топлива в среднем может достигать 25 % (рис. 2).

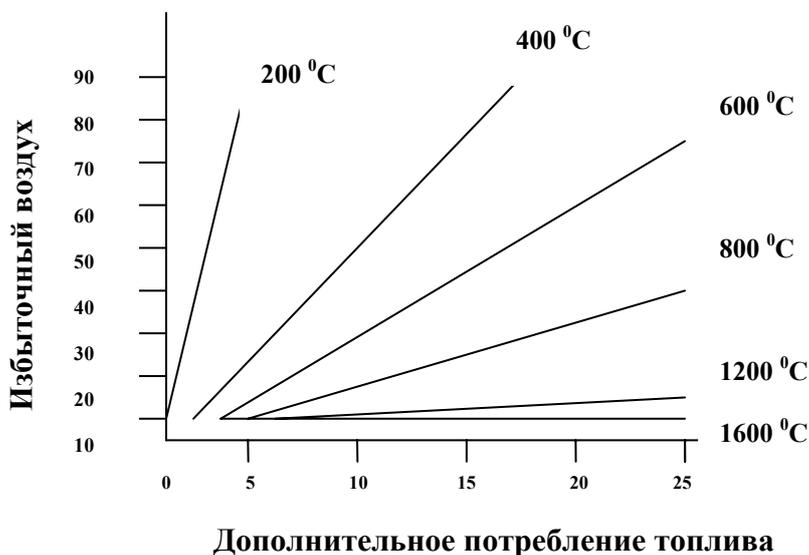


Рис. 2. Влияние избыточного воздуха и температуры отходящих газов на потребление топлива

Оптимальный состав топливовоздушной смеси можно поддерживать с помощью горелок с автоматическим управлением. Для этого дополнительно применяются системы сбора информации о химическом составе отходящих дымовых газов, ее обработка и осуществление автоматического регулирования на основе

полученной информации. Контроль эффективности сгорания топлива основывается на измерении содержания CO_2 в отходящих дымовых газах. Считается, что при оптимальном сгорании природного газа получается от 8 до 9,5 % CO_2 , а при сгорании мазута – от 10 до 12,5 %. Рекомендуется дополнительно определять содержание кислорода, так как оптимальное содержание CO_2 можно получить как при недожоге топлива, так и при его полном сгорании с оптимальным значением коэффициента избытка воздуха $a > 1$. Для уменьшения выбросов NO_2 воздух, подаваемый на горение, необходимо смешивать с частью отходящих газов, организуя их рециркуляцию. Повышенная влажность топлива снижает температуру его горения и требует избытка воздуха для полного сгорания, что снижает эффективность процесса горения. Данная закономерность для древесного топлива проиллюстрирована на рис. 3 [8]. На этом же рисунке видно, что подогрев первичного воздуха до 200 °C обеспечивает повышение температуры горения на 7 %.

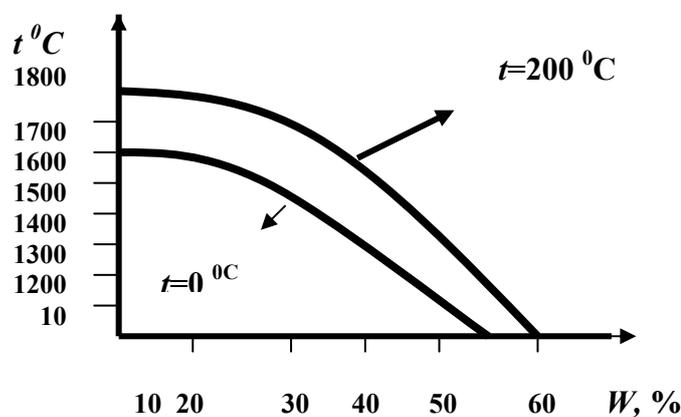


Рис. 3. Влияние влажности древесного топлива и предварительного подогрева воздуха на температуру горения.

Большим источником вредных выбросов является транспорт. Производство топлива для транспорта поглощает в некоторых странах до 50 % потребляемой нефти. Автомобильные выхлопные газы содержат такие вредные вещества, как окись углерода, летучие органические соединения, окись азота и свинец. Ядовитые выхлопные газы и свинец отрицательно влияют на нервную систему. Разработка технологий производства чистого горючего и улучшенных двигателей с минимальным потреблением топлива позволяет уменьшить загрязнение от транспортных средств. Количество потребляемого топлива транспортными средствами, как и в энергетике, зависит от оптимального состава топливоздушная смеси. Использование биомассы в виде топлива также дает преимущества для экологии, так как при ее сгорании не выделяется больше CO_2 , чем при естественном разложении в природе. Переработанный навоз путем анаэробного сбраживания уменьшает выделение азота в грунтовые воды и выделение метана, вызывающих «парниковый эффект» в атмосфере. Биомасса

может быть использована в сочетании с органическим топливом – углем, торфом. Для утилизации биомассы с целью получения энергии используются современные устройства: топки с кипящим (псевдожидкостным) слоем, газогенераторы. Наряду с биомассой, в улучшении экологической обстановки значимую роль могут сыграть и другие возобновляемые источники энергии – солнце и ветер. Затраты на производство возобновляемой энергии постоянно снижаются, и она со временем может стать конкурентоспособной с энергией, полученной из жидких, твердых и газообразных видов топлива. Снижение потерь тепла через ограждения агрегатов и устройств, которые используются при его производстве, транспортировке и потреблении, также уменьшает потребление топлива. Любые потери тепла требуют компенсации, так как потребитель должен получить необходимое количество энергии для проведения технологических процессов или создания комфортных условий для работы, учебы, отдыха. Значительное уменьшение потребления энергии может быть достигнуто и за счет совершенствования технологических процессов, использования современного основного и вспомогательного оборудования.

2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

По прогнозу к 2020 г. возобновляемые источники энергии должны были заменить около 2,5 млрд т топлива, а их доля в производстве электроэнергии и теплоты составить около 8 %. Современные тенденции в энергопотреблении позволяют говорить о больших перспективах в развитии именно этого направления и уменьшении роли традиционных источников энергии (табл. 2).

Таблица 2

Ресурсы возобновляемой энергии

Первичный вид энергии	Источник энергии	Мировые ресурсы 10 ¹⁵ кВт/ч/год
Механическая	Сток рек	0,028
	Волны	0,005 – 0,05
	Приливы и отливы	0,09
	Ветер	0,5 – 5,2
Тепловая	Градиент температур: Воды морей и океанов	0,1 – 1,0
	Воздуха	0,001 – 0,01
	Недр земли (вулканов)	0,05 – 0,2
Лучистая	Солнечное излучение: На поверхности Земли	200 – 280
	Полная энергия	1 570
Химическая	Растения и торф	10

Согласно водноэнергетическому кадастру потенциальная мощность рек Беларуси, подсчитанная по данным об их падении и водоносности в средний год, составляет 855 МВт, или около 7,5 млрд кВт·ч/г. Технически возможные к использованию гидроэнергоресурсы оцениваются в 3 млрд кВт·ч/г. Экономический потенциал гидроэнергоресурсов Беларуси по оценке 1967 г. составляет 0,9 млрд кВт·ч/г. [2]. В настоящее время нет общепринятого для всех стран понятия малой гидроэлектростанции. Наиболее часто к малым ГЭС относят гидроэнергетические установки, мощность которых не превышает 5 МВт. Нижним пределом мощности малых ГЭС принято считать 0,1 МВт: гидроэнергетические установки с меньшей мощностью обычно относят к категории микроГЭС. Согласно оценкам, сделанным в 1991 г. группой специалистов Беларуси в республике целесообразно восстановить 29 малых ГЭС общей установленной мощностью 15 МВт со среднегодовой выработкой электроэнергии 55 млн кВт·ч. Кроме того, можно использовать гидроэнергетические возможности существующих на малых реках водохранилищ неэнергетического назначения путем пристройки к ним ГЭС общей мощностью 6 МВт и выработкой электроэнергии 21 млн. кВт·ч/г. [1]. В настоящее время в Беларуси действует полтора десятка малых ГЭС, часть из которых восстановлена, начиная с 1992 г., из числа ранее заброшенных. Их общая мощность составляет около 8 МВт. Другие показатели использования гидроэнергоресурсов Республики Беларусь в сопоставлении с их техническим потенциалом и аналогичными показателями по сопредельным и другим странам мира приведены в табл. 3. Как следует из табл. 3, состояние освоения гидроэнергоресурсов Беларуси оставляет желать лучшего. Поэтому актуально выявление первоочередных ГЭС, характеризующихся как наибольшей экологической приемлемостью, так и экономической выгодностью.

Таблица 3

**Технический гидроэнергетический потенциал
и освоение гидроэнергоресурсов в ряде стран мира**

Страна	Площадь, млн км ²	Тех. потенц., млрд кВт·ч/г	Действующие ГЭС			
			общей мощн., МВт	в том числе малые		Доля ГЭС, %
	мощн. МВт			число ГЭС		
Беларусь	0,208/10,3	3,0	8,0	8,0	15,0	0,1
Латвия	0,065/2,6	4,0	1512,0	2,3	9	74,0
Литва	0,065/3,7	3,6	107,0	5,4	14	5,5
Польша	0,313/38,5	12,0	535,0	115,0	250	1,0
Россия	17,075/148	1 670,0	39 986,0	53,0	29	26,8
Украина	0,604/52,1	23,5	4 465,0	100,0	149	8,7
Австрия	0,084/8,0	53,7	1 140,0	95,0	1 580	68,0
Бельгия	0,031/10,1	1,4	102,0	102,0	40	0,4

Страна	Площадь, млн км ²	Тех. по- тенц., млрд кВт·ч/г	Действующие ГЭС			
			общей мощн., МВт	в том числе малые		Доля ГЭС, %
	мощн. МВт.			число ГЭС		
Исландия	0,103/0,3	64,0	880,0	68,0	84	95,0
Индия	3,29/915	84 044,0	20 576,0	533,0	2 000	25,0
Иордания	0,093/4,3	0,7	6,0	6,0	1	1,0
Испания	0,505/39,1	70,0	14803,0	500,0	735	20,0
Италия	0,301/57	69,0	12 925,0	1 976,0	1 510	18,6
Казахстан	2,724/17	62,5	2 129,0	80,0	19	10,0
Канада	9,911/27,3	631,7	64 770,0	700,0	200	62,0
Китай	9,597/1200	1 923,3	52 180,0	18 000,0	85 400	18,0
Люксембург	0,003/0,4	0,1	33,0	22,0	13	7,2
Нидерланды	0,037/15	0,2	30,0	30,0	14	0,2
Норвегия	0,324/4,3	200,0	26 000,0	746,0	346	99,6
Португалия	0,100/9,4	24,5	4 125,0	230,0	74	25,6
Румыния	0,238/22,8	40,0	5 871,0	331,0	225	28,7
США	9,39/260	528,5	74 856,0	2957,0	842	9,9
Финляндия	0,338/5,1	19,7	2 827,0	365,0	205	19,0
Франция	0,549/56,7	72,0	23 100,0	1 600,0	1 350	15,4
Швейцария	0,041/6,9	41,0	10 118,0	737,0	1 000	59,0
Швеция	0,450/8,8	130,0	16 450,0	250,0	600	52,0
Япония	0,378/125	134,2	21 171,0	7 000,0	1 350	9,3

К экологически приемлемым вариантам ГЭС группы 1 отнесены те, у которых удельная площадь затоплений меньше 0,5 га/кВт, а мелководий меньше 0,2 га/кВт установленной мощности. Для группы 2 эти показатели находятся в пределах соответственно 0,5 – 3,5 га/кВт и 0,2 – 1,4 га/кВт. Данные о количестве, группах экологической приемлемости и мощностях ГЭС представлены в табл. 4.

Таблица 4

Экологически приемлемые варианты ГЭС

Реки	Группа экологической приемлемости	Количество ГЭС	Общая мощность ГЭС, МВт
Неман и его притоки	1	8	94,0
	2	11	6,4
	3	6	1,7
Притоки Западной Двины	1	16	26,1
	2	11	8,5
	3	1	0,1
Притоки Припяти	3	3	2,8
Всего		56	139,6

Из табл. 4 следует, что по общей установленной мощности группа 1 составляет 86 %, а в бассейне Припяти развитие малой энергетики ограничено.

Связь экологии и энергосбережения четко просматривается в основных приоритетных мероприятиях, направленных на снижение парникового эффекта и рекомендованных бюро по защите окружающей среды [4]. Эти мероприятия относятся к нескольким направлениям и включают следующий перечень, непосредственно связанный с энергетикой:

- более эффективное производство, передача и распределение энергии;
- эффективные моторы и приводы;
- освещение и водяное отопление;
- возобновляемые виды энергии, такие, как фотоэлектрическая, солнечно-тепловая и энергия ветра;
- газификаторы биомассы;
- устойчивое производство биомассы для замены ископаемого топлива;
- совершенные, эффективные газотурбинные циклы;
- микрогидроэнергия;
- переход в топливе на природный газ;
- переработка городских и сельских отходов.

Одним из направлений экологизации энергосбережения может являться проведение совместного эколого-энергетического аудита и экспертизы и соблюдение экологического законодательства в энергосбережении. Взаимосвязь экологии и энергосбережения выражается простой формулой: экономить энергию – уменьшаются отрицательное воздействие на окружающую среду.

3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЯ И АНАЛИЗ СВЯЗИ ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ И ВЫБРОСОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Примером увязки размера прибыли предприятия и выбросов в окружающую среду является *следующий расчет*.

1. Определяется относительный коэффициент выброса (для каждого загрязняющего вещества):

$$E = \Pi / \Phi = \sum_i A_i m_i^{(1)} / \sum_i A_i^{(0)} \quad (1)$$

где Π – максимально допустимая концентрация (плановая величина);

Φ – фактическая концентрация;

A_i – относительная опасность выбросов;

m_i – масса выбросов.

2. Производится корректировка хозрасчетного дохода предприятия:

$$K = f E \quad (f \text{ – корректирующий коэффициент}) \quad (2)$$

3. Оценивается величина экономического коэффициента:
при превышении нормы выбросов ($E < 1$) коэффициент определяется как

$$K = \lg E / 2 + 1 \quad (3)$$

Дополнительная прибыль составит

$$\Pi = \Pi_0 [(\lg E / 2 + 1) - 1] \quad (4)$$

при соблюдении нормы выбросов показатели $E = 1$ и $K = 1$; при этом $\Pi = 0$;

в случае невыполнения нормативов ($E > 1$) $K = \lg E - 1$

Дополнительная прибыль составит

$$\Pi = \Pi_0 [(\lg E + 1) - 1] \quad (5)$$

Следующие числовые примеры показывают влияние загрязнения окружающей среды на прибыль предприятия:

$E = 0,5$ – двукратное превышение выбросов; 15 % прибыли должно дополнительно отводиться в бюджет района или государства;

$E = 1$ – соблюдение нормы по вредным выбросам; прибыль предприятия при этом не меняется;

$E = 2$ – вредные выбросы вдвое ниже плановых величин; предприятие получает дополнительно 30 % от величины прибыли региона.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Задача 1. Произведите экономическую оценку и анализ возможности получения дополнительной прибыли для энергосистемы, в которую входят 5 ТЭС.

Исходные данные:

Вариант	$W_{э}$, млн кВт·ч	W_m , Гкал	Выбросы, тыс. т	Годовой норматив выбросов, тыс. т
1	4,81	3521	3,794	12,237
2	4,20	3763	3,927	
3	2,98	2441	3,807	4,518
4	2,80	2687	3,644	
5	7,43	2443	2,331	3,699
6	7,59	2538	2,166	
7	14,68	3301	14,294	20,661
8	14,91	3383	12,042	
9	18,90	4112	11,802	23,135
10	18,49	4257	15,088	
11	11,62	2139	6,502	8,233
12	12,40	2168	6,318	
13	3,85	3736	8,848	1,11
14	4,05	3919	14,250	

Себестоимость тепло- и электроэнергии:

$$C_m = 32 \text{ р./Гкал};$$

$$C_{э} = 0,4 \text{ р./кВт·ч}$$

Цена отпускаемой тепло- и электроэнергии:

$$Ц_m = 70 \text{ р./Гкал};$$

$$Ц_{э} = 1 \text{ р./кВт·ч}$$

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Как устроена атмосфера?
2. Источником каких вредных веществ, поступающих в атмосферу, являются энергетические объекты?
3. За счет каких мероприятий можно уменьшить потребление органического топлива?
4. В чем проявляется воздействие вредных выбросов на окружающую среду?
5. Что такое парниковый эффект?
6. Каково значение озонового слоя для жизнедеятельности на Земле?
7. Оказывают ли возобновляемые источники энергии отрицательное воздействие на окружающую среду?
8. Какие мероприятия в сфере энергетики позволяют снизить парниковый эффект?
9. Чем измеряется потенциальная мощность рек Республики Беларусь?
10. Чему равна установленная мощность малых ГЭС?
11. Какие экологические параметры должны учитываться при строительстве малых ГЭС?
12. Что такое когенерация?

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексин, М. В. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности / М. В. Алексин, В. С. Синева, П. А. Пижурин [и др.] – Москва: Лесная промышленность, 1982.
2. Альферович, А. Н. Современное состояние и возможные пути развития гидроэнергетики Беларуси / А. Н. Альферович, Л. А. Гриневич, П. М. Богославчик [и др.] – Минск: Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ), 1993, N 3-4.
3. Ларин, И. К. Почему важно сохранить озоновый слой и что для этого делается? / И. К. Ларин – Москва: Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ), 1997, N 7.
4. Михайлов, Л. П. Малая гидроэнергетика / Л. П. Михайлов, Б. Н. Фельдман, Т. К. Марканова [и др.] – Москва: Энергоатомиздат, 1989.
5. Отчет о мировом развитии – 1992. Развитие и окружающая среда. – Москва: МГУ, 1995.
6. Резниковский, А. Ш. Гидроэлектростанция в энергетических системах России / А. Ш. Резниковский, М. И. Рубинштейн – Москва: Гидротехническое строительство, 1997, N 10.
7. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1980.
8. Центральное теплоснабжение в Дании. Исследования и разработка технологии. Копенгаген. – Москва: Датское министерство энергетики, 1993.
9. Энергосберегающие технологии в современном строительстве. – Москва: Стройиздат, 1990.

Содержание

1. Экологические аспекты невозобновляемых источников энергии.....	3
2. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии.....	10
3. Экономическая оценка предприятия и анализ связи прибыли предприятия и выбросов в окружающую среду.....	15
4. Практические задания.....	17
5. Контрольные вопросы для самостоятельной работы.....	18
Литература.....	19

Учебное издание

Кирвель Иван Иосифович
Петровская Вероника Ивановна
Цявловская Наталья Владимировна

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»

Редактор Е. Н. Батурчик
Корректор М. В. Тезина
Компьютерная верстка

Подписано в печать	2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ.л.
Уч.-изд.л.		Тираж 250 экз	Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004.
ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П.Бровки, 6

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кафедра экологии

М. М. Бражников, И. И. Кирвель

ЙОД И ЙОДНАЯ ПРОФИЛАКТИКА

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережения»

Минск 2007

УДК 615.468.45(075.8)
ББК 51.204 я73
Б 87

Рецензент:
профессор кафедры инженерной психологии
и эргономики БГУИР, доктор медицинских наук – И. С. Асаенок

Бражников, М. М.

Б 87 Йод и йодная профилактика: метод. пособие для практич. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережения» / М. М. Бражников, И. И. Кирвель – Минск: БГУИР, 2007. – 40 с.
ISBN

Рассмотрены вопросы влияния различных микроэлементов на процессы обмена веществ и организм человека в целом. Особое внимание уделено влиянию йода на щитовидную железу. Раскрыт механизм действия радиоактивного йода на организм человека, приведены рекомендации по применению препаратов стабильного йода населением в целях защиты щитовидной железы от радиоактивных изотопов йода. Представленная в пособии информация не является руководством к самолечению. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР и может быть использовано для проведения практических занятий по дисциплине «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность».

УДК 615.468.45(075.8)
ББК 51.204 я73

ISBN 985-488-062-1

© Бражников М. М., Кирвель И. И., 2007
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

1. Микроэлементы и их роль в жизни человека

Как известно, человеческий организм имеет следующий состав: вода приблизительно 60 %, органические вещества приблизительно 34 %, неорганические вещества приблизительно 6 % [1]. К органическим веществам традиционно относятся соединения углерода и водорода и их производные, включающие элементы – органогены: кислород (O_2), азот (N_2), серу (S), фосфор (P). К неорганическим веществам относятся многообразные соединения, включающие другие химические элементы периодической таблицы Д. И. Менделеева. Весьма большим индивидуальным различием характеризуется качественный элементный состав минеральных компонентов тела человека. Однако 15 элементов являются постоянно присутствующими в организме и называются они «жизненно необходимыми». Таковыми являются: *Ca, P, Na, Mg, S, Se, K, V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Mo, J*. Отсутствие или дефицит этих элементов влекут нарушение жизнедеятельности организма. При недостаточном содержании какого-либо элемента в организме человека наносится ущерб ему, т.е. процессы протекают на пределе выживания за счет компенсаторных механизмов. Такое функционирование приводит к снижению активности ферментов, в состав которых входит тот или иной микроэлемент. При повышении дозы (концентрации) недостающего элемента в организме (по принципу Ле-Шателье) сдвигается равновесие процессов в сторону достижения нормы по элементу. Передозировка элемента (вещества), напротив, приводит к снижению функционирования органа или организма в целом вследствие токсического действия избытка элемента вплоть до летального исхода. Таким образом, и дефицит, и избыток необходимого в организме элемента наносит ему вред.

Вероятность того, что данный химический элемент жизненно необходим, возрастает по мере проявления симптомов дефицита или избытка в следующем ряду [2]:

1. Снижение аппетита.
2. Потребность в изменении диеты.
3. Значительные биохимические изменения состава тканей.
4. Повышенная повреждаемость одной или нескольких биохимических систем и недееспособность этих систем в специальных условиях.
5. Субклинические признаки недееспособности.
6. Клинические симптомы недееспособности.
7. Заторможенный рост.
8. Отсутствие репродуктивной функции.
9. Летальный исход.

Приведенные критерии представлены в порядке возрастания их важности. Оценка необходимости в питании организма тем или иным элементом делается по девятибалльной шкале. Безусловно, самый высокий балл при такой оценке получают классические жизненно необходимые элементы, такие, как *K, Na, Fe, J, Ca, O₂, C, N₂, Mn, Mg* и др. Установлено, что железо является необходимым участником окислительно-восстановительных процессов, протекающих в организме. Железо (*Fe*), входящее в состав гемоглобина, участвует в процессе связывания и переноса кислорода к тканям. Его недостаток в организме приво-

дит к железодефицитной анемии, которая проявляется снижением уровня гемоглобина в крови, что, в свою очередь, приводит к ослаблению иммунной системы. В организме человека содержится 4–5 г железа, из них около 70 % входит в состав гемоглобина. В плазме крови железо находится в комплексе с транспортным белком, который в обычных условиях насыщен железом лишь на 20–50 %. Следствием недостатка железа в крови является малокровие, подавленное настроение. Учитывая, что железо откладывается в печени, то по содержанию его в сыворотке крови можно говорить о функциональном состоянии печени. Суточная потребность организма человека в железе составляет 51 мг. Если в процессе своего развития ребенок не получает достаточного количества железа, то впоследствии у него могут возникнуть проблемы со слухом и зрением, так как системы, контролируемые в головном мозге слух и зрение, медленнее работают у детей, страдающих в ранние годы анемией. Поэтому в рацион питания ребенка в возрасте 6–8 месяцев и старше необходимо включать продукты, содержащие железо. Для взрослых людей, особенно для беременных женщин, необходимо использовать препараты железа не только для лечения, но и для профилактики железодефицитных состояний. Из пищевых продуктов наиболее богаты железом (миллиграмм на 100 г пищевых продуктов): сушеный чернослив – 15 мг; фасоль – 12,4 мг; печень говяжья – 9,8 мг; горох – 9,4 мг; гречневая крупа (ядрица) – 8,0 мг; абрикосы – 2,1 мг; персики – 3 – 4 мг; айва – 3,0 мг; огурцы – 1 мг; помидоры – 1,5 мг; чеснок – 1,5 мг; яблоки – 3 – 15 мг; свежие ягоды черной смородины – до 3 мг; крыжовник – 1,8 – 4,6 мг и земляника до 2,5 мг, а так же картофель, цветная капуста, пшеница, дыня, ежевика, черника, белые грибы.

Натрий и калий – жизненно необходимые микроэлементы. Натрий – основной катион внеклеточной жидкости в организме, регулирует объем плазмы крови, внеклеточной жидкости в организме, участвует в функционировании центральной нервной системы (ЦНС) и работе мышц. Он проводит из тканей к легким углекислый газ. Калий – основной катион внутриклеточной жидкости, необходимый элемент функционирования ЦНС и мышц, процесса всасывание в кишечнике, регулирующий содержание воды в клетках. Он необходим при запорах, плохой циркуляции крови, ослаблении сердечной мышцы, воспалениях и болезнях кожи. В организме взрослого человека содержится около 100 г натрия (30 % в костях) и 140 г калия (98 % внутри клеток). Ежедневное потребление натрия составляет 5 – 15 г, калия 2 – 6 г. Постоянный избыток натрия и калия в пище вызывает некоторое повышение уровня инсулина в крови. Недостаток натрия в организме вызывает застои крови в капиллярах, способствует образованию камней в желчном и мочевом пузырях, печени, вызывает желтуху, болезни сердца и одышку. Основным источником натрия пищевая соль, а также сельдерей, морковь, огурцы, зеленая фасоль, земляника, яичный желток, финики. Калий в большом количестве содержится в свежих овощах: помидорах – 290 мг; огурцах – 140 мг; перцах – 140 мг; баклажанах – 240 мг; кабачках, тыкве и патиссонах – 170 – 300 мг; моркови – 200 мг; свекле – 280 мг; редьке – 350 мг;

чесноке – 260 мг; персиках – 360 мг; черной смородине – 372 мг; картофеле – 560 мг на 100 г.

Магний и кальций – типичные щелочно-земельные металлы. В организме взрослого человека содержится около 19 г *Mg* (59 % в костях) и 1 кг *Ca* (99,9 % в костях). Магний – компонент костей, зубов, необходимый участник многих обменных процессов. Отравление при значительных дозах *Mg* – антагониста *Ca* нередко связано с подавлением активности ЦНС и периферийных нейромышечных соединений. Слабительное действие $MgSO_4$, введенного в желудочно-кишечный тракт, хорошо известно. Вследствие медленного всасывания этой соли создаются высокое осмотическое давление и усиленный приток воды внутрь кишечника, сопровождающийся диареей. В результате многочисленных исследований установлено, что *Mg* необходим для функционирования клетки, т.к. катализирует ряд ферментов, стабилизирует ДНК. Недостаток магния ослабляет кости, вызывает в организме нервное перенапряжение, головные боли, хроническую усталость, депрессию, судороги. Источниками магния являются: виноград, апельсины, грейпфруты, финики, инжир, ячмень, горох, яичный желток, хлеб, капуста, лук и козье молоко. Суточная потребность организма человека в магнии составляет 70 – 80 мг. Кальций является основным компонентом костей, зубов, участвует в функционировании ЦНС и мышц, а также он необходимый компонент системы свертывания крови. Он усиливает активность лейкоцитов, снижает проницаемость сосудов, оказывает противовоспалительное действие. Источниками кальция являются молочные продукты, яичный желток, морковь – 50 мг, редька – 35 мг, чеснок – 90 мг, листья лука – перья – 30 мг на 100 г продукта. Суточная потребность организма человека в кальции составляет 500 мг. Определенная роль в процессах метаболизма, протекающих в организме человека, принадлежит ванадию (*V*), который содержится в мягких тканях (примерно 218 мг у взрослого человека). Дневная норма для человека составляет 2 мг. Его соединения издавна используются как стимуляторы при анемии, а также при лечении сифилиса, туберкулеза, неврастении и ревматизма. В то же время до сих пор не выяснена его специфическая необходимость для организма. При избыточном поступлении ванадия в организм его токсичность снижается высокобелковой диетой и аскорбиновой кислотой (витамин *C*). Ванадий содержится в цельных злаках, орехах, корнеплодах, печени, рыбе, растительных маслах и шиповнике ($3 \cdot 10^{-3}$ %). Широко распространенный в природе марганец (*Mn*) присутствует в растительных и животных тканях. В организме человека его содержится около 120 мг. 43 % этого элемента содержится в костях, остальное – мягких тканях, в том числе в мозге. Необходимая доза для человека 20–90 мг/сутки. Марганец необходим для роста, сохранения репродуктивной функции, формировании костей, метаболизма глюкозы и липидов, а также для активизации некоторых ферментов. Марганец содержится в яичном желтке, грецких орехах, мяте, петрушке, сое. Очень важную роль в жизнедеятельности организма играет медь (*Cu*). Она необходима для функционирования ряда ферментных систем. Дефицит меди вызывает анемию, патологический рост костей, недостаточность рос-

та, дефекты соединительной ткани, сердечно – сосудистую недостаточность и смертельный исход. Для человека средняя дневная доза меди составляет 4 – 5 мг. В организме взрослого человека содержится 100 – 150 мг меди в связанном с белками состоянии. Наиболее богаты ею ткани головного мозга, печени, сердца и почек. Избыток *Cu* в крови отмечается при шизофрении, алкоголизме. Отравление медью обычно связано со случайной передозировкой инсектицидов или других токсических солей меди, заглатыванием медьсодержащих растворов, а также потреблением кислотных напитков, хранящихся в медной таре или протекающих по трубопроводам из медьсодержащего материала. Медью богаты бобовые и гречишные растения, проросшая пшеница, свекла, арбузы, белые грибы, красная и черная смородина, кизил, яблоки, земляника, ежевика, клюква, шиповник, а также печень и почки.

Одним из наиболее распространенных необходимых микроэлементов в организме человека является *цинк (Zn)*. Его содержание в организме человека в 10 – 15 раз выше, чем меди и в 100 раз выше, чем марганца. Цинк присутствует во всех видах пищи. Рекомендуемая доза потребления цинка для человека составляет около 0,3 мг/кг. В медицинских целях используют стеарат цинка в виде мази, помады, хлорид – как местный антисептик, фосфат цинка – как зубной цемент, гидроксид $Zn(OH)_2$ – для приготовления инсулина. Отравление цинком в основном происходит при использовании пестицидов, вследствие небрежного терапевтического применения препаратов цинка, при употреблении продуктов, хранящихся в оцинкованной посуде. Алкоголизм, нарушение питания, недоедание вызывает значительную задержку цинка в организме. Недостаток цинка проявляется в замедлении роста и недоразвитии половых органов в юношеском возрасте. Цинк излечивает некоторые заболевания простаты и предотвращает старческое слабоумие. Цинк содержится в проросшей пшенице.

Селен (Se) способствует очищению вен и артерий от различных отложений. Его недостаток обостряет сосудистые заболевания и снижает сопротивляемость организма к новообразованиям (онкологическим заболеваниям). Суточная потребность организма человека в нем составляет 100 – 200 мг. Это количество селена содержится в 2,0 г дрожжей, которые перед употреблением необходимо залить кипятком, чтобы «убить» бактерии, вызывающие брожение, а затем выпить с молоком без сахара. Источниками *Se* являются проросшие зерна пшеницы и ржи, морская капуста, креветки, помидоры, яйца, молоко, облепиха.

Фосфор, являясь компонентом костей и зубов, участвует в энергетическом обмене. 2/3 фосфора содержится в костях, а 1/3 – в мышцах и в ЦНС. Недостаток фосфора в организме, даже при достаточном содержании в нем *Ca*, задерживает развитие костей. Изменение содержания фосфора вызывает различные опухоли и изменения в костной ткани. Его избыток может содействовать уменьшению кальция, так как фосфор выводится из организма в связанном виде с кальцием. Суточная потребность взрослого человека в нем составляет 1440–1800 мг. Беременные и кормящие грудью женщины потребляют его не-

сколькo больше. Он содержится в яичном желтке, орехах, огурцах, редисе, салате, хлебе, бобовых, картофеле, а также в продуктах животного происхождения (печень, мясо, мозги, сыр), которые хорошо усваиваются организмом. Фосфорные соединения оказывают благоприятное действие на ЦНС, особенно в период напряженной умственной работы.

Одно из важнейших мест среди необходимых элементов при функционировании организма человека принадлежит *йоду*. В организме взрослого человека содержится около 50 мг йода, из которых на щитовидную железу приходится примерно 15 мг. В крови содержится менее 1 % от общего количества в организме. Потребность человека в йоде составляет в среднем 100 мкг/сутки. Согласно рекомендациям ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) физиологические суточные нормы потребления йода составляют:

дети первого года жизни – 50 мкг; дети от 1 года до 6 лет – 90 мкг; школьники – 120 мкг; – взрослые – 150 мкг; беременные и кормящие грудью женщины – 200 мкг.

Последней категории прием йодсодержащего препарата желателно начинать на ранних сроках беременности или даже до ее наступления. Однако реально суточное потребление йода колеблется в пределах 30 – 35 мкг. С пищей, преимущественно растительной, поступает до 90 % йода. Продуктами, содержащими большое количество йода, являются: морская капуста, морские раки, крабы, печень трески, устрицы, сельдь, репа, салат, свекла, помидоры. В небольших количествах йод содержится в пшенице, картофеле, капусте, брюкве, моркови, чесноке, грибах, луке, бананах. Растворимые йодиды быстро и полностью всасываются при попадании через рот или путем ингаляции (20 – 90 % в течение первого часа) и уровень его в крови повышается очень быстро. Изучение обмена йода в организме показывает, что йодиды, йодированные карбоновые и аминокислоты, дийодиторизин и тироксин всасываются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта. Возвращение к нормальному содержанию йода в крови наступает через 72 часа после приема максимально допустимых доз йодистых соединений. В настоящее время по данным Минздрава Республики Беларусь территория страны относится к региону с недостатком йода в питьевой воде и продуктах питания. Большинство белорусов ощущают недостаток йода, частично компенсируя его путем применения йодированной пищевой соли. Дефицит йода приводит к вредным последствиям в деятельности организма в целом, и, в первую очередь, нарушает функцию щитовидной железы (эндемический зоб). Нарушение функции щитовидной железы может вызвать: ожирение и прибавку в весе; снижение работоспособности, формирование синдрома хронической усталости; нарушение репродуктивной и половой функции, т.е. оказывает влияние на нервную и эндокринную системы. Особенно опасен дефицит йода для подростков, когда на фоне быстрорастущего организма нарушается липидный обмен, задерживается половое созревание, выпадают волосы, ухудшается память, появляется глухота. Учитывая важную роль на жизнедеятельность организма функций щитовидной железы, целесообразно более

подробно рассмотреть ее роль на процессы метаболизма и особенностях ее заболеваний.

2. Щитовидная железа и йоддефицитные заболевания

Щитовидная железа (ЩЖ) – орган, имеющий форму бабочки и располагающийся на передней поверхности шеи. Она состоит из двух долей, соединенных между собой перешейком. Нередко у молодых и худых людей щитовидную железу можно увидеть. Прощупывается ЩЖ у большинства людей, за исключением лиц с развитой шейной мускулатурой и клетчаткой. Вместе с другими железами она входит в эндокринную систему, т.е. систему органов, вырабатывающих биологически активные вещества – гормоны. Гормоны, поступая в кровоток, действуют на ткани и органы человека, находящиеся зачастую на значительном отдалении от самих эндокринных желез. Основной функцией гормонов и всей эндокринной системы является поддержание нормальных значений различных веществ в крови и, таким образом, всех происходящих в организме процессов. Ткань ЩЖ состоит из двух типов клеток, продуцирующих гормоны. Большинство из них составляют клетки, выделяющие в кровь гормоны тироксин (T_4) и трийодтиронин (T_3), которые получили свои названия по количеству атомов йода в их молекулах. Другой вид клеток, имеющихся в ЩЖ, продуцирует и выделяет в кровь *кальцитонин*. Он участвует в регуляции уровня кальция в организме, который является основным материалом в строительстве костей, а так же при передаче импульса в нервной и мышечной тканях. Основной функцией гормонов ЩЖ является поддержание нормального метаболизма (обмена веществ) в клетках организма. Тироксин (T_4) и трийодтиронин (T_3) стимулируют обмен веществ практически во всех клетках и регулируют очень многие процессы в организме – дыхание, прием пищи, сон, движение, а также работу большинства внутренних органов – от сердца до репродуктивной системы. Гормоны, выделяемые ЩЖ, необходимы для нормального умственного и физического развития. Наряду с гормоном роста, вырабатываемым в гипофизе, они отвечают за нормальное развитие костей скелета. Недостаток гормонов ЩЖ в детском возрасте приводит к прекращению роста, а дефицит их при беременности – к недоразвитию мозга будущего ребенка. Доказанной является роль ЩЖ в нормальном развитии молочных желез у женщин. У здоровых людей ЩЖ принимает участие также в контроле за весом тела. При повышенном потреблении пищи активность ее увеличивается, образование T_3 усиливается, что приводит к повышению скорости обмена веществ в организме. Наоборот, при недоедании активность ЩЖ снижается, приводя к замедлению обмена веществ. Гормоны тироксин и трийодтиронин принимают участие в регуляции водно-солевого баланса, в образовании некоторых витаминов (витамин А в печени), а также в осуществлении функций других гормонов в организме. Например, без гормонов ЩЖ невозможно воздействие гормонов роста на головной мозг. Она (ЩЖ) играет важную роль в функционировании иммунной системы организма. Ее гормоны стимулируют клетки иммунной системы, которые по-

могут организму бороться с инфекционными заболеваниями. Изменение функций ЩЖ играет важную роль в процессе старения организма. Наиболее распространенным заболеванием, связанным с недостатком гормонов ЩЖ, является *гипотиреоз*. Следует отметить, что данное заболевание часто длительное время не выявляется, т.к. оно имеет постепенное начало и стёртые, неспецифические симптомы, которые расцениваются как результат переутомления, других заболеваний. При гипотиреозе в организме замедляются все процессы. В условиях недостатка гормонов T_4 и T_3 энергия образуется с меньшей интенсивностью, что приводит к постоянной зябкости и понижению температуры тела. Другим проявлением гипотиреоза является склонность к частым инфекционным заболеваниям, что обусловлено отсутствием стимулирующего влияния тиреоидных гормонов на иммунную систему. Одним из основных симптомов гипотиреоза является постоянная слабость и чувство усталости, даже по утрам. Человека беспокоят постоянные головные боли, часто боли в мышцах и суставах, онемение в руках. Кожа становится отёчной, сухой, волосы и ногти ломкими. Наряду с физической заторможенностью у больных наблюдается умственная заторможенность и забывчивость. При гипотиреозе из-за отёка тканей поражаются органы чувств: расстройство зрения, снижение слуха, звон в ушах. Голос из-за отёка голосовых связок становится низким; часто во сне люди начинают храпеть из-за отёка языка и гортани. Замедление пищеварительных процессов приводит к частым запорам. Одним из самых серьёзных проявлений гипотиреоза является поражение сердца – замедление ритма сердца (менее 60 ударов в минуту). Другим сердечно-сосудистым проявлением гипотиреоза является повышение уровня холестерина в крови, что приводит к ишемической болезни сердца, основным проявлением которой – стенокардия – резкая боль за грудиной или затруднение дыхания при ходьбе, подъёме по лестнице. У большинства женщин наблюдается расстройство менструальной функции. Менструации могут стать обильнее, длительнее или прекратиться. Многие женщины при гипотиреозе впервые обращаются к гинекологу с жалобой на бесплодие. Один из самых распространенных симптомов гипотиреоза – депрессия, по поводу которой больные часто направляются к психологу или психиатру. От 8 до 14% людей, направленных с диагнозом «депрессия», страдают гипотиреозом. Установлено, что гипотиреоз может развиваться в первую очередь из-за тяжелого дефицита йода, а именно когда в организм взрослого человека поступает менее 25 мкг йода в сутки. У каждого третьего больного гипотиреоз является следствием лечения по поводу териотоксикоза радиоактивным йодом или развивается после операции на ЩЖ. Заболевание нередко передается по наследственности, хотя и не проявляется в каждом поколении. Нередко гипотиреоз возникает у женщин после родов. При заболевании ЩЖ больному иногда бывает трудно вспомнить все имеющиеся симптомы, т.к. забывчивость, неспособность сконцентрироваться или раздражительность являются одними из симптомов гипотиреоза или, наоборот, тиреотоксикоза. Важным моментом в первоначальной диагностике этих заболеваний является своевременное обращение к врачу и внимательность последнего. Понятие «йоддефицитные заболевания»

в настоящее время используется для обозначения всех неблагоприятных влияний дефицита йода на рост и развитие организма, в первую очередь на формирование мозга ребёнка. Эти влияния можно предотвратить путём йодной профилактики. Перечень йоддефицитных заболеваний весьма значителен, а наиболее серьёзные из них встречаются у детей: врожденные пороки развития, врожденный гипотиреоз, кретинизм, нарушение умственного, физического и полового развития. Йоддефицитные заболевания в настоящее время являются серьёзной проблемой здравоохранения во многих странах мира. По данным ВОЗ 1 570 млн человек (30 % населения мира) имеют риск развития йоддефицитных заболеваний, в том числе более 500 млн человек проживает в регионах с тяжёлым дефицитом йода и высокой распространённостью эндемического зоба. Около 20 млн человек имеют умственную отсталость вследствие дефицита йода. Йоддефицитные заболевания включают патологические состояния, связанные с нарушением функции щитовидной железы, которые обусловлены снижением потребления йода. Наиболее распространённым заболеванием является *йоддефицитные, или эндемический зоб*. Это заболевание развивается у людей, проживающих в йоддефицитных регионах, что приводит к увеличению ЩЖ вследствие йодной недостаточности. Такое состояние ещё называют *эутироидным зобом*, т.к. у большинства больных сохраняется нормальный фон тиреоидных гормонов в крови. Как отмечают специалисты – эндокринологи, дети с зобом имеют худшие показатели физического и полового развития, с трудом обучаются в школе, они чаще болеют, имеют серьёзные изменения со стороны сердечно-сосудистой системы, а также у них хуже показатели крови и др. Увеличение ЩЖ при йоддефицитных состояниях объясняется разрастанием её ткани в ответ на низкое поступление йода в организм. Следует отметить, что йодная недостаточность проявляется наиболее ярко при снижении поступления в организм таких микроэлементов, как кобальт, медь, молибден, цинк и др. Некоторые растительные продукты питания (соя, арахис, турнепс, цветная капуста) содержат в себе вещества, способные нарушать синтез гормонов ЩЖ или захват йода железой. Кишечная палочка в процессе своей жизнедеятельности производит ферменты, которые снижают способность ЩЖ к захвату йода. В настоящее время установлено, что существуют группы людей, подверженных особенно высокому риску развития йоддефицитных заболеваний. Это дети, подростки перед и во время полового созревания, а также беременные женщины. Во время беременности суточная потребность в йоде возрастает почти в 2 раза. Это связано с изменением гормонального фона женщины, а также тем, что поступающий в организм матери йод используется на синтез тиреоидных гормонов у плода, которые необходимы ему для формирования центральной нервной системы, скелета, фактически для обеспечения синтеза белка практически в каждой клетке. Йод из организма человека выводится с мочой, потом и грудным молоком. Поэтому необходимо проводить периодически курсы йодотерапии, направленные на защиту нашего организма.

Массовая йодная профилактика осуществляется путём введения йода в распространённые продукты питания – соль, хлеб. Преимуществом данного метода является его невысокая стоимость при охвате большого количества людей. Однако отсутствие индивидуального контроля за состоянием людей может привести к неблагоприятным последствиям – хронической передозировки йода. Кроме этого гарантийный срок хранения йодированной соли ограничен, т.к. концентрация йода в ней со временем значительно снижается.

Групповая йодная профилактика проводится в масштабе групп повышенного риска по развитию йоддефицитных заболеваний: дети, подростки, беременные и кормящие женщины. Профилактика проводится путём длительного приёма йодсодержащих препаратов.

Индивидуальная профилактика осуществляется с отдельными лицами путём приёма препаратов, содержащих физиологические дозы йода.

Защитить свой организм от дефицита йода в настоящее время очень просто. Практически в любой аптеке имеются препараты стабильного йода. Это «Калий йодид», «Йодомарин 100» (для детей и подростков до 15 лет), «Йодомарин 200» (для беременных и кормящих женщин) и др. Йодид – действующее вещество препарата йодид калия, который быстро всасывается в желудочно-кишечном тракте. Данный препарат используется для лечения нетоксического зоба в любых возрастных категориях, а также для индивидуальной и групповой профилактики осложнений дефицита йода. С аналогичной целью можно применять также и другие йодсодержащие средства. В настоящее время разработаны и выпускаются гомеопатические средства на основе минеральных и растительных компонентов, которые повышают содержание йода в организме. Одним из таких средств является «Струмель» (Германия). Показаниями для назначения являются: заболевания ЩЖ с пониженной секреторной функцией (диффузионный зоб, последствия облучения); недостаток йода в организме; атеросклероз; коронарный склероз; вспомогательная терапия при гипертензии; ожирение. Одна таблетка «Струмеля» содержит 9,3 мкг йода и предназначена для растворения под языком. Прежде чем принимать препараты йода, целесообразно обратиться к врачу-эндокринологу, который после соответствующих обследований даст точные рекомендации, какие средства, содержащие йод, следует принимать, и установит продолжительность профилактического приема этого лекарственного препарата. Можно убедиться самому, достаточно ли йода в организме. Для этого на предплечье наносится 5%-ный спиртовой раствор йода в виде сетки: 5 вертикальных полос и 5 горизонтальных, длиной 5 см с интервалом 1 см. Через 8 часов осматривается место нанесения йодной сетки. Если следы йода сохранились, то йода в организме и ЩЖ достаточно, если следов йода на предплечье нет, то в организме дефицит йода. Однако нельзя исключить отдельные нежелательные реакции среди небольшой части населения, обладающей повышенной чувствительностью к йоду и страдающих рядом заболеваний, при которых приём препаратов может вызвать их сильное обострение. Признаками насыщения организма йодом являются увеличение слизи в носу

либо могут появиться признаки простудного заболевания, крапивница. Естественно в этом случае прием йода следует на время прекратить. Побочные действия лекарственных препаратов стабильного йода подразделяются на два типа реакций: эффекты, проявляющиеся в самой щитовидной железе (тиреойодит, зоб гипотиреоидный и негипотиреоидный, тиреотоксикоз, гипотиреоидизм); эффекты, развивающиеся в других органах (дерматологические проявления, конъюнктивит, паротит, реакции со стороны желудочно-кишечного тракта, тошнота, рвота, диарея).

Указанные данные о побочном действии йодидов относятся к случаям хронического ежедневного применения фармпрепаратов йода в дозах, значительно превышающих рекомендации врача – эндокринолога. Следует иметь в виду, что для части населения проведение профилактического курса препаратов стабильного йода представляется реально опасным. К числу возможных противопоказаний для приёма препаратов стабильного йода можно отнести: повышенную чувствительность к йоду; патологические состояния ЩЖ (тиреотоксикоз, наличие большого многоузлового зоба); ряд кожных заболеваний (герпетиформный дерматит, псориаз и др.). Учитывая эти особенности воздействия йода на организм человека, целесообразно подробнее остановиться на поглощении и выведении из организма радиоактивного йода, а также на особенностях защиты ЩЖ от воздействия радиоактивного йода – *J-131*.

3. ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ J-131 В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Как показывает опыт последних аварий на АЭС с разрушением ядерного реактора, на первом этапе после аварии (примерно 2 месяца) ведущими дозобразующими радионуклидами являются изотопы йода *J 129–135*. При поступлении внутрь организма одного и того же количества данных изотопов, доза, создаваемая в ЩЖ детей в возрасте 1 – 14 лет, может быть значительно больше, чем у взрослого человека (до 10 раз). Это объясняется тем, что масса ЩЖ взрослого человека равна 20 г, а ребенка – 2 г. Из всех изотопов йода наибольшую опасность, в первую очередь для человека, представляет собой *J-131*, являющийся β - и γ -излучателем. Период полураспада *J-131* составляет 8,05 суток. Энергия β -частиц составляет 0,25 – 0,82 МэВ, энергия γ -квантов – 0,08 – 0,72 МэВ. При пероральном поступлении радиоактивный йод практически полностью всасывается в желудочно-кишечном тракте. При ингаляции 50 % радиоактивного йода откладывается в верхних дыхательных путях до 15 % – в бронхах, остальные (около 35 %) – в легких. Уже через 6 часов до 15 – 20 % радиоактивного йода фиксируется в ЩЖ, а через 24 часа фиксируется до 25 – 30 % изотопа. Основным последствием этого процесса является развитие *гипотериоза* и опухолевых заболеваний ЩЖ (в отдельные сроки), а при поступлении больших доз – *тиреойодита*. Около 30 % посту-

пившего в кровь йода откладывается в щитовидной железе и выводится из нее с биологическим периодом полувыведения – 120 суток. Эффективный период полувыведения из ЩЗ равен 7,5 суток. Остальные 70 % поступившего йода в организм равномерно распределяется по различным органам и тканям. Биологический период полувыведения этой части составляет 12 суток, а эффективный – 4,8 суток. Около 10 % от этой части радиоактивного йода выводится с калом, а основная часть – с мочой. Некоторая часть изотопов йода выводится через легкие, а также потом, слюной, молоком. В характере поражения *J-131* при низкой зараженности местности большую роль играет функция железы (нормальная, повышенная или пониженная). Так, в норме поглощение *J-131* протекает медленно, не достигает большой величины, но характеризуется известной длительностью [3]. У больных тиреотоксикозом тип поглощения иной: захват йода совершается быстро и интенсивно (уже через 1 – 4 часа после введения йода через рот ткань железы захватывает до 20 % общего йода), однако, и удерживается йод в ЩЗ недолго, и уже после 24 часов концентрация его резко уменьшается. При повышенном заражении местности радиоактивным йодом последствия его воздействия на организм человека гораздо более тяжелые. Задержка *J-131* в ЩЗ у мужчин и женщин примерно одинакова. С возрастом она падает. Накопление *J-131* в зимнее время примерно в 2,2 – 3,0 раза выше, чем в летнее время вследствие усиления деятельности ЩЗ. Концентрация *J-131* в слюне и желудочном соке в 30 раз выше, чем в крови. Накопление *J-131* в ЩЗ плода наступает на 18 неделе беременности. В грудное молоко кормящих женщин *J-131* поступает за считанные минуты после отравления, и обнаруживаются в организме младенца уже через 8 – 10 минут после кормления. Через 48 часов содержание *J-131* в организме ребенка уже превышает радиоактивность материнского организма. Качественная и количественная оценка заражения *J-131* может быть проведена путем определения γ -излучения от ЩЗ или β - γ -излучения от мочи. Определение содержания *J-131* в ЩЗ осуществляется путем измерения мощности экспозиционной (эквивалентной) дозы гамма-излучения у поверхности тела. Для этой цели можно использовать серийные дозиметры-радиометры типа СРП–68 (01), ДРГЗ–01(02), ДП–5В и др. При этом датчик прибора располагается вплотную к основанию шеи, между долями ЩЗ. Обязательным условием корректности измерения является отсутствие наружного загрязнения тела и личной одежды. Наружное радиоактивное загрязнение тела лучше всего контролировать с помощью прибора, регистрирующего бета-излучение. Содержание *J-131* в ЩЗ вычисляют по результатам, как минимум двух-трех измерений.

Полученные результаты сравниваются со значениями допустимых доз облучения, приведенных в табл. 1 и 3 [12] и установленных НРБ – 2000.

Таблица 1

Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии

Нормализуемая величина	Предел дозы	
	Персонал	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза, коже, кистях	150 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв

Если результаты превышают допустимые, то в этом случае следует осуществлять эвакуацию беременных женщин и детей в обязательном порядке, а взрослое население эвакуировать с учетом обстановки и местных условий. Учитывая опасность облучения ЩЖ лиц, находящихся первые часы и дни после аварии в зоне высокого загрязнения воздуха $J-131$, требуется в обязательном порядке проводить йодную профилактику путем приема внутрь лекарственных препаратов стабильного йода. Эффективность йодной профилактики в зависимости от времени приема препаратов стабильного йода представлена в табл. (2).

Таблица 2

Защитный эффект в результате проведения йодной профилактики

№ п/п	Время приема препаратов стабильного йода	Эффективность защиты, раз
1	За 6 часов до ингаляции $J-131$	100
2	Во время ингаляции $J-131$	90
3	Через 2 часа после разового поступления	10
4	Через 6 часов после разового поступления	2

Порядок проведения йодной профилактики должен быть выполнен в строгом соответствии с «Рекомендациями по применению препаратов стабильного йода населением для защиты ЩЖ и организма от радиоактивных изотопов йода» [6]. При проведении йодной профилактики следует учитывать, что для поддержания уровней защиты в условиях длительного поступления в организм радиоактивного йода необходим прием препарата стабильного йода в течение всего срока, когда возможно поступление $J-131$, но не более 2-х суток для беременных женщин и детей до 5-ти лет, иначе необходимо для них принимать другие меры защиты, вплоть до эвакуации. Выведение $J-131$ из организма человека совершается обычными путями: почками, желудочно-кишечным трактом, слизистыми оболочками, легкими, молочными железами. Йод в моче находится исключительно в виде йодидов. *Основной способ скорейшего выведе-*

ния радиоактивного йода из организма – замещение его обычным йодом. Учитывая, что за 4 часа теряется 65 % поглощенной дозы, за 24 часа – 90 %, а за 48 часов – 92 %, задача эта представляется не такой уже сложной. Однако длительное пребывание человека в условиях зараженной *J-131* местности требует самого тщательного подхода к дозировке ежедневно вводимого стабильного йода и не должна превышать 200 мкг/сут. Кроме назначения препаратов стабильного йода при пероральном поступлении радиоактивного йода необходимо принять адсорбенты: активированный уголь, слабительное (10 %-ный раствор тиосульфата натрия) с последующим промыванием желудка и применением очистительных клизм. В случае ингаляции радиоактивного йода назначаются отхаркивающие, лечебные ингаляции.

РЕКОМЕНДАЦИИ

по применению препаратов стабильного йода населением для защиты щитовидной железы и организма от радиоактивных изотопов йода

1. При авариях ядерного реактора происходит выброс в окружающую среду значительных количеств радиоизотопов йода. При попадании в организм радиоизотопы йода избирательно накапливаются в ЩЖ, вызывая её поражение (нарушение йодфиксирующей функции, некробиотические и атрофические изменения, бластомогенное действие). Особую радиобиологическую опасность представляют *J-131-135*. Радиоактивные изотопы йода могут поступать в организм через органы пищеварения, дыхания, раневые и ожоговые поверхности кожи. Всасывание растворимых соединений йода при указанных путях поступления в организм достигает 100 %. В ранний период после аварии опасность представляет ингаляционное поступление радиоизотопов йода. Наибольшую опасность имеет элементарное поступление радиоактивного йода при употреблении молока и молочных продуктов от животных, находящихся на выпасе на загрязненных радиоактивным йодом пастбищах, и загрязненных овощей, фруктов.

2. Для защиты организма от накопления радиоактивных изотопов йода в критическом органе – ЩЖ и теле применяются препараты стабильного йода. Препараты стабильного йода вызывают блокаду ЩЖ, снижают накопление радиоизотопов йода в ЩЖ и её облучение. В Республике Беларусь рекомендован и применяется йодистый калий. Своевременный прием йодистого калия обеспечивает снижение дозы облучения ЩЖ на 97–99 % и в десятки раз – всего организма. У нас в стране разработаны препараты в таблеточной форме стабилизированного йодистого калия. Дозы его применения: 0,125 г для взрослых и детей старше 2 лет; 0,040 – для детей до 2 лет. Срок хранения таблетки 4 года. Для расширения арсенала средств защиты ЩЖ от радиоизотопов йода в дополнение к йодиду калия рекомендуются другие препараты йода: раствор Люголя и 5 %-ная настойка йода, оказывающих равное с йодистым калием защитное

действие при поступлении внутрь радиойода. Указанные препараты доступны для населения, так как почти всегда имеются в домашних аптечках. Более широкий набор препаратов йода для защиты ЩЖ от радиоизотопов йода позволит в чрезвычайных условиях осуществлять необходимые меры по обеспечению радиационной безопасности населения, находящегося в зоне радиоактивного выброса или употребляющего загрязненные радиоактивным йодом молоко и другие продукты питания. При отсутствии йодида калия раствор Люголя и настойка йода могут его заменить.

3. Йодистый калий применяют в следующих дозах (в одном из предлагаемых вариантов): взрослым и детям от 2 лет и старше – по 1 таблетке по 0,125 г; детям до 2 лет – по 1 таблетке по 0,040 г для приема внутрь ежедневно; беременным женщинам – по 1 таблетке по 0,125 г с одновременным приёмом перхлората калия - 0,75 г (3 таблетки по 0,25 г). Настойка йода – 5 %-ная применяется взрослым и подросткам старше 14 лет по 44 капли 1 раз в день или по 20 – 22 капли 2 раза в день *после еды* на 1/2 стакана молока или воды. Детям от 5 лет и старше 5 %-ная настойка йода применяется в 2 раза меньшем количестве, чем для взрослых, т.е. по 20 – 22 капли 1 раз в день или по 10 – 11 капель 2 раза в день на 1/2 стакана молока или воды. *Детям до 5 лет настойку йода внутрь не назначают.* Настойка йода может применяться путем её нанесения на кожу. Защитный эффект нанесения настойки йода на кожу сопоставим с её приемом внутрь в тех же дозах. Настойка йода наносится тампоном в виде полос на предплечье, голени. Этот способ защиты особенно приемлем у детей младшего возраста (моложе 5 лет), поскольку перорально настойка йода у них не применяется. Для исключения ожогов кожи целесообразно использовать не 5 %-ную, а 2,5 %-ную настойку йода. Детям от 2-х до 5-ти лет настойку йода наносят из расчета 20-22 капли в день, детям до 2-х лет – в половинной дозе, т.е. 10 – 11 капель в день. *Раствор Люголя* применяется взрослыми и подростками старше 14 лет по 22 капли 1 раз в день или по 10 – 11 капель 2 раза в день после еды на 1/2 стакана молока или воды. Детям от 5 до 14 лет рекомендуется использование раствора Люголя по 10 – 11 капель 1 раз в день или по 5 – 6 капель 2 раза в день на 1/2 стакана молока или воды. Детям до 5 лет применение раствора Люголя не рекомендуется. Препараты йода применяют до исчезновения угрозы поступления в организм радиоактивных изотопов йода.

4. Для осуществления своевременной защиты населения от радиоактивных изотопов йода лечебно-профилактические учреждения создают запас йодида на всё обслуживаемое население из расчета приёма его в течение 7 дней (эффективный биологический период полувыведения) [7]. Предполагается, что за это время будет принято решение либо об эвакуации населения, либо исключено поступление радиойода в организм людей. Обеспечение населения йодистым калием, раствором Люголя и 2,5 – 5%-ная настойкой йода проводится через аптечную сеть, для чего в аптеках создается необходимый запас препаратов йода. Часть запасов йодистого калия медуучреждение передает в детские до-

школьные учреждения, интернаты, больницы, родильные дома и т.д., где они оперативно могут быть применены.

5. Прием препаратов йода осуществляется населением самостоятельно согласно рекомендациям по их применению, для чего следует размножить в необходимых количествах памятки, которые можно получить в любой аптеке, а учреждения обеспечиваются ими заранее. Предлагаемые препараты стабильного йода не представляют опасности для организма в дозах, рекомендуемых для защиты организма от радиоактивных изотопов йода и не оказывают побочного действия для большинства населения. Однако в любом случае следует избегать передозировки препаратов, содержащих йодид калия. Во избежание передозировки (КЖ) органами здравоохранения необходимо проводить разъяснительную работу через печать, радио, телевидение о показаниях к применению препаратов, порядке их применения, хранения и о поведении населения.

6. *Йодная профилактика начинается немедленно при угрозе загрязнения воздуха и территории в результате аварии ядерных реакторов, утечки или выбросов промышленными предприятиями в атмосферу продуктов, содержащих радиоизотопы йода.* После изучения радиационной обстановки специальной комиссией принимается решение о продолжении или отмене йодной профилактики. Йодная профилактика должна быть продолжена в следующих случаях:

- при превышении объемной активности радионуклидов йода в атмосферном воздухе $1,5 \cdot 10^{-13}$ Ки/л ($5,55 \cdot 10^{-3}$ Бк/л);
- при загрязнении пастбищ радионуклидами йода свыше $0,7$ Ки/км² ($2,6 \cdot 10^{10}$ Бк/км²);
- при превышении объемной активности радионуклидов йода в молоке $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/л ($3,7 \cdot 10^2$ Бк/л).

4. Практическая часть

Подводя итоги рассмотрения материала о микроэлементах, следует отметить, что в химический состав клетки человеческого организма входит около 100 элементов периодической системы Менделеева [7]. В природе, как известно, существует определенное равновесие. В живых организмах все элементы, включая радионуклиды, распределяются равномерно или в организме в целом, или в отдельных органах. Микроэлементы, содержание которых в живых организмах составляет $10^5 - 10^{-12}$ вес. % (*Ra, U, Th, Ce* (церит), *La* и др.) называются ультрамикроэлементами. За счет естественных источников радиации, включая космогенные радионуклиды (¹⁴C и др.), средний житель планеты получает суммарную эффективную дозу приблизительно 2,4 мЗв /год, в том числе от внутреннего облучения. 1,6 мЗв /г, от внешнего за счет радиоизотопов зем-

ной коры 0,45 мЗв /год и космического 0,35 мЗв /г [7] (см. табл. 3). По подсчетам НКДАР ООН (научный комитет по действию атомной радиации) человек получает дозу: от радона – около 55 % , от калия – 40 – около 13 % , от космических лучей (в основном от ^{14}C) – 15–16 % ,от других естественных источников – около 15 % . В среднем порядка 60–70 % эффективной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает в организм с пищей, водой и воздухом. В частности, около 180 мкЗв/г (внутреннее облучение) человек получает за счет радиоактивного калия – 40 , который играет существенную роль в процессе его жизнедеятельности. Причем, калий–40 содержится почти во всех пищевых продуктах (табл. 4.) [8]. Примерно $2/3$ эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, обусловлены внутренним облучением. При этом одни и те же концентрации радионуклидов при внутреннем облучении более опасны, чем при внешнем. Из всевозможных способов внутреннего облучения наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха, потому что взрослый человек, занятый работой, потребляет в сутки воздуха приблизительно 20м^3 , а воды всего 2 литра. Заметим также, что радиоактивные вещества, непрерывно поступающие в организм человека, быстро усваиваются и частично выводятся из него. Скорость выведения радионуклидов из различных органов различная. Для оценки скорости выведения радионуклидов из организма принят «период биологического полувыведения» (T_6) – это время, в течение которого количество данного радионуклида в органе или организме уменьшится вдвое. Так как действие радионуклида зависит и от периода полураспада ($T_{1/2}$), то было введено понятие эффективного периода полувыведения ($T_{\text{эф}}$), который определяется по формуле

$$T_{\text{эф}} = T_{1/2} \cdot T_6 / (T_{1/2} + T_6) \quad (1)$$

От эффективного периода полувыведения зависит доза, которую получит пострадавший орган, а от дозы зависят последствия для всего организма. Доза в данном органе может быть рассчитана по следующей

$$D = 73 \cdot E_{\text{эф}} \cdot A_0 \cdot T_{\text{эф}} \cdot \left[1 - e^{-\left(0,693 t / T_{\text{эф}}\right)} \right], \quad (2)$$

где $E_{\text{эф}}$ – средняя энергия β – частиц, МэВ; A_0 – удельная радиоактивность; t – время нахождения радионуклида в органе или организме.

Активность (A) радионуклида (Ku/kg) можно определить, зная его массу (m) и наоборот. Зависимость между массой радионуклида и его активностью имеет практическое значение, поэтому представим подробный вывод этого уравнения. Известно, что масса одного грамм-моля вещества (радионуклида) численно равна массовому числу его (Am), выраженному в граммах. С другой

стороны, число атомов в одном грамм-моле равно числу Авогадро, т.е. $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Тогда на основании пропорции, учитывая, что $A = \lambda \cdot N$ (при $t = 0$ – начало отсчета), а $\lambda = 0,693 / T_{1/2}$ (постоянная распада радионуклида), находим (m):

$$m = K \cdot A \cdot T_{1/2} \cdot A_m \quad (3)$$

где A_m – атомная масса; m – масса радионуклида в г; $T_{1/2}$ – период полураспада в секундах.

В этом случае $K = 2,4 \cdot 10^{-24}$ и активность будет выражена в Бккерелях. Беккерель (Бк) – единица активности в системе СИ. Это активность такого количества радионуклида, когда за 1 с происходит в среднем 1 распад. На практике широкое распространение получила внесистемная единица активности Кюри (Ки). Это активность такого количества радионуклида, в котором за 1 с происходит 37 млрд распадов. Активность в 1 Ки соответствует активности 1 грамма радия. При определении массы радионуклида по степени загрязнения территории в (Ки/км²) по уравнению (3) следует использовать $K = 8,86 \cdot 10^{-14}$, учитывая, что $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Для удобства расчета A и затем удельной активности выражение (3) запишем в виде

$$A = l \cdot m / (A_m \cdot T_{1/2}) \quad (3a),$$

где $l = 1 / K$. Если A выражена в Кюри, то $l = 1,13 \cdot 10^{13}$, а в Беккерелях $l = 4,17 \cdot 10^{23}$. Зная A и используя основной закон радиоактивного распада, выраженный через активность и период полураспада можно также спрогнозировать падение активности любого радионуклида спустя определенное время t по уравнению

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}} \quad (4)$$

или

$$\lg(A_0 / A) = t / (3,32 \cdot T_{1/2}), \quad (4a)$$

где A – радиоактивность в момент t .

Варианты задач для самостоятельной работы

1. Рассчитать общую активность и удельную активность своего организма, исходя из собственного веса (массы, кг) по уравнению (3а).

а) по космогенному радионуклиду ^{14}C (A_k), учитывая, что среднее содержание биологического углерода в организме составляет 18 % [10]. Период полураспада для углерода-14 равен 5 730 лет;

Вариант 1. Рассчитать активность организма исходя из того, что 1 г углерода биологического происхождения дает 15,3 [11] распада в минуту за

счет примеси углерода-14 (радионуклид). Содержание ^{14}C в 1 г биологического углерода равно $1,6 \cdot 10^{-12}$ г;

Вариант 2. Рассчитать активность организма, исходя из того, что углерод биологического происхождения содержит $1,6 \cdot 10^{-10}$ % ^{14}C .

б) по естественным радионуклидам:

1) Рассчитать активность своего организма по радионуклиду ^{40}K (A^1) содержание (суммарное) калия в человеческом организме составляет 0,27 % [10]. Содержание ^{40}K в природном калии составляет $1,8 \cdot 10^{-3}$ %. Период полураспада ^{40}K равен $1,28 \cdot 10^9$ лет;

2) Рассчитать активность организма по радионуклидам уранового и ториевого рядов (A^2) учитывая, что в организме взрослого человека массой 70 кг содержится в среднем [12]: урана-238 – $7 \cdot 10^{-4}$ г; урана-235 – $5 \cdot 10^{-6}$ г; тория-232 – $7 \cdot 10^{-1}$ г; радия-226 – $2,5 \cdot 10^{-10}$ г. Периоды полураспада для этих элементов следующие: ^{238}U – $4,47 \cdot 10^9$ лет; ^{235}U – $7,04 \cdot 10^8$ лет; ^{232}Th – $1,4 \cdot 10^{10}$ лет; ^{226}Ra – $1,6 \cdot 10^3$ лет.

в) Общая активность организма равна сумме $A_{\text{K}} + A^1 + A^2 + \dots + A^{Rn}$, где A^{Rn} – активность по радону.

2. Рассчитать активность (по уравнению (3а)) одного из продуктов питания по ^{40}K ($T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ лет). Данные о содержании природного калия в продуктах питания в табл. 4.

3. Рассчитать необходимую массу радиоизотопов (по уравнению (3)) для создания загрязнения в 1, 5, 10, 15 $\text{Ки}/\text{км}^2$ для радионуклидов: $J-131$ ($T_{1/2} = 8,05$ сут.); $Mn-52$ ($T_{1/2} = 271$ суток); $Sr-90$ ($T_{1/2} = 29,12$ лет); $Cs-137$ ($T_{1/2} = 30$ лет); $C-14$ ($T_{1/2} = 5730$ лет); $Pu-239$ ($T_{1/2} = 24\,300$ лет); $K-40$ ($T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ лет); $U-238$ ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет) [13].

4. Рассчитать падение активности (по уравнению 4а) радионуклидов ($J-131$, $Sr-90$, $Cs-137$, $Pu-239$, $U-238$ и др.) с течением времени (t), заданного преподавателем.

5. Рассчитать эффективные биологические периоды полувыведения ($T_{\text{эф}}$) (по уравнению (1)) радионуклидов организмом или отдельными органами (по заданию преподавателя). Данные для расчета приведены в табл. 5.

6. Рассчитать дозу, полученную организмом или отдельным органом от внутреннего облучения радионуклидами представленными в табл. 5 по уравнению (2) (по заданию преподавателя).

7. Рассчитать эквивалентную дозу, полученную организмом от внешнего облучения радионуклидами (по заданию преподавателя) на загрязненной тер-

ритории в 1, 5, 10, 15 Ku/km^2 . При расчете учесть, что загрязнение в 1 Ku/km^2 эквивалентно 15 мк Р/ч, а 1 мк Р/ч создает эквивалентную дозу облучения, равную 0,05 мЗв/г.

Таблица 3

Среднегодовые эффективные дозы, получаемые человеком (мЗв) ежегодно при облучении естественным радиационным фоном

Источник излучения	Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Полная доза
Космическое излучение	0,355	0,015	0,37
Радиоизотопы земной коры			
Калий–40	0,15	0,18	0,33
Ряд урана–238 (радон–222)	0,1	1,24 (1,1)	1,34
Ряд тория–232 (радон–220)	0,16	0,18 (0,16)	0,24
Доза естественного фона	0,8	1,6	2,4

Таблица 4

Содержание природного калия в 100 г продукта [8]

Наименование продукта	Съедобная часть, %	К (мг)
Хлеб ржаной	100	249
Хлеб пшеничный	100	138
Макароны	100	138
Горох	98	925
Молоко	100	127
Говядина	79	305
Яйца	86	135
Треска	78	361
Капуста	80	185
Картофель	75	568
Яблоки	88	98
Апельсины	75	197

Радиобиологические свойства некоторых радионуклидов [7]

Радионуклид	Критический орган	Период полураспада ($T_{1/2}$) сут.	Биологический период полувыведения (T_b) сут.	$E_{эф}$ МэВ
Тритий	Все тело	$4,5 \cdot 10^3$	10	0,01
Углерод – 14	Все тело	$2,0 \cdot 10^6$	10	0,054
	Жировая ткань		12	0,054
	Скелет		40	2,7
Фосфор – 32	Мягкие ткани	14,3	19	0,69
	Плазма крови		0,5	0,04
	Скелет		1 500	3,5
Калий – 42	Все органы и ткани	0,52	30	1,6
Стронций – 42	Скелет	$1,0 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	1,1
Йод – 131	Все тело	8,05	12	0,41
	Щитовидная железа		120	0,2
Цезий – 137	Все тело	$1,1 \cdot 10^4$	110	0,59
Радий – 226	Все тело (кроме почек, печени, селезенки)	$5,9 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^3$	110
	Скелет		$1,6 \cdot 10^4$	196

5. Контрольные вопросы

1. Роль микроэлементов в жизни человека.
2. Основные симптомы дефицита или избытка микроэлементов в организме человека.
3. Йод как один из основных микроэлементов в организме человека.
4. Щитовидная железа и йоддефицитные заболевания.
5. Роль йодной профилактики населения в повседневной жизни.
6. Радиоизотопы йода. Влияние радиоизотопов йода на щитовидную железу.
7. Виды йодной профилактики.
8. Защитный эффект в результате проведения йодной профилактики.
9. Препараты для проведения йодной профилактики.
10. Нормы (уровни загрязнений) для проведения йодной профилактики.
11. Ультрамикроэлементы, содержащиеся в организме человека.
12. Единицы измерения удельной активности.

Литература

1. Асаенок, И. С. Радиационная безопасность. / И. С. Асаенок, А. И. Навоша - Минск : Бестпринт, 2004 г.
2. Гергалов, В. И. Радиация, жизнь и окружающая среда. / В. И. Гергалов, Е. П. Петряев - Минск, Народная асвета, 1994 г.
3. Дорожко, С. В. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность ч. III. / С. В. Дорожко, В. П. Бубнов, В. Т. Пустовит - Минск, Дикта, 2006 г.
4. Ершов, Ю. А. Механизмы токсического действия неорганических соединений. / Ю. А. Ершов, Т. В. Плетнева - М., Медицина, 1980 г.
5. Козлов, В.Ф. Справочник по радиационной безопасности, - М.: Энергоатомиздат, 1991 г.
6. Краткая медицинская энциклопедия Т. 2, - Москва, Советская энциклопедия, 1978 г, - 402 с.
7. Краткий справочник химика, Издание УП. – М – Л.: Химия, 1964 г.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 2000). - Минск, УП Диекос, 2002 г.
9. Основы медицинской радиологии; под общ. ред. И. Б. Ушакова, - СПб.: Фолиант, 2004 г.
10. Подвигин, Г. П. Йод и йодная профилактика. – СПб.: УМЦ, 2005 г.
11. Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека. - М.: Энергоатомиздат, 1988 г.
12. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1991 г.
13. Человек. Медико-биологические данные. - М., Медицина, 1977 г.
14. Хрунжит, В. В. Последствия заражения организма человека радиоактивным йодом (J – 131) / В. В. Хрунжит, А. В. Дробаченко - СПб.: СПб ГПМА, 1996 г.

Содержание

1. Микроэлементы и их роль в жизни человека.....	3
2. Щитовидная железа и йоддефицитные заболевания.....	8
3. Особенности воздействия <i>J-131</i> в чрезвычайных ситуациях.....	12
4. Практическая часть.....	17
5. Контрольные вопросы.....	23
Литература.....	24

Учебное издание

**Бражников Михаил Михайлович,
Кирвель Иван Иосифович**

ЙОД И ЙОДНАЯ ПРОФИЛАКТИКА

Методическое пособие

для практических занятий по дисциплине «Основы экологии и энергосбережения»

Редактор Е. Н. Батурчик.

Корректор М. В. Тезина.

Компьютерная верстка

Подписано в печать	2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ.л.
Уч.-изд.л.		Тираж экз	Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004.
ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П.Бровки, 6

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

Кафедра экологии

А. И. Навоша, Е. В. Гончарик, И. Ф. Лисименко, А. С. Рылов

ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Методическое пособие

Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

А. И. Навоша, Е. В. Гончарик, И. Ф. Лисименко, А. С. Рылов

ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережения»

Минск 2007

УДК 621.039(075.8)

ББК 69.69 я 73

Н 45

Навоша А.И.

Н-45 Оценка способов передачи электроэнергии: метод. пособие по дисциплине «Основы экологии и энергосбережение» / А.И. Навоша, Е.В. Гончарик, И.Ф. Лисименко, А.С. Рылов – Мн.: БГУИР, 2007. – 18с.
ISBN 978-985-488-162-3

Содержится краткая характеристика способов передачи электроэнергии. Рассматриваются понятия о реактивной мощности в линиях электропередачи и способах ее уменьшения. Приведены примеры решения задач с использованием изложенных методик и предложены варианты задач для самостоятельной работы студентов. В приложении приведены необходимые для решения задач справочные материалы. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

УДК 621.039(075.8)

ББК 68,69 я 73

ISBN 978-985-488-162-3

© Навоша А.И., Гончарик Е.В.,
Лисименко И.Ф., Рылов А.С., 2007.

© УО «Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники», 2007.

1. Краткая характеристика способов передачи электроэнергии

Передача электроэнергии потребителю может осуществляться двумя способами: без повышения напряжения и с повышением напряжения. Для передачи электроэнергии применяются электрические сети, которые состоят из воздушных или кабельных линий электропередачи (ЛЭП), трансформаторных подстанций, распределительных устройств.

Источник энергии, провода, приемник (потребитель) образуют неразветвленную электрическую цепь (рис. 1).

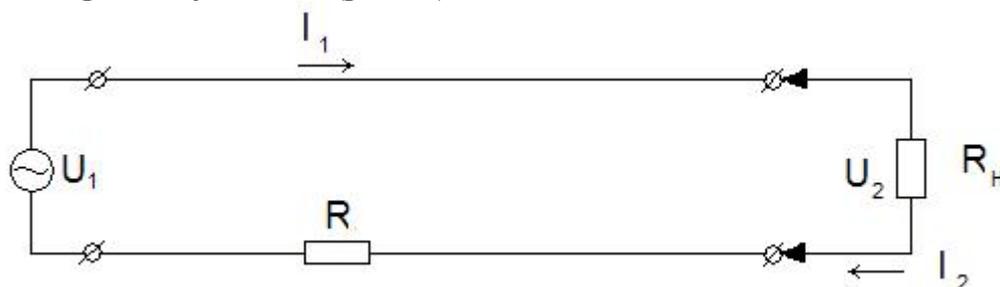


Рис. 1. ЛЭП без повышения напряжения

В основе анализа электрической цепи применяются закон Ома и формула для расчета мощности участка цепи, т.е.

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{и} \quad P = IU,$$

где I – электрический ток, А; U – напряжение цепи, В; P – мощность, Вт.

Положим, что полезная нагрузка P , обусловленная сопротивлением потребителя R_n и сопротивлением цепи R , остаются постоянными. При этих допущениях полезная мощность P , передаваемая от источника потребителю, равна

$$P = I_1 U_1 \quad \text{и} \quad P = I_2 U_2.$$

Потери энергии оцениваются выражениями

$$P_1 = I_1^2 R \quad \text{и} \quad P_2 = I_2^2 R.$$

Относительная величина потерь составит

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2 R}{I_2^2 R} = \frac{I_1^2}{I_2^2}.$$

Так как $I_1^2 = \frac{P^2}{U_1^2}$, а $I_2^2 = \frac{P^2}{U_2^2}$, то получим

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{P}{U_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{P}{U_2}\right)^2 = \frac{P^2 \cdot U_2^2}{P^2 \cdot U_1^2} = \frac{U_2^2}{U_1^2}.$$

Следовательно, потери энергии при ее передаче обратно пропорциональны квадрату напряжения. По этой причине в линиях электропередачи используются высокие напряжения. Применение высоких напряжений позволяет передавать большие мощности на далекие расстояния при относительно малых сечениях провода.

При передаче энергии имеет место падение напряжения в проводах. Следовательно, напряжение в конце линии U_2 меньше напряжения в начале U_1 . Разность между напряжениями U_1 и U_2 называют потерей напряжения ΔU , т.е. $\Delta U = U_1 - U_2$. Потери напряжения объясняются сопротивлением проводов r_0 , которое оценивается выражением

$$r_0 = \frac{l \cdot \rho}{S},$$

где l —длина провода;

ρ —удельное сопротивление материала провода;

S —поперечное сечение провода.

Выразим величину потерь напряжения ΔU по закону Ома

$$\Delta U = I \cdot r_0 \quad \text{или} \quad \Delta U = \frac{I \cdot l \cdot \rho}{S}.$$

Потеря напряжения обычно допускается небольшой по сравнению с напряжением U_1 с целью экономии энергии и обеспечения незначительного колебания напряжения у потребителя при изменении сопротивления, а значит, и тока приемника.

Так, например, для электрических ламп допустимо изменение напряжения 1—2 %, для электродвигателей 2—5% номинального значения напряжений.

Очень часто при расчетах потерь напряжения задаются и определяют необходимое сечение провода:

$$S = \frac{I \cdot l \cdot \rho}{\Delta U}. \quad (1)$$

Выразим потерю напряжения в процентах напряжения у потребителя

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\%.$$

Подставив значение ΔU в формулу (1), получим:

$$S = \frac{I \cdot l \cdot \rho \cdot 100}{U_2 \cdot e}. \quad (2)$$

Умножая числитель и знаменатель правой части выражения (2) на U_2 , получим:

$$S = \frac{I \cdot l \cdot \rho \cdot 100}{e \cdot U_2} \cdot \frac{U_2}{U_2} = \frac{P_2 \cdot l \cdot \rho \cdot 100}{e \cdot U_2^2}. \quad (3)$$

Рассчитанное сечение провода проверяется на нагрев.

При передаче энергии некоторая ее часть «теряется» в проводах. Мощность потерь оценивается выражением

$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 = \frac{I^2 \cdot l \cdot \rho}{S} \quad \text{или} \quad \Delta P = I \cdot \Delta U.$$

Пример 1. Напряжение источника электроэнергии $U_1=220$ В. Расстояние от источника до потребителя 1,0 км. Напряжение в конце линии электропередачи $U_2=215$ В. Определить сечение медных проводов для передачи мощности $P_2=1,5$ кВт и проверить сечение на нагрев.

Решение

1. Определяем допустимую потерю напряжения

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 220 - 215 = 5 \text{ В}.$$

2. Выражаем потерю напряжения у потребителя в процентах

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\% = \frac{5}{215} \cdot 100 = 2,33\%.$$

3. Определяем сечение медного провода, у которого удельное сопротивление $\rho=0,0175$ Ом·мм²/м (табл. 1 прил. 1), по формуле (3)

$$S = \frac{P_2 \cdot l \cdot \rho \cdot 100}{e \cdot U_2^2} = \frac{1500 \cdot 1500 \cdot 0,0175 \cdot 100}{2,33 \cdot 46225} = 36,5 \text{ мм}^2.$$

(Ближайшее стандартное сечение $S=50$ мм², табл. 2 прил. 1).

4. Проверяем выбранное сечение на нагрев. Изолированный медный провод сечением 50 мм² допускает ток 90 А.

Определяем ток в линии:

$$I = \frac{P_2}{U_2} = \frac{1500}{215} = 6,97 \text{ А},$$

т.е. значительно меньше допустимого.

Второй способ передачи электроэнергии потребителю осуществляется путем изменения напряжения в ЛЭП с помощью трансформаторов (рис. 2).

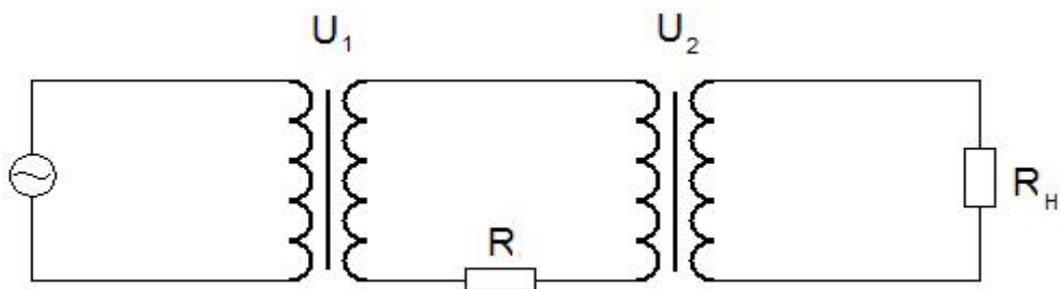


Рис. 2. ЛЭП с повышением напряжения

Наличие трансформаторов в передающих и распределяющих системах переменного тока приводит к возникновению индуктивного сопротивления и дополнительным потерям энергии за счет реактивной мощности.

Неразветвленная цепь переменного тока с последовательно включенными активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями приведена на рис. 3.

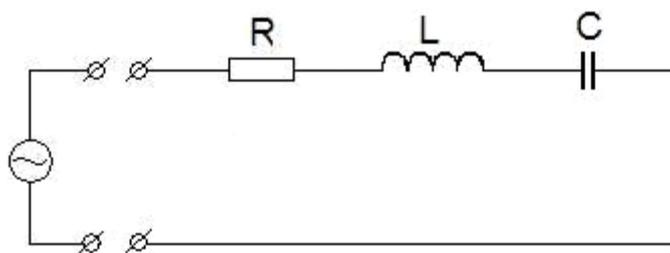


Рис. 3. Электрическая цепь с последовательно включенными активным и реактивными сопротивлениями

Переменное напряжение электрической цепи создает в ней переменный ток, который, в свою очередь, приводит к возникновению магнитного потока. Магнитный поток наводит в цепи электродвижущую силу (э. д. с.) самоиндукции. Таким образом, цепь с индуктивностью обладает индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L = 2\pi f L$, величина которого увеличивается с ростом частоты.

В цепи, показанной на рис. 3, имеется также емкость. При переменном напряжении конденсатор периодически заряжается и разряжается. Это происходит вследствие того, что напряжение на его обкладках изменяется как по величине, так и по направлению.

Произведение емкости конденсатора C на угловую частоту ω называется его проводимостью. Емкостное сопротивление, которое оказывает конденсатор переменному току, равно величине, обратной проводимости. Емкостное сопротивление X_c оценивается выражением
$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Напряжение, которое образуется на обкладках конденсатора, является причиной возникновения дополнительного емкостного сопротивления.

Электрическую цепь, в которой имеет место изменение магнитного и электрического полей, а также преобразование электрической энергии в тепловую, характеризуют тремя основными параметрами: сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Полное напряжение U в этой цепи состоит из напряжений на активном сопротивлении U_A , на индуктивном U_L и емкостном сопротивлении U_C , т.е.

$$U^2 = U_a^2 + (U_L - U_c)^2$$

Выразив напряжения через ток и соответствующие значения сопротивлений, получим

$$U = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} .$$

Ток I , протекающий в цепи, оценивается выражением

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} . \quad (4)$$

Формула (4) является математическим выражением закона Ома для цепи переменного тока, состоящей из активного R , индуктивного ωL и емкостного $1/\omega C$ сопротивлений.

На рис. 4 показан треугольник сопротивлений для рассматриваемой электрической цепи.

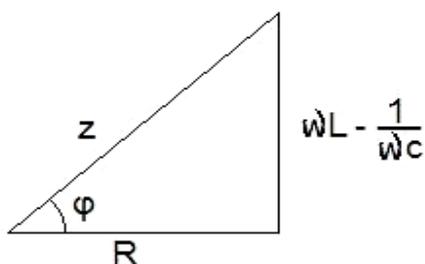


Рис. 4. Треугольник сопротивлений.

Полное сопротивление для такой цепи Z может быть определено из выражения

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} .$$

Из треугольника сопротивлений получим формулу для определения коэффициента мощности «косинуса фи», т.е.

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} .$$

Зная «косинус фи», можно найти угол сдвига фаз между током и напряжением, т.е. угол φ .

Из треугольника сопротивлений видно, что величина коэффициента мощности ($\cos \varphi$) зависит от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлением.

Рассматриваемая электрическая цепь характеризуется полной (полезной) мощностью P_n . Полная мощность состоит из двух составляющих частей: активной P_a и реактивной P_p . Она рассчитывается из выражения

$$P_n = \sqrt{P_a^2 + P_p^2}.$$

Активная мощность затрачивается в электрической цепи на преобразование электрической энергии в тепловую (механическую, световую) энергию. Это преобразование происходит в активном сопротивлении R . Активная мощность оценивается соотношением

$$P_a = U_a \cdot I = I^2 \cdot R.$$

Реактивная мощность характеризует часть электрической энергии, получаемую от источника переменного тока и возвращаемую обратно из цепи к источнику тока. Эта мощность связана с индуктивным сопротивлением и рассчитывается из соотношения

$$P_p = U_L \cdot I = I^2 \cdot \omega L$$

Реактивная мощность приводит к потерям энергии в ЛЭП. Эту мощность можно уменьшить, последовательно включив в цепь емкостное сопротивление X_C в виде батареи конденсаторов.

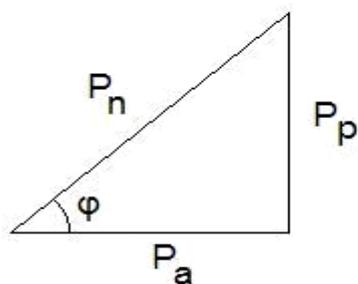


Рис. 5. Треугольник мощности

Полная мощность и ее составляющие части, представленные в виде отрезков, образуют треугольник мощности (рис. 5).

О соотношении между активной и полной мощностью можно судить по коэффициенту мощности (косинуса угла φ), который показывает степень запаздывания тока от напряжения:

$$P_n = \frac{P_a}{\cos \varphi}, \cos \varphi = \frac{P_a}{P_p} = \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot Z} = \frac{R}{Z}.$$

Так как активная мощность равна произведению полного напряжения, приложенного к цепи, тока в ней и коэффициента мощности, то

$$P_a = U \cdot I \cdot \cos \varphi .$$

Поэтому всегда надо стремиться к тому, чтобы $\cos \varphi$ был возможно большим. Для цепей, состоящих только из индуктивного сопротивления или только емкостного, коэффициент мощности равен нулю. Для цепи, в которой имеется только активное сопротивление, он равен единице.

Снижение потерь в ЛЭП может быть достигнуто использованием постоянного тока или сверхпроводников. Однако в этих случаях требуются мощные преобразователи напряжения, а также эксплуатация таких линий показала их высокую стоимость и нерентабельность.

Пример 2. Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление $R=100$ Ом и индуктивное сопротивление $X_L=120$ Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь включено емкостное сопротивление $X_C=50$ Ом. Напряжение в цепи равно $U=127$ В. Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность.

Решение.

1. Определяем сопротивление цепи с активным и индуктивным сопротивлениями

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 156 \text{ Ом} .$$

2. Определяем сопротивление цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 122 \text{ Ом} .$$

3. Определяем потребляемую мощность

$$P_1 = \left(\frac{U^2}{R}\right) \cdot \left(\frac{Z_1}{R}\right) = 251,6 \text{ Вт}; \quad P_2 = \left(\frac{U^2}{R}\right) \cdot \left(\frac{Z_2}{R}\right) = 196,7 \text{ Вт} .$$

$$\Delta P = 251,6 - 196,7 = 54,9 \text{ Вт} .$$

Вывод. Потребляемая мощность при подключении емкости уменьшилась на 54,9 Вт.

Пример 3. Напряжение приемника электрической энергии $U=1$ кВ, мощность $P=50$ кВт. Определить мощность потерь в проводах, соединяющих приемник с источником энергии, при $\cos \varphi_1=0,8$ и $\cos \varphi_2=0,2$, если сопротивление проводов $r_0=0,1$ Ом.

Решение.

1. Определяем ток приемника в первом и втором случаях

$$I_1 = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_1} = \frac{50000}{1000 \cdot 0.8} = 62,5 \text{ A}.$$

$$I_2 = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_2} = \frac{50000}{1000 \cdot 0,2} = 250 \text{ A}.$$

2. Определяем мощность потерь в соединительных проводах

$$P_1 = I_1^2 \cdot r_0 = 62,5^2 \cdot 0,1 = 390 \text{ Вт}.$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot r_0 = 250^2 \cdot 0,1 = 6250 \text{ Вт}.$$

3. Выражаем в процентах мощности потерь по отношению к мощности приемника

$$\Delta P_1 = \frac{390 \cdot 100}{50000} = 0,78\%; \quad \Delta P_2 = \frac{6250 \cdot 100}{50000} = 12,5\%.$$

Выводы.

1. Повышение $\cos \varphi$ означает громадную экономию электрической энергии, так как уменьшаются потери в источнике энергии, трансформаторах, воздушных или кабельных сетях.

2. Низкий коэффициент мощности не позволяет полностью использовать установленную мощность источника энергии.

Пример 4. К источнику электроэнергии с напряжением $U=250$ В и частотой $f=50$ Гц подключена последовательная цепь, состоящая из активного сопротивления $R=30$ Ом, индуктивности $L=382$ мГн и емкости $C=40$ мкФ.

Определить: реактивные сопротивления индуктивности и емкости; полное сопротивление цепи и ток в ней; активную и реактивные слагающие напряжений на активном сопротивлении, индуктивности и емкости, $\cos \varphi$; $\sin \varphi$; активную, реактивную и полную мощности цепи.

Решение.

1. Определяем сопротивление индуктивности X_L

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,382 = 120 \text{ Ом}.$$

2. Определяем сопротивление емкости X_C

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40} = 80 \text{ Ом}.$$

3. Определяем полное сопротивление цепи Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + (120 - 80)^2} = 50 \text{ Ом}.$$

4. Определяем ток в цепи I

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{250}{50} = 5 \text{ А}.$$

5. Определяем активную и реактивные слагающие напряжения на активном сопротивлении, индуктивности и емкости:

а) активном сопротивлении

$$U_a = I \cdot R = 5 \cdot 30 = 150 \text{ В};$$

б) индуктивности

$$U_L = I \cdot X_L = 5 \cdot 120 = 600 \text{ В};$$

в) емкости

$$U_C = I \cdot X_C = 5 \cdot 80 = 400 \text{ В}.$$

6. Определяем углы сдвига фаз между напряжением и током

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{50} = 0,6;$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z} = \frac{120 - 80}{50} = 0,8.$$

7. Определяем активную мощность цепи

$$P_a = U_a \cdot I \cdot \cos \varphi = 150 \cdot 5 \cdot 0,6 = 450 \text{ Вт}.$$

8. Определяем реактивную мощность цепи

$$P_p = (U_L - U_C) \cdot I \cdot \sin \varphi = (600 - 400) \cdot 5 \cdot 0,8 = 800 \text{ ВАР}.$$

9. Определяем полную мощность цепи

$$P_n = \sqrt{P_a^2 + P_p^2} = \sqrt{450^2 + 800^2} = 918 \text{ Вт}.$$

Рассмотрены выше электрические цепи с сосредоточенными параметрами; в них сопротивления и емкости сосредоточены на отдельных коротких участках. Для этих цепей характерно, что в каждый момент времени ток в любом сечении неразветвленной цепи имеет одно и то же значение.

Цепи, в которых эти параметры распределены по всей длине, называют цепями с распределенными параметрами. В таких цепях токи в разных сечениях неодинаковы по ряду причин. Во-первых, проводимости изоляции отдельных участков, обуславливающие токи утечки; а также вследствие емкости между отдельными участками, обуславливающей токи смещения и др.

Так как токи утечки пропорциональны напряжению, а токи смещения пропорциональны частоте и напряжению, то с ростом частоты и напряжения их влияние становится более заметным.

К цепям с распределенными параметрами относятся линии и сети, соединяющие источник энергии и потребителя (рис. 1). Ток в любом сечении один и тот же; в частности, ток в начале линии I_1 равен току в конце линии I_2 , а напряжение в конце линии U_2 меньше напряжения в начале линии U_1 на величину падения напряжения ΔU в проводах.

Гораздо сложнее расчет режима с учетом токов утечки и смещения. В этом случае передачу энергии следует рассматривать как движение электромагнитных волн или тока и напряжения.

При включении генератора в начале линии возникают волны тока и напряжения, которые двигаются от источника (начало линии) к приемнику (конец линии). Когда электромагнитная волна достигает конца линии, ее энергия в общем случае лишь частично поглощается приемником. Поэтому возникают отраженные волны тока и напряжения, перемещающиеся в обратном направлении. Только при подобранном сопротивлении нагрузки вся энергия может поглощаться приемником и отраженные волны будут отсутствовать.

Скорость распространения электромагнитных волн вдоль проводов воздушных линий примерно 300 000 км/с. Тогда длина волны λ равна

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн;

f – частота источника энергии.

При частоте $f=50$ Гц длина волны $\lambda = \frac{300\,000}{50} = 6\,000$ км, при частоте $f=10^6$ Гц имеем $\lambda=300$ м и т.д.

Если длина волны известна, то легко качественно показать распределение тока (или напряжения) вдоль линии в любой момент времени и без вычислений токов утечки и смещения.

Так как длина волны обратно пропорциональна частоте, то одна и та же линия при одной частоте будет длинной линией, а при другой, меньшей частоте может быть и «недлинной».

Любая электрическая линия характеризуется четырьмя параметрами, отнесенными к единице ее длины: активным сопротивлением проводов r_0 , индуктивностью проводов L_0 , активной проводимостью изоляции между проводами q_0 и емкостью между проводами C_0 .

Если активное сопротивление и индуктивность распределены равномерно по всей длине линии, то линию называют однородной.

При исследовании длинных линий, обладающих распределенными параметрами, их обычно заменяют равнозначными схемами. Длинная линия рассматривается состоящей из бесконечно большого числа элементарных ячеек— элементов линии бесконечно малой длины: с активным сопротивлением, индуктивностью, проводимостью изоляции и емкостью, находящихся на разном расстоянии от начала линии.

В каждом элементе линии наблюдаются падение напряжения на активном сопротивлении и индуктивности, а также отвлечение тока вследствие проводимости изоляции и емкости.

При синусоидальном напряжении источника энергии для расчета режима линии применяют символический метод. В этом случае используют дифференциальные уравнения однородной линии [1]:

$$-\frac{d\dot{U}}{dx} = (R_0 + j\omega L_0)\dot{I} = Z_0 \cdot \dot{I}; \quad (5)$$

$$-\frac{d\dot{I}}{dx} = (q_0 + j\omega C_0)\dot{U} = Y_0 \cdot \dot{U}, \quad (6)$$

где $Z_0 = R_0 + j\omega L_0$ - комплекс сопротивления единицы длины линии;
 $Y_0 = q_0 + j\omega C_0$ - комплекс проводимости единицы длины линии.

Уравнение (5) показывает, что уменьшение напряжения в линии на единицу ее длины равно току, проходящему в этом сечении линии, умноженному на полное сопротивление единицы длины линии.

Из уравнения (6) следует, что уменьшение тока на единицу длины линии равно напряжению между проводами, в данном сечении линии, умноженному на полную проводимость между проводами на единицу длины линии.

2. Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Напряжение источника электроэнергии U_1 , В. Расстояние от источника до потребителя l , км. Напряжение в конце линии электропередачи U_2 , В. Определить сечение проводов для передачи мощности P_2 , кВт и проверить сечение на нагрев. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$U_1, В$	125	225	220	127	120	230
$U_2, В$	120	212	215	122	115	225
$l, км$	1,0	2,0	3,0	2,5	2,0	1,5
$P_2, кВт$	1,0	0,8	3,0	2,0	2,5	1,5
Вид про- вода	медь	медь	алюминий	медь	алюминий	медь

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
$U_1, В$	220	125	127	220	127	127
$U_2, В$	218	120	125	215	125	125
$l, км$	2,0	1,5	1,0	1,5	0,8	1,0
$P_2, кВт$	1,2	3,0	3,5	2,5	4,0	3,2
Вид про- вода	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь

Задача 2. Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление R , Ом и индуктивное сопротивление X_L , Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь включено емкостное сопротивление X_C , Ом. Напряжение в цепи равно $U=127 В$. Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$R, Ом$	110	90	80	100	120	95
$X_L, Ом$	125	120	110	130	135	115
$X_C, Ом$	55	40	35	50	55	45

Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
$R, Ом$	85	115	125	75	130	85
$X_L, Ом$	130	145	150	115	160	125
$X_C, Ом$	60	65	70	45	80	65

Задача 3. Напряжение приемника электрической энергии U , кВ, мощность P , кВт. Определить мощность потерь в проводах, соединяющих приемник с источником энергии, при $\cos \varphi_1=0,8$ и $\cos \varphi_2=0,2$, если сопротивление проводов $r_0=0,1$ Ом. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
U , кВ	1,0	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5
P , кВт	45	48	50	52	55	57

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
U , кВ	2,7	3,0	1,2	1,9	2,4	3,1
P , кВт	60	62	46	49	54	61

Задача 4. К источнику электроэнергии с напряжением $U=250$ В и частотой $f=50$ Гц подключена последовательная цепь, состоящая из активного сопротивления R , индуктивности L и емкости C .

Определить: реактивные сопротивления индуктивности и емкости; полное сопротивление цепи и ток в ней; активные и реактивные слагающие напряжений на активном сопротивлении, индуктивности и емкости; $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$; активную, реактивную и полную мощности цепи. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Параметр	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
R , Ом	35	37	39	40	34	36
L , мГн	390	395	400	405	350	360
C , мкФ	45	50	55	60	40	41

Продолжение таблицы 2.4

Параметр	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
R , Ом	45	50	47	49	42	44
L , мГн	410	420	405	380	400	385
C , мкФ	65	70	62	42	45	41

Контрольные вопросы

1. Способы передачи электроэнергии и их характеристика.
2. Перечислите элементы, входящие в состав электрической сети.
3. Понятие о потерях напряжения в линиях электропередачи и факторы, от которых они зависят.
4. Почему в линиях электропередач применяются высокие напряжения?
5. Характеристика факторов, от которых зависит сечение провода в высоковольтных линиях.
6. Что такое активная мощность в цепи переменного тока и от чего она зависит?
7. Понятие о реактивной мощности и способы ее компенсации.
8. Понятие о полной мощности в цепи переменного тока и методика ее расчета.
9. Что показывает коэффициент мощности и методика его расчета.
10. Почему в электрических цепях с распределенными параметрами токи в разных сечениях проводов неодинаковы?
11. Характеристика параметров длинной электрической линии.
12. Пояснить причины образования отраженных электромагнитных волн в конце линии электропередачи.

Литература

1. Володин В.И. Энергосбережение: Учеб. Пособие. – Мн. : БГТУ, 2001.
2. Мансуров Н. Н., Попов В. С. Теоретическая электротехника: Учеб. Пособие, М., «Энергия», 1968.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1

Материал	Плотность, г/см ³	Предел проч- ности на раз- рыв, кг/мм ²	Температура плавления, °С	Удельное со- противление, Ом·мм ² /м
Алюминий	2,7	14 – 22	657	0,029
Вольфрам	18,7	415	3370	0,056
Медь	8,9	25 – 40	1083	0,0175
Сталь	7,8	80 – 150	1400	0,13 – 0,25
Железо	7,7	—	1520	0,13 – 0,3

Таблица 2

Поперечное сече- ние, мм ²	Наибольший допус- тимый ток, А	Поперечное сечение, мм ²	Наибольший допус- тимый ток, А
0,50	10	35	150
0,75	13	50	190
1,0	15	70	240
1,5	20	95	290
2,5	27	120	340
4,0	36	150	390
6,0	46	185	450
10	68	240	535
16	90	300	615
25	120	400	735

Учебное издание

Навоша Адам Имполитович
Гончарик Елена Валентиновна
Лисименко Иван Филиппович
Рылов Александр Сергеевич

**ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережения»

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Кафедра экологии

И.И. Кирвель, М.М. Бражников, Е.Н. Зацепин

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛООБМЕНА

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Основы экологии и энергосбережение»
для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР

Минск 2007

УДК 621.31(075.8)

ББК 31.15я73

К 43

Рецензент: доктор химических наук, зав. кафедрой высокомолекулярных соединений БГУ,
профессор – Круль Л.Н.

Кирвель И.И.

Энергосбережение в процессах теплообмена: метод. пособие для практич. занятий по дисциплине «Основы экологии и энергосбережение» / И.И. Кирвель, М.М. Бражников, Зацепин Е.Н. – Мн.: БГУИР, 2007. – с.

ISBN 985-488-062-1

Рассмотрены вопросы энергетического аудита на примере определения потерь тепла через наружную ограждающую поверхность теплообменников, трубопроводов, зданий, включающих стены и окна, а также приемы, позволяющие увеличить эффективность использования тепла в промышленности. Пособие предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР и может использоваться для проведения практических занятий по дисциплине «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность».

УДК 621.31(075.8)

ББК 31.15я73

ISBN 985-488-062-1

© Кирвель И.И., Бражников М.М.,
Зацепин Е.Н., 2007.

© УО «Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники», 2007.

ВВЕДЕНИЕ

Определение или расчет потерь тепла в окружающую среду позволяет выявить причины этих потерь, а также выработать мероприятия по их устранению. Такой анализ дает возможность увеличить эффективность использования тепла за счет: *замены неэффективного оборудования; использования теплоизоляционных материалов на энергетических установках и системах передачи и потребления тепла; оформления процессов теплообмена (противоток, прямоток и т.д.); использования вторичного пара и экстра-пара в технологических процессах; турбулизации потоков теплоносителей и т.д.* Определение непрямых потерь тепла является одной из основных задач энергетического аудита и менеджмента. Основной базой для определения потерь могут быть экспериментальные данные или результаты прогнозирования, полученные расчетным путем, используя теоретические основы теплообмена. Такой подход позволяет в кратчайшие сроки снизить расход тепла и затраты на обогрев не только промышленных установок, но и жилых и административных помещений.

Основные понятия о теплопередаче

Перенос энергии в форме тепла (перенос тепла), происходящий между телами, имеющими различную температуру, называется *теплообменом*. Движущей силой любого процесса теплообмена является разность температур более нагретого и менее нагретого тел, при наличии которой тепло самопроизвольно, в соответствии со вторым законом термодинамики, переходит от более нагретого к менее нагретому телу. Теплообмен между телами представляет собой обмен энергией между молекулами, атомами и свободными электронами. В результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого – возрастает.

Теплопередача – наука о процессах распространения тепла. Законы теплопередачи лежат в основе тепловых процессов, протекающих с подводом или отводом тепла. Различают три принципиально различных элементарных способа распространения тепла: *теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение*.

Теплопроводность представляет собой перенос вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. Это движение может быть либо движением самих молекул (газы, капельные жидкости), либо атомов (в кристаллической решетке твердых тел), или диффузией свободных электронов (в металлах). В твердых телах теплопроводность является основным видом распространения тепла.

Конвекцией называется перенос тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объектов газа или жидкостей. Перенос тепла конвекцией возможен в условиях *естественной* или *свободной* конвекции, обусловленной разностью плотностей в различных точках объема газа (жидкости), возникающей вследствие разности температур в этих точках или в условиях

вынужденной конвекции при принудительном движении объема жидкости, например, при перемешивании мешалкой или при перекачивании насосами и т.д.

Тепловое излучение – это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Все тела способны излучать энергию, которая поглощается другими телами и снова превращается в тепло. Таким образом, осуществляется лучистый теплообмен; он складывается из процессов *лучеиспускания и лучепоглощения*. В реальных условиях тепло передается не каким-либо одним из указанных выше способов, а комбинированным путем. Перенос тепла от стенки к газообразной (жидкой) среде или в обратном направлении называется *теплоотдачей*. Еще более сложным является процесс передачи тепла от более нагретой к менее нагретой жидкости (газу) через разделяющую их поверхность или твердую стенку. В процессе теплопередачи переносу тепла конвекцией сопутствует теплопроводность и теплообмен излучением. Для конкретных условий преобладающим является один из видов распространения тепла. При оформлении и расчетах теплообменных процессов следует рассматривать два варианта теплообмена: *установившийся* (стационарный) и *неустановившийся* или нестационарный. Установившимся является теплообмен, когда температуры в различных точках теплообменника не изменяются во времени. Если при нагревании или охлаждении температуры поверхности теплообмена меняются во времени, то такой процесс будет нестационарным. В процессах теплообмена участвует два теплоносителя: горячий - (более нагретый), холодный - (менее нагретый). Тепло, отдаваемое горячим теплоносителем (Q_1) затрачивается на нагрев холодного теплоносителя (Q_2). *Тепловой поток* (Q), т.е. количество тепла, переданное за определенное время (τ) от одного теплоносителя к другому, вычисляется путем составления и решения тепловых балансов. Тепловой баланс выражается равенством

$$Q = Q_1 = Q_2$$

Следует отметить, что поток тепла возникает лишь при условии, что температурный градиент не равен нулю ($\text{grad } t \neq 0$). Таким образом, перенос тепла происходит в направлении падения температуры и пропорционален температурному градиенту с обратным знаком.

Передача тепла теплопроводностью

Основным законом передачи тепла теплопроводностью является закон Фурье, согласно которому *количество тепла dQ , передаваемое посредством теплопроводности через элемент поверхности dF , перпендикулярный тепловому потоку за время $d\tau$ прямо пропорционально температурному градиенту $\partial t / \partial n$, поверхности dF и времени $d\tau$:*

$$dQ = -\lambda (\partial t / \partial n) dF d\tau \quad (1)$$

или количество тепла, передаваемое через единицу поверхности в единицу времени

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2)$$

Величина q называется *плотностью теплового потока* (удельным тепловым потоком).

Знак минус, стоящий перед правой частью уравнений (1) и (2), указывает на то, что тепло перемещается в сторону падения температуры.

Коэффициент пропорциональности λ называется *коэффициентом теплопроводности*, (Вт/м · К), (Дж/м · с · К).

Таким образом, коэффициент теплопроводности λ показывает, *какое количество тепла проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при падении температуры на 1 градус на единице длины нормали к изотермической поверхности*. Величина λ , характеризующая способность тела проводить тепло путем теплопроводности, зависит от природы вещества, его структуры, температуры и некоторых других факторов. При обычных температурах и давлениях лучшими проводниками тепла являются металлы и худшими – газы. Так, ориентировочные значения λ (Вт / м · К) для металлов при 0°С составляют: для чистой меди – 394; для углеродистой стали – 52; для легированной стали – 25.

Для воздуха при 0°С $\lambda \approx 0,027$ Вт / м · К. Низкой теплопроводностью обладают теплоизоляционные и многие строительные материалы. Этот факт объясняется тем, что эти материалы имеют пористую структуру, причем в их ячейках заключен воздух, плохо проводящий тепло. Коэффициенты теплопроводности газов возрастают с повышением температуры. Для большинства жидкостей значения λ , наоборот, уменьшаются при увеличении температуры. Следует отметить, что при определении количества тепла, передаваемого через слой газа или капельной жидкости вследствие теплопроводности, часто бывает необходимо учитывать влияние также конвекции и излучения, которые сопутствуют теплопроводности.

Уравнение теплопроводности плоской стенки

Рассмотрим передачу тепла теплопроводностью через плоскую стенку (рис. 1), длина и ширина которой несравненно больше ее толщины (δ), ось «х» расположена по нормали к поверхности стенки. Температуры наружных поверхностей стенки равны $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$, причем $t_{ст1} > t_{ст2}$. При установившемся процессе количества тепла, подведенного к стенке и отведенного от нее, должны быть равны между собой и не должны изменяться во времени.

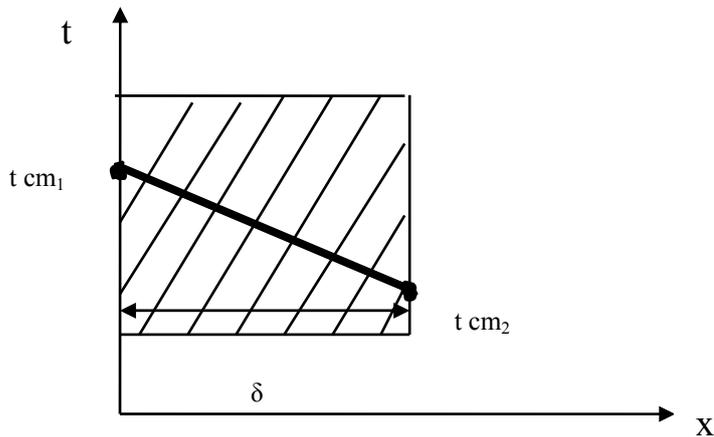


Рис. 1. К выводу уравнения теплопроводности плоской стенки

Для плоской стенки температура изменяется только в одном направлении по оси «х» (рис. 1.), т.е. температурное поле *одномерное и изменяется прямолинейно по толщине*.

Количество переданного тепла теплопроводностью через плоскую стенку можно рассчитать по уравнению:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{ct1} - t_{ct2}) \cdot F \cdot \tau \quad (3)$$

где λ коэффициент теплопроводности материала стенки (Вт/м·К), (Дж/м·с·К); δ – толщина стенки (мм); $t_{ct1} - t_{ct2}$ – разность температур поверхностей стенки °К; F – поверхность стенки (м²); τ – время (ч). Для установившегося процесса передачи тепла теплопроводностью при $\tau = 1$ уравнение (3) принимает вид

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{ct1} - t_{ct2}) \cdot F \quad (4)$$

а удельный тепловой поток (удельная тепловая нагрузка) равен

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{ct1} - t_{ct2}) \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) являются *уравнениями теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплообмена*. Рассмотрим перенос тепла, если плоская стенка состоит из n слоев, отличающихся друг от друга теплопроводностью и толщиной (рис.2),

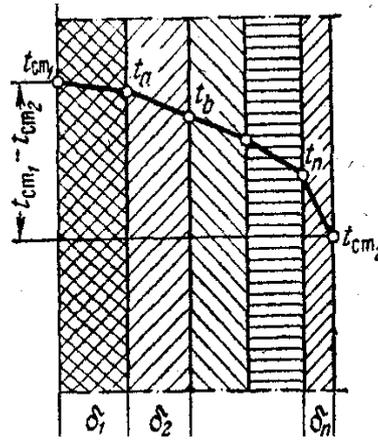


Рис. 2. К выводу уравнения теплопроводности плоской многослойной стенки

При установившемся процессе через каждый слой стенки пройдет одно и то же количество тепла, которое может быть выражено для различных слоев уравнениями:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot (t_{\text{ср1}} - t_a) \cdot F \cdot \tau \quad \text{или} \quad Q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} = (t_{\text{ср1}} - t_a) \cdot F \cdot \tau$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot (t_a - t_b) \cdot F \cdot \tau \quad \text{или} \quad Q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (t_a - t_b) \cdot F \cdot \tau$$

.....

$$Q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} \cdot (t_n - t_{\text{ср2}}) \cdot F \cdot \tau \quad \text{или} \quad Q \cdot \frac{\delta_n}{\lambda_n} = (t_n - t_{\text{ср2}}) \cdot F \cdot \tau$$

Складывая левые и правые части этих уравнений, получим

$$Q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) = (t_{\text{ср1}} - t_{\text{ср2}}) \cdot F \cdot \tau \quad \text{откуда}$$

$$Q = \frac{t_{\text{ср1}} - t_{\text{ср2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \cdot F \cdot \tau \quad (6)$$

где i – порядковый номер слоя стенок; n – число слоев. Уравнение (6) является уравнением теплопроводности плоской многослойной стенки. Для установившегося потока через стенку удельный тепловой поток будет

$$q = \frac{Q}{F} = (t_{\text{ср1}} - t_{\text{ср2}}) / \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right). \quad (7)$$

Используя эти уравнения (6) и (7), а также, учитывая теплопроводность строительных материалов, можно достигать минимальных потерь тепла (Q) в окружающую среду при эксплуатации жилищного фонда, а также зданий любого другого назначения (административных, производственных и т.д.). В боль-

шинстве практических случаев взаимодействие теплоносителей происходит через некоторую поверхность раздела, которая может рассматриваться как многослойная твердая стенка. Например, в трубчатых теплообменниках теплообмен происходит через стенку трубы и два слоя загрязнений с обеих сторон стенки. Трубчатые теплообменники наиболее используемые аппараты для осуществления теплообмена в различных отраслях промышленности, называемого в этом случае *теплопередачей*. В связи с этим следует рассмотреть процессы теплообмена цилиндрической стенки, и в первую очередь, теплопроводность цилиндрической стенки.

Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки

Рассмотрим передачу тепла теплопроводностью через цилиндрическую стенку длиной L (м), внутренним радиусом r_b (мм) и наружным радиусом r_n (мм) (рис. 3).

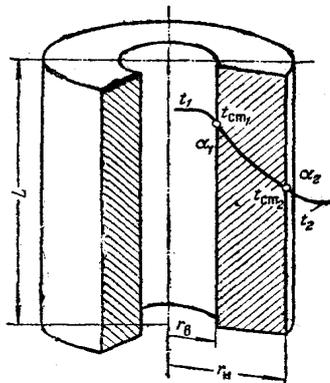


Рис. 3. К выводу уравнения теплопроводности цилиндрической стенки

Температуры на внутренней и внешней поверхностях стенки постоянны и равны t_{ct1} и t_{ct2} соответственно, т.е. процесс теплообмена установившийся. Поскольку эти поверхности не равны друг другу, уравнение (6) в данном случае неприменимо. Пусть $t_{ct1} > t_{ct2}$ и температура изменяется только в радиальном направлении. Для цилиндрической стенки поверхность ее в некотором сечении, отвечающем текущему радиусу r , составляет $F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$.

Количество тепла можно рассчитать по уравнению

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \tau \cdot (t_{ct1} - t_{ct2})}{1/\lambda \cdot 2,3 \lg d_n / d_b}, \quad (8)$$

а для установившегося процесса
$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (t_{ct1} - t_{ct2})}{1/\lambda \cdot 2,3 \lg d_n / d_b} \quad (8a)$$

где d_n/d_b – отношение наружного диаметра цилиндрической стенки к ее внутреннему диаметру. Уравнение (8a) показывает, что по толщине

цилиндрической стенки температура изменяется по криволинейному (логарифмическому) закону. Это уравнение представляет собой *уравнение теплопроводности цилиндрической стенки* при установившемся процессе теплообмена. По аналогии с выводом, приведенным для многослойной плоской стенки, для цилиндрической стенки, состоящей из “n” слоев, количество тепла, переданное путем теплопроводности составит

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \tau \cdot (t_{ct1} - t_{ct2})}{\sum 1/\lambda_i \cdot 2,3 lq d_{i+1} / d_i}, \quad (9)$$

а для установившегося процесса $Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (t_{ct1} - t_{ct2})}{\sum 1/\lambda_i \cdot 2,3 lq d_{i+1} / d_i}, \quad (9a)$

где i – порядковый номер слоя стенки. Уравнение (9a) многослойной цилиндрической стенки получено для стационарного (установившегося) процесса распространения тепла теплопроводностью. Для тонких цилиндрических стенок (тонкостенных труб) расчет может быть упрощен [1].

Конвекция. Закон Ньютона

Конвективный теплообмен – это теплообмен между твердым телом и жидкостью (газом), происходящий при их соприкосновении и одновременном переносе теплоты путем теплопроводности и конвекции. Такой случай распространения теплоты называется *теплоотдачей*. Перенос теплоты связан с движением теплоносителя. Движение среды вызывается разными причинами: *вынужденное* возникает под действием какого-либо возбудителя (насоса, вентилятора, мешалки), *свободное* движение – вследствие разности плотностей нагретых и холодных частиц среды, которая обусловлена наличием разности температур. В первом случае это будет *вынужденная конвекция*, во втором – *естественная конвекция*.

Основным законом теплоотдачи является *закон охлаждения Ньютона*. Согласно этому закону количество теплоты (Q), переданное (или полученное) от теплообменной поверхности к окружающей среде, прямо пропорционально поверхности (F), разности температуры поверхности (t_{ct}) и температуры окружающей среды t_1 , а также времени (τ), в течение которого идет теплообмен

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_{ct} - t_1) \cdot \tau, \quad (10)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, [Вт/м²·К]; [Дж/м²·с·К].

Коэффициент теплоотдачи α определяет количество теплоты в (Дж, Вт), которое передается от 1м² теплообменной поверхности к жидкости (газу) или наоборот от жидкости (газа) к 1м² теплообменной поверхности в течение 1 с при разности температур между теплоносителем и теплообменной поверхностью 1К. Коэффициент теплоотдачи зависит от следующих факторов:

– скорости жидкости (газа) ω , ее плотности ρ и вязкости μ , т.е. переменных, определяющих режим течения теплоносителя;

– тепловых свойств теплоносителя (удельной теплоемкости c_p , теплопроводности λ), а также коэффициента объемного расширения β ;

– геометрических параметров – формы и определяющих размеров стенки (для труб – их длина L и диаметр d), шероховатости ε стенки. Т. о.

$$\alpha = f(\omega, \mu, \rho, c_p, \lambda, \beta, d, L, \varepsilon) \quad (11)$$

Из этой зависимости общего вида можно заключить, что простота уравнения теплоотдачи (10) только кажущаяся. При его использовании трудности, связанные с определением количества тепла, передаваемого путем конвективного теплообмена, заключается в расчете величины α . Вследствие сложной зависимости коэффициента теплоотдачи от большого числа факторов невозможно получить расчетное уравнение для α , пригодное для всех случаев теплоотдачи. Лишь путем обобщения опытных данных с помощью теории подобия можно получить обобщенные (критериальные) уравнения для типовых случаев теплоотдачи, позволяющие рассчитывать α для условий конкретной задачи.

В тех случаях, когда ведутся инженерные расчеты потерь теплоты стенками аппарата (отопительными батареями) в окружающую среду (при централизованном отоплении зданий) наряду с теплопроводностью и конвекцией следует учитывать третий вид переноса тепла – лучеиспускание. При таких расчетах вместо α используют $\alpha_{\text{общ}}$, которое рассчитывают по эмпирическим уравнениям [2].

$$\alpha_{\text{общ}} = 9,74 + 0,07 \Delta t, \text{ где } \alpha_{\text{общ}} = \alpha_k + \alpha_l \text{ и, соответственно} \quad (12)$$

α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, определяемый по соответствующим формулам для свободного или вынужденного движения;

α_l – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/м²·К;

Δt – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха, К). Уравнение (12) используют для расчета тепловых потерь аппаратов (теплообменников), находящихся в закрытых помещениях, при температуре поверхности теплообменных устройств до 150 °С. В интервале температур от 50 до 350 °С в подобных расчетах $\alpha_{\text{общ}}$ часто определяют приближенно по эмпирическому уравнению (13) [1].

$$\alpha_{\text{общ}} = 9,3 + 0,058 \cdot t_{\text{ст.нар.}} \quad (13)$$

где $t_{\text{ст.нар}}$ – температура наружной поверхности стенки аппарата °С. Для уменьшения потерь тепла в окружающую среду аппараты и трубопроводы покрывают теплоизоляционными материалами с низкой теплопроводностью ($\lambda < 0,232$ Вт/(м·К)). В качестве теплоизоляционных материалов используют стекловату, асбест, пробковые плиты, совелит и др. Изоляция должна быть термостойкая, негигроскопична, дешева и долговечна. Наиболее экономичной толщиной изоляции является та, при которой затраты на изоляцию и потери теплоты мини-

мальные.

Теплопередача

А. Теплопередача при постоянных температурах теплоносителей

Плоская стенка. Определим количество тепла, которое передается в единицу времени от более нагретой среды (теплоносителя с температурой t_1 к менее нагретой среде теплоносителю с температурой t_2) через разделяющую их стенку (рис. 4).

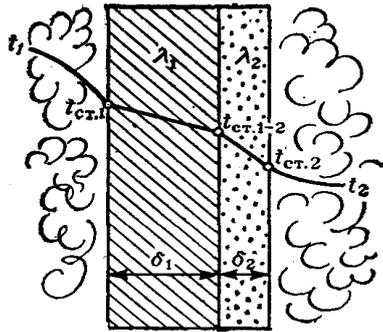


Рис. 4. К выводу уравнения теплопередачи через плоскую стенку

Стенка состоит из двух слоев с различной теплопроводностью, например, собственно стенки толщиной δ_1 , коэффициент теплопроводности которой равен λ_1 , и слоя толщиной δ_2 , имеющей коэффициент теплопроводности λ_2 . Рабочая поверхность стенки F . Процесс теплообмена установившийся. Следовательно, от горячего теплоносителя к стенке, сквозь стенку и от стенки к холодному теплоносителю передается одно и то же количество тепла. Количество тепла, передаваемого за время τ от горячего теплоносителя к стенке, по уравнению теплоотдачи (10) составляет:

$$Q = \alpha_1 \cdot F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_{ст.1})$$

Количество тепла, проходящего путем теплопроводности через слой стенки, согласно уравнению (3) равно:

$$Q = \lambda_1 / \delta_1 \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{ст.1}^{1-2} - t_{ст.1}^{1-2}) \text{ и } Q = \lambda_2 / \delta_2 \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{ст.1-2}^{1-2} - t_{ст.2}^{1-2})$$

Количество тепла отдаваемого стенкой холодному теплоносителю

$$Q = \alpha_2 \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{ст.2} - t_2)$$

Полученные уравнения для Q могут быть представлены в виде

$$Q \cdot 1 / \alpha_1 = F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_{ст.1}); \quad Q \cdot \delta_1 / \lambda_1 = F \cdot \tau \cdot (t_{ст.1} - t_{ст.1}^{1-2})$$

$$Q \cdot \delta_2 / \lambda_2 = F \cdot \tau \cdot (t_{ст.1-2}^{1-2} - t_{ст.2}); \quad Q \cdot 1 / \alpha_2 = F \cdot \tau \cdot (t_{ст.2} - t_2)$$

Сложив эти уравнения, получим

$$Q \cdot (1 / \alpha_1 + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + 1 / \alpha_2) = F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2)$$

$$\text{или} \quad Q = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^n \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \cdot F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2) \quad (14)$$

В окончательном варианте уравнение теплопередачи для плоской стенки при постоянных температурах теплоносителей имеет вид

$$Q = K \cdot F \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2) \quad (15)$$

и для непрерывных (стационарных) процессов

$$Q = K \cdot F \cdot (t_1 - t_2) \quad (16)$$

Первый множитель правой части уравнений (15) и (16) называется *коэффициентом теплопередачи*.

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum \delta/\lambda + 1/\alpha_2} \quad (17)$$

Согласно уравнению (15) единицы измерения коэффициента теплопередачи; Дж/м²·с·К, Вт/м²·К или внесистемная – Ккал/м²·ч·К.

Таким образом, коэффициент теплопередачи K показывает, какое количество тепла переходит в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю через разделяющую их стенку поверхностью 1 м² при разности температур между теплоносителями 1 град. Величина, обратная K , называется *общим термическим сопротивлением*. Из уравнения (17) следует, что общее термическое сопротивление

$$1/K = 1/\alpha_1 + \sum \delta/\lambda + 1/\alpha_2 \quad (17a)$$

где $1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$ – термические сопротивления горячего и холодного теплоносителей соответственно; $\sum \delta/\lambda$ – термическое сопротивление многослойной стенки. При теплопередаче через чистую металлическую стенку (без загрязнений и тепловой изоляции) термическое сопротивление стенки невелико и в первом приближении им можно пренебречь. $K \approx \frac{1}{(1/\alpha_1) + (1/\alpha_2)}$

Для труб с тонкими стенками расчет теплопередачи можно вести приближенно – как для плоской стенки, имеющей толщину δ , равную полуразности наружного и внутреннего диаметров данной трубы. Пренебрегать кривизной стенки трубы, сводя задачу приближенной к расчету плоской стенки, можно при отношении толщины стенки к внутреннему диаметру трубы, не превышающем $d_n/d_e = 0,3 - 0,4$. При больших значениях этого отношения следует вести расчет по точному уравнению, учитывающим кривизну и, используя ли-

нейный коэффициент теплопередачи K_R , отнесенный к единице длины трубы, а не к единице поверхности, в отличие от K . Соответственно K_R выражается в $Вт/(м \cdot град)$.

Б. Теплопередача при переменных температурах теплоносителей.

Движущая сила процесса теплопередачи. Наиболее часто теплопередача на практике протекает при переменных температурах. Количество передаваемой теплоты определяется основным уравнением теплопередачи

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \quad (18)$$

где Δt_{cp} – *средняя разность температур* горячего и холодного теплоносителей, °К. Теплопередача при переменных температурах зависит от взаимного направления движения теплоносителей. В непрерывных процессах теплообмена возможны следующие варианты направления движения жидкостей друг относительно друга вдоль разделяющей их стенки (*рис. 5*).

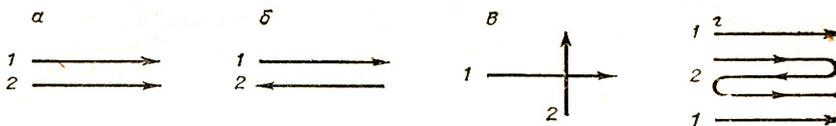


Рис. 5. Варианты направления движения теплоносителей 1 и 2 при теплообмене
1). *параллельный ток или прямоток* (*рис. 5а*) при котором теплоносители движутся в одном и том же направлении;

2). (*рис.5б*), при котором теплоносители движутся в противоположном направлении;

3). *перекрестный ток* (*рис. 5в*), при котором теплоносители движутся взаимно перпендикулярно друг другу;

4). *смешанный ток* (*рис. 5г*), при котором один из теплоносителей движется в одном направлении, а другой – как прямотоком, так и противотоком к первому. Движущая сила процессов теплопередачи при переменных температурах изменяется в зависимости от вида взаимного направления движения теплоносителей. Поэтому выражение *средней* движущей силы в уравнении (18) также будет зависеть от относительного направления движения теплоносителей. Из уравнения теплового баланса для всей поверхности теплообмена можно получить уравнение теплопередачи для прямотока в виде

$$Q = K \cdot F \cdot \frac{\Delta t_H - \Delta t_K}{\ln \cdot \Delta t_H / \Delta t_K} \quad (19)$$

Сопоставляя последнее с основным уравнением теплопередачи (18), заключаем, что средняя движущая сила или *средний температурный напор*,

представляет собой среднюю логарифмическую разность температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}}}{\ln \cdot \Delta t_{\text{н}} / \Delta t_{\text{к}}} = \frac{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}}}{2,3 \cdot \lg \cdot \Delta t_{\text{н}} / \Delta t_{\text{к}}} \quad (20)$$

где $\Delta t_{\text{н}}$ – разность температур теплоносителей на входе в теплообменнике, а $\Delta t_{\text{к}}$ – на выходе. Следовательно, при прямотоке температуры теплоносителей изменяются по асимптотически сближающимся кривым. Если бы температуры теплоносителей изменялись прямолинейно вдоль поверхности теплообмена, то средний температурный напор выражался бы среднеарифметической разностью температур. При отношении разности температур теплоносителей на концах теплообменника ($\Delta t_{\text{н}} / \Delta t_{\text{к}} < 2$) можно с достаточной для технических расчетов точностью определить средний температурный напор как среднеарифметическую величину, т.е. принимать

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{к}}}{2} \quad (20a)$$

Путем рассуждений, аналогичных приведенным выше, может быть получено уравнение теплопередачи для противотока жидкостей, аналогичное уравнению (19). Однако при противотоке теплоносителей уравнение теплопередачи имеет вид:

$$Q = K \cdot F \cdot \frac{\Delta t_{\text{мак}} - \Delta t_{\text{мин}}}{2,3 \cdot \lg \cdot \Delta t_{\text{мак}} / \Delta t_{\text{мин}}} \quad (21)$$

Величина $\Delta t_{\text{мак}}$ представляет собой разность температур на том конце теплообменника, где она больше; $\Delta t_{\text{мин}}$ – меньшая разность температур на противоположном конце теплообменника. Для противотока также справедливы выводы, сделанные для уравнения (20a), но лишь при условии, что $\Delta t_{\text{мак}} / \Delta t_{\text{мин}} < 2$. Вывод о преимуществе того или иного способа оформления теплообмена сделать на основании расчета средней движущейся силы (см. раздел Задания для самостоятельной работы).

Определение температуры стенок

Для проведения технических расчетов печей и нагревательных установок (теплообменников), а также при расчете потерь тепла зданиями, теплопроводами, как собственно, и при расчете расхода тепла на промышленные и коммунальные нужды, необходимо знать температуры более нагретой поверхности стенки $t_{\text{ст1}}$ и температуры менее нагретой ее поверхности $t_{\text{ст2}}$. Без знания этих параметров в ряде случаев нельзя определить коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 . В большей мере значимость этого расчета заключается в правильном подборе изолирующих материалов с целью исключения пожаров, т.е. такой расчет позволяет конструировать печи пожаробезопасными, а теплообменные

устройства экономичными.

Расчет t_{ct1} и t_{ct2} производят исходя из уравнений теплоотдачи и теплопередачи [2]. Количество тепла, отдаваемое горячим теплоносителем равно

$$Q = \alpha_1 \cdot F \cdot (t_1 - t_{ct1}),$$

где F – поверхность теплообмена; t_1 – температура горячего теплоносителя. Количество тепла, получаемое холодным теплоносителем равно

$$Q = \alpha_2 \cdot F \cdot (t_{ct2} - t_2),$$

где t_2 – температура холодного теплоносителя. Из этих уравнений теплоотдачи находим

$$t_{cm1} = t_1 - Q / \alpha_1 \cdot F \quad (A) \quad t_{cm2} = t_2 - Q / \alpha_2 \cdot F \quad (B)$$

Подставляя значение Q из уравнения $Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}$ теплопередачи (18) в уравнение (A) и (B) и сокращая F , окончательно получим:

$$t_{cm1} = t_1 - K \cdot \Delta t_{cp} / \alpha_1 \quad (22)$$

$$t_{cm2} = t_2 - K \cdot \Delta t_{cp} / \alpha_2 \quad (23)$$

Удобнее производить такой расчет, используя q – удельный тепловой поток или удельную тепловую нагрузку, Вт/м².

– для теплопроводности однослойной стенки (установившийся поток)

$$q = \lambda / \delta \cdot (t_1 - t_2) \quad \text{см. уравнение (5).}$$

– из уравнения теплопередачи

$$q = Q / F = K \cdot \Delta t_{cp} = K \cdot (t_1 - t_2) \quad \text{см. уравнения (7, 17)}$$

Практические работы

Работа 1. Оценка пожаробезопасных параметров при эксплуатации отопительных устройств

Цель работы: рассчитать температуры внутренней и наружной поверхностей отопительного устройства, определить влияние физических свойств теплоизоляционных материалов на температуру наружной стенки.

Содержание отчета: краткие теоретические сведения, раскрывающие тему в соответствии с целью, порядок и результаты расчетов, анализ расчетов и выводы о пожаробезопасности отопительного устройства.

1.1 Общие положения

1.1.1 Основные характеристики отопительных устройств

Для оценки эффективности использования тепла в процессах теплопередачи необходимо знать: температуры *горячего и холодного* теплоносителя, *коэффициенты теплопроводности* (слоев), *толщину слоев многослойной стенки* (футеровки, обкладки, теплоизоляции, слоев загрязнений внешней и внутренней поверхностей теплообменников и т.д.). При этом с помощью эксперимента или расчетным путем определяют эти параметры и обозначают: температуру горячего теплоносителя (t_1); температуру внутренней поверхности стенки (t_{CT1}); температуры поверхностей слоев многослойной стенки ($t_{CT1...n}$); температуру внешней поверхности теплообменного устройства (t_{CT2}); температуру холодного теплоносителя (t_2).

Методику определения необходимых параметров многослойной стенки рассмотрим на конкретном примере (задание 1). При этом заметим, что тепло (Q) выделяется в процессе горения топлива (окисления в среде кислорода). В большинстве случаев для поддержания процесса горения используется воздух. От количества поступающего воздуха, содержащим кислород, зависит эффективность процесса горения и получения эффективной теплоты. Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг бытового топлива приблизительно равно $3 - 4 \text{ м}^3$ [3].

Важной характеристикой, определяющей эффективность сжигания топлива является коэффициент избытка (расхода) воздуха α_B – отношение количества воздуха пошедшего на горение (V_B), к теоретически необходимому (V_O).

Если $\alpha_B = V_B / V_O = 1,05 - 1,1$, то такой режим сжигания сухого энергетического топлива будет оптимальным. В плохих устройствах (печах), а также при сжигании влажного топлива $\alpha_B = 1,4 - 1,5$. При значительном избытке воздуха часть O_2 не окисляет топливо, поэтому требуются дополнительные затраты тепла на его нагрев, что приводит к перерасходу топлива (при открытом полностью дымоходе «тепло улетает в трубу»). При недостатке воздуха топливо полностью не сгорает, и, как следствие, используется неэффективно. В зависимости от режима сжигания топлива и его вида температуры в теплогенерирующих устройствах могут колебаться от $\sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ до $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$ [3].

В общем случае при сгорании топлива выделяются водяные пары $W_{\text{вл}}^{\text{кон}}$, летучие вещества, которые поступают в атмосферу в виде газообразных продуктов сгорания и остается твердый остаток (зола). Этими компонентами процесса горения уносится часть тепла ($Q_{\text{пот}}^{\text{воз}} + Q_{\text{исп}}^{\text{W}}$) – потери в окружающую среду. При этом следует учесть, что в бытовых условиях сжигание топлива производится в устройствах (печах) с КПД ~ 50 , т.е. потери тепла составляют ($Q_{\text{пот}}^{\text{окр}}$) $\sim 50\%$.

Задание № 1. Обыватель М построил на N-ом садовом участке бре-

венчатую баню и решил использовать для отопления ее металлическую (стальную) печь. При конструировании (М) учел рекомендации и размеры печи, содержащиеся в работе [4]. В этой работе приводятся результаты испытания печи, построенной на полигоне МЧС РБ в бревенчатом срубе. Контрольная печь была изготовлена из огнеупорного кирпича с толщиной ($\delta = 120$ мм) и размером 750 x 840 мм. В топке контрольной печи сжигались 15 кг дров, 12 кг торфа и 10 кг бурого угля. Каждый вид топлива с указанными количествами сжигался по 10 раз. В каждом случае топливо сжигали в оптимальном режиме в течение 3 часов. При испытаниях наружная поверхность контрольной печи достигала максимальной температуры $t_{ст,2} = 80$ °С за 7 часов. Эти данные [4] позволили обывателю (М) рассчитать температуру внутренней стенки контрольной печи (см. расчет в задании 1, I-ый этап).

I-ый этап Задание 1.

Рассчитать температуру внутренней поверхности контрольной печи и температуру топочных газов, если дано, что теплотворность твердого бытового топлива равна: $Q_{дров} = 4500$ ккал / кг; $Q_{торфа} = 5650$ ккал / кг; $Q_{бурого\ угля} = 6750$ ккал / кг (по заданию преподавателя). Влажность (W) топлива, высушенного в естественных условиях, и хранящегося в помещениях, будет, соответственно, для этого ряда 7 : 10,5 : (8 – 15) % . Влажность же рабочего топлива может быть в этом ряду : $W_{др.} : W_{тор.} : W_{б.угл.} = 35 \% : (40 – 50 \%) : (15 – 40 \%)$. От этих показателей и конструкции печи зависит КПД (50 – 30 %). Иллюстративный расчет сделаем для условий (см. пример) . Температура воздуха внутри помещения 20 °С. Поверхность печи без подовой части 3,15 м² . Толщина кирпичной кладки 120 мм. Коэффициент теплопроводности кирпича $\lambda = 0,8$ Вт / (м²·К). Теплоемкость воды $C_{H_2O} = 4,19$ кДж / кг, а теплота испарения $J_{H_2O}^{исп} = 2258$ кДж / кг . Потери в окружающую среду составляют 20 % . Избыток воздуха составлял 10 % к теоретическому. Влажность топлива (дров) составляла 7 % . Печь вышла на оптимальный режим теплоотдачи за 7 часов.

Дано:
 $Q_{дров} = 4500$ ккал / кг ;
 $F_{п} = 3,15$ м² ;
 $\delta = 120$ мм ;
 $\lambda_1 = 0,8$ Вт / (м²·К) ;
 $C_{H_2O} = 4,19$ кДж / кг ;
 $t_{ст,2.н} = 80$ °С ;
 $W_{дров} = 7$ % ;
 $G_{др} = 15$ кг ;
 $\tau = 7$ часов ;

Решение:
 Для расчета температуры $t_{1.ст1}$, контрольной печи находим количество полезного тепла $Q_{пол}$, идущего на обогрев и аккумуляцию в печи.

$$Q_{пол} = Q_{общ} - Q_{исп}^W - Q_{пот}^{возд} - Q_{пот}^{окр.ср.}$$
 1) $Q_{общ} = 4500 \times 15 = 67500$ ккал .
 2) Количество влаги (W) в топливе

$$W_{вл} = G_{др} \cdot W_{др} = 15 \cdot 0,07 = 1,05$$
 кг
 3) $Q_{исп}^W = W_{вл} \cdot C_{H_2O} \cdot (100 - 20) + W_{вл}^{исп} \cdot J_{H_2O}$

$$J_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исп}} = 2\,258 \text{ кДж / кг};$$

$$\alpha_{\text{В}} = 1,1;$$

$$Q_{\text{потер.окр.среду}} = 20\% ;$$

$$1 \text{ ккал / (м}^2 \cdot \text{ч)} = 1,163 \text{ Вт/м}^2$$

Найти $t_{\text{ст.1}}$ и топочных газов

$$Q_{\text{исп}}^{\text{W}} = 1,05 \cdot 4,19 \cdot 80 + 1,05 \cdot 2258 = \\ = 352 + 2371 = 2723 \text{ К КД} = 650 \text{ ккал}$$

4) Потери тепла $Q_{\text{пот}}^{\text{воз}}$ при оптимальном поступлении воздуха составляют 6 750 ккал.,

$$\text{а } Q_{\text{пот}}^{\text{окр.сп.}} = 13\,500 \text{ ккал}$$

$$5) Q_{\text{пол}}^* = 67\,500 - 6\,750 - 650 - 13\,500 = \\ = 46\,600 \text{ ккал}$$

* Примечание. За счет $Q_{\text{пол}}$ печь вышла на стационарный режим теплообмена в течение 7 часов. []

$$\text{б) Удельный тепловой поток } q = \frac{46\,600 \cdot 1,163}{3,15 \cdot 7} = 2\,458 \text{ Вт / м}^2 \text{ (см. уравнение 3)}$$

Отсюда $t_{\text{ст.1}}$ равна 448,5 °С из соотношения (5) (см. стр. 6).
 $2\,458 = 0,8 / 0,12 \cdot (t_{\text{ст.1}} - 80)$

При сжигании рабочего топлива (дров):

$$\left. \begin{array}{l} W_{\text{др}}^{\text{P}} = 35\% \quad Q_{\text{общ}}^{\text{P}} = 2\,700 \text{ ккал}; \\ G_{\text{др}} = 15 \times \frac{4\,500}{2\,700} = 25 \text{ кг и } \alpha_{\text{В}} = 1,3 \text{ (избыток воздуха)} \end{array} \right\}$$

будет достигнута лишь температура $t_{\text{ст.вл.}} = 304 \text{ }^{\circ}\text{C}$ при тех же условиях, что и в контрольной печи.

II – ой этап

Определив температуру $t_{\text{ст.1}}$ в контрольной печи обыватель М принимает решение установить металлическую (стальную печь) с толщиной стенок ($\delta = 4 \text{ мм}$), поверхностью 3,15 м². Теплопроводность $\lambda_{\text{стали}} = 46,5 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$. При эксплуатации, как следует из работы [4], температура внешней поверхности печи пожаробезопасна от 100 °С и ниже. Испытание контрольной печи показали, что открытое дерево возгорается при температуре 155 °С и времени контакта 150 мин.

Задание 1(а).

Рассчитать температуру наружной стальной печи $t_{\text{ст.2}}$, если в ней соблюдены все условия сжигания топлива для контрольной печи, т.е. $t_{\text{ст.1}} = 448,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для расчета используем $Q_{\text{пол}}$ (из задания 1).

$$\text{Тогда } q = \frac{Q_{\text{пол}} \cdot 1,163}{3,15 \cdot 7} = 2458 \text{ Вт / м}^2.$$

Используя уравнение (5) рассчитываем $t_{\text{ст}2}^{\text{мет}}$ незащищенной изоляцией (огнеупорным кирпичом) печи. Температура при этом будет $t_{\text{ст}2} = 448,3 \text{ }^\circ\text{C}$ или $t_{\text{ст}1}^{\text{м}} \approx t_{\text{ст}2}^{\text{м}}$.

Для снижения $t_{\text{ст}2}$ М сделал футеровку внутренней поверхности огнеупорным кирпичом ($\delta_1=60\text{мм}$ и $\lambda=0,8 \text{ Вт/(мК)}$). При этом $t_{\text{ст}2}$ будет равна $263,5 \text{ }^\circ\text{C}$, которая является *пожароопасной*. При дополнительной обкладке наружной поверхности тем же кирпичом ($\delta_2 = 60\text{мм}$) $t_{\text{ст}2} = 79,8 \text{ }^\circ\text{C}$, а закрепление кирпичных обкладок слоями глины с обеих сторон по 5мм приводит к тому, что $t_{\text{ст}2} = 48,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, путем двухсторонней изоляции металлической печи огнеупорным кирпичом будет достигнута *пожаробезопасная* температура $t_{\text{ст}2}$.

Задание 2

С целью снижения пожаробезопасности металлического дымохода и экономии тепла за счет отходящих дымовых газов ($Q_{\text{исп}}^{\text{W}} + Q_{\text{пот.}}^{\text{возд.}}$) М на дымоходе установил емкость для нагрева воды $t_{\text{н}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. С помощью уравнения

$$Q_{\text{исп}}^{\text{W}} + Q_{\text{пот.}}^{\text{возд.}} = G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{н}}) = V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{н}}),$$

где $G_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса воды равна объему воды $V_{\text{H}_2\text{O}}$, т.к. плотность (ρ) ее равна 1 кг/л ; $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – теплоемкость воды = $4,19 \text{ КДж / кг}$; $t_{\text{н}}, t_{\text{кон}}$ – начальная и

конечная температура воды. Рассчитать до какой температуры нагреют отходящие топочные газы воду объемом : 50 л ; 75 л ; 95 л ;

100 л ; 120 л ; 125 л ; 130 л ; 150 л ; 160 л ; 170 л ; 180 л ; 190 л ; 195 л ; 200 л.

Работа 2. Расчет теплопотерь через ограждающие поверхности зданий и сооружений

Цель работы: изучить методику расчета теплопотерь через наружные стены квартир, оконных проемов, зданий и сооружений.

Содержание отчета: краткие теоретические сведения, раскрывающие тему в соответствии с целью, порядок и результаты расчетов, анализ расчетов и выводы.

2.1 Общие положения

2.1.1 Энергосбережение в зданиях и сооружениях

Здания и сооружения жилищного, культурного, административного и промышленного назначения являются крупными потребителями тепловой энергии. Только на жилой фонд зданий Беларуси приходится 39 % потребления

вырабатываемого тепла. Оценки показывают, что в фонде жилых и нежилых зданий может быть сэкономлено в год за счет энергосберегающих мероприятий около 50 % потребляемой энергии, или 31 840 млн кВт ч / год . Во многих случаях для определения эффективности использования энергии в зданиях удобной единицей измерения является кВт ч / (м³ год) или МДж / (м² год).

В Беларуси потребление энергии на отопление жилья составляет от 80 до 120 МДж/(м² год). В Финляндии, где климат более суровый, этот показатель равен 45 – 50 МДж/(м² год). Теплотери через ограждающие конструкции зданий у нас составляют до 80 % всех общих потерь тепла, в развитых странах Западной Европы они составляют 38 – 44%, т.е. в 2 раза меньше. Потери энергии через ограждающие конструкции распределяются следующим образом:

- через стены составляют 42 – 49 % ;
- через окна – 32 – 35 %;
- подвальные и чердачные перекрытия – 11 – 18 %;
- через входные двери – 5 – 15 % .

В многоэтажных зданиях потери тепла через подвальные и чердачные перекрытия будут минимальными.

На тепловой режим здания существенное влияние оказывает наружный климат, который определяют солнечная радиация, температура и влажность воздуха, ветер. При проектировании ориентация зданий выбирается с учетом розы ветров и лучистых потоков энергии, поступающих от Солнца. С увеличением скорости ветра интенсифицируется теплообмен со стороны наружного воздуха, растут инфильтрация и теплотери, а при ориентации фасада на юг за счет прогрева стеновых ограждений они уменьшаются. При увлажнении ограждающих поверхностей с последующим испарением влаги теплотери дополнительно увеличиваются. Значение температуры наружного воздуха является исходным параметром при проектировании, как ограждающих конструкций, так и систем отопления. С уменьшением минимальной расчетной температуры воздуха самого холодного месяца в году возрастает мощность отопительной системы. Средняя расчетная минимальная температура наружного воздуха самого холодного месяца в году для Минска равна – 25°С. Средняя расчетная скорость ветра этого периода равна 5м/с. Все рассмотренные параметры должны учитываться при проектировании зданий и систем отопления.

Тепловой режим здания определяется не только наружным климатом, но также и ограждающими конструкциями внутренней средой и реакцией человека. Например, расчетная температура помещения в зависимости от назначения здания может лежать в пределах 16 – 26°С [5] . Комплексный подход к энергосбережению в зданиях требует взаимосвязанного рассмотрения всех составляющих.

Задание (Вариант 2.1.)

Квартира N имеет ограждающую поверхность с наружным воздухом $F_{\text{общ}}=26\ 21\text{м}^2$ (L=10,2м; H=2,57м) с четырьмя окнами, оборудованными стекло-

пакетами размерами $1,4 \times 1,3 \text{ м}$, $F_o = 7,28 \text{ м}^2$ и балконной дверью $0,70 \times 2,1 \text{ м}$, $F_{\delta} = 1,47 \text{ м}^2$, где $F_{\text{общ}}$ – общая площадь ограждающей поверхности квартиры от наружного воздуха, F_o – площадь окон, F_{δ} – площадь балконной двери. Стены квартиры отделаны вагонкой (сосна). Толщина ограждающей бетонной блочной стены ($\delta_{\delta} = 500 \text{ мм}$), коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_{\delta} = 1,28 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Толщина вагонки ($\delta_{\text{ваг}} = 15 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ваг}} = 0,384 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$). Толщина стекол $\delta_{\text{ст}} = 4 \text{ мм}$, $\lambda_{\text{ст}} = 0,0525 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ (рамы двойные). Толщина слоя воздуха $\delta_{\text{возд}}$ между стеклами равна 10 мм , а $\lambda_{\text{воз}} = 0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Для расчета взяты $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ и t_2 (наружного воздуха) равна -6°C . В иллюстративном расчете следует учесть, что $F_{\text{см}}^*$ двухслойная (дерево – бетон), а F_o и F_{δ} – трехслойная (стекло–воздух–стекло). Коэффициенты теплоотдачи воздуха для 20°C ($\lambda_1 = 16,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), а для $(-6)^{\circ}\text{C}$ $\alpha_2 = 11,56$ из уравнения (12).

* Примечание: $F_{\text{см}}^* = F_{\text{общ}} - (F_o + F_{\delta})$.

Решение:

Используя уравнения для расчета коэффициента теплопередачи K (17) и уравнение удельного температурного напора q (5) получим $K = 1,727 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а $q = 44,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Тогда потери через стены составят $784 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$ ($674 \text{ ккал}/\text{ч}$) или $16\,176 \text{ ккал}/\text{сутки}$. Потери через окна и балкон соответственно при $K = 0,245$ и $q = 48 \text{ ккал}/\text{ч}$ или $1\,150 \text{ ккал}/\text{сут.}$ Суммарные потери $\sum Q_{\text{пот}}$ квартиры N составляет $17\,326 \text{ ккал}/\text{сутки}$, исключая потери через потолок, входные двери и пол, т.к. квартира расположена на III – ем этаже. Потери тепла через ограждающую стену квартиры N эквивалентны сжиганию $17\,326/212,8 = 81,4$ моля природного газа (1 моль метана выделяет $212,8 \text{ ккал}/\text{моль}$ тепла). 1 моль CH_4 занимает при нормальных условиях $22,4 \text{ л}$. Значит потери тепла $\sum Q_{\text{пот}}$ кв. N равноценны сжиганию $\sim 2 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ в сутки ($22,4 \times 81,4$) (без учета потерь тепла на транспортировку тепловой энергии по коммуникационным трубопроводам). За отопительный сезон потери для квартиры N составят $\sim 50 - 60 \$$ с умеренными морозами в ценах по РБ, а по мировым $\sim 150 - 200 \$$.

Вариант 2. 1а Контрольное задание

Студент должен сделать замеры необходимых параметров своей квартиры (комнаты в общежитии или лаборатории). Рассчитать $\sum Q_{\text{пот}}$ помещения в окружающую среду при условиях заданных преподавателем. С учетом реальных температур воздуха ночью или днем и температур от 18 до 26°C в жилых помещениях, т.е. с учетом санитарных норм. Виды отделки задаются преподавателем (дерево, гипсокартон, масляная краска). Толщина гипсокартона $\delta_{\text{ГК}} = 10 \text{ мм}$, $\lambda_{\text{ГК}} = 0,24 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\delta_{\text{кр}} = 1 - 1,5 \text{ мм}$, $\lambda_{\text{кр}} = 0,233 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Толщина кладки из кирпича $\delta_{\text{кир}} = 500 \text{ мм}$, $\lambda_{\text{кир}} = 0,70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, изоляционного кирпича ($\delta_{\text{из.кир}} = 60 \text{ мм}$, $\lambda_{\text{из.кир}} = 0,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) [6].

Вариант 2.16

Потери тепла в зданиях с неплотностями конструкций обусловлены не только потерями через разделяющую поверхность $\sum Q_{\text{пот}}$ (см. вариант 2.1.), но и инфильтрацией (воздухообменом) через неплотности, т.е.

$$Q_{\text{пот}}^{\text{общ}} = \sum Q_{\text{пот}} + Q_{\text{инф.}}$$

Тепловой поток за счет воздухообмена через неплотности в конструкции здания определяется объемным расходом воздуха $V_{\text{возд}}$, который может быть выражен через коэффициент инфильтрации (m). Коэффициент инфильтрации – это кратность воздухообмена в помещения объемом $V_{\text{пом.}}$ за 1 час, $m = V_{\text{возд.}}/V_{\text{пом.}}$. Потери $Q_{\text{инф}}$ рассчитывают по уравнению (2.1 а) [3].

$$Q_{\text{инф}} = \frac{m \cdot V_{\text{пом}} \cdot C_p^B \cdot \rho_H}{3600} (t_1 - t_2) \quad (2.1 \text{ а})$$

где ρ_H – плотность воздуха, кг/м³;

C_p^B – теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К);

$\rho_H \cdot C_p^B \approx 1300$ Дж/(м³ · К).

Таким образом, уравнение (2.1а) принимает вид

$$Q_{\text{инф}} = \frac{m \cdot V_{\text{пом}}}{2,77} (t_1 - t_2) \quad (2.1 \text{ б})$$

Потери тепла ($Q_{\text{пот}}^{\text{общ}}$) при наличии сквозняков в квартире через стену квартиры, разделяющую от внешней среды (атмосферного воздуха) можно рассчитать по уравнению

$$Q_{\text{пот}}^{\text{общ}} = \sum Q_{\text{пот}} + \frac{m \cdot V_{\text{пом}}}{2,77} (t_1 - t_2) \quad (2.1 \text{ в})$$

Пример расчета тепловых потерь с учетом инфильтрации (сквозняка). Рассчитать потери тепла для квартиры N (см. вариант 2.1) площадью 26,2м² и шириной 5м, т. е. объемом $V_{\text{общ}}=131\text{м}^3$. В рамках окон, балконной двери и входной двери размером (2,1x0,9м) имеются неплотности шириной ($h = 1\text{мм}$). Площадь сечения неплотностей, т. о., составит $S_{\text{окон}}=(5,4 \times 4) \times 0,001 = 0,0216\text{м}^2$, $S_{\text{б}}=5,6 \times 0,001 = 0,0056 \text{ м}^2$ и $S_{\text{вх.}}=6 \times 0,001 = 0,0060 \text{ м}^2$, $S_{\text{окон}}$ – площадь неплотностей окон, $S_{\text{б}}$ – площадь неплотностей балконной двери, $S_{\text{вх.}}$ – площадь неплотностей входной двери. Общая площадь неплотностей $\sum S_{\text{непл.}}=0,0332 \text{ м}^2$. Скорость ветра $\omega = 0,5 \text{ м / сек}$. За 1 час в квартиру поступит объем холодного воздуха $V_{\text{возд}} = S \cdot \omega = 0,0332 \cdot 3600 \cdot 0,5 \approx 60\text{м}^3$. Тогда $m = V_{\text{возд.}}/V_{\text{пом.}} = 0,458$.

$Q_{\text{инф}} = (0,458 \times 131) / 2,77 \times (20 - (-6)) = 564 \text{ Вт / м}^2 = 485 \text{ ккал / ч} = 11647\text{ккал/сут.}$

$Q_{\text{пот}}^{\text{общ}} = 17326 + 11647 = 28973$ или $\sim 3,05\text{м}^3 \text{ СН}_4$. (см. расчет в варианте 2.1)

В контрольных заданиях (по варианту 2.1а) использовать ширину неплотностей $h \sim 1-2$ мм и скорости ветра от 0,5 до 3 м / сек, согласованные с преподавателем.

Работа 3. Выбор взаимного направления движения теплоносителей – источник энергосбережения

Цель работы: изучить методику расчета эффективного использования тепловой энергии при разных направлениях движения теплоносителей в теплообменнике.

Содержание отчета: краткие теоретические сведения, раскрывающие тему в соответствии с целью, порядок и результаты расчетов, анализ расчетов и выводы.

3.1 Общие положения

3.1.1 Способы оформления процессов теплообмена

Правильный выбор взаимного направления движения теплоносителей имеет существенное значение для наиболее экономичного проведения процессов теплообмена.

Для сравнительной оценки прямотока и противотока сопоставим эти виды взаимного направления движения теплоносителей с точки зрения расхода теплоносителей и средней разности температур (уравнения 20 и 20а).

В случае прямотока конечная температура холодного теплоносителя t_n не может быть выше конечной температуры горячего t_k . Практически для осуществления процесса теплообмена должна быть некоторая разность температур $\Delta t_k = t_n - t_k$.

При противотоке холодный теплоноситель с той же начальной температурой t_n , что и при прямотоке, может нагреться до более высокой температуры t_k , близкой к начальной температуре t_n горячего теплоносителя. Это позволяет сократить расход холодного теплоносителя, но одновременно приводит к некоторому уменьшению Δt_{cp} и соответственно – к увеличению необходимой поверхности теплообмена при противотоке, по сравнению с прямотоком. Однако экономический эффект, достигаемый вследствие снижения расхода уменьшения теплоносителя при противотоке, превышает дополнительные затраты, связанные с увеличением поверхности теплообменника. Отсюда следует, что применение противотока при теплообмене более экономично, чем прямотока.

Теперь сопоставим противоток с прямотоком при одних и тех же начальных и конечных температурах теплоносителей. Расчеты показывают, что в данном случае Δt_{cp} при противотоке будет больше, чем при прямотоке, а расход теплоносителей одинаков. Следовательно, скорость теплообмена при противотоке будет больше, что и обуславливает преимущество противотока перед прямотоком.

Указанные выше преимущества противотока относятся к процессам теп-

лообмена без изменения агрегатного состояния теплоносителей. Если температура одного из теплоносителей (например, конденсирующегося насыщенного пара) остается постоянной вдоль поверхности теплообмена, а температура теплоносителя по другую сторону стенки изменяется или оба теплоносителя имеют постоянные температуры, не изменяющиеся во времени и вдоль поверхности теплообмена, то направление движения теплоносителей не оказывает влияния на разности их температур, среднюю разность температур и расходы теплоносителей.

Задание 3. Теплота крекинг–остатка, уходящего из крекинг–установки, используется для подогрева нефти, которая поступает для переработки на эту установку. Определить среднюю разность температур ($\Delta t_{\text{ср}}$) в теплообменнике между обогревающим крекинг–остатком и нагреваемой нефтью, если крекинг–остаток имеет температуры $t_{\text{нач}} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а нефть $t_{\text{нач}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кон}} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение. Используя уравнения (20, 20а) рассчитать движущую силу $\Delta t_{\text{ср}}$ по двум вариантам.

1 вариант: Прямоток – обе жидкости движутся в одном направлении

$$\begin{array}{ccc} 300 & \longrightarrow & 200 \\ \frac{25}{\Delta t_{\text{н}}} & \longrightarrow & \frac{175}{\Delta t_{\text{к}}} \end{array} \quad \frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}} = \frac{275}{25} > 2,$$

$$\text{Следовательно} \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{275 - 25}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}}} = 104 \text{ }^{\circ}\text{C} = 104 \text{ K}$$

2 вариант: Рассчитать по предложенной схеме $\Delta t_{\text{ср}}$ для противотока через среднюю арифметическую (ур. 20а) и среднюю логарифмическую (ур. 20). Сделать выводы об эффективности того или иного варианта оформления.

Контрольные задания 3.1

Рассмотреть варианты теплообмена при прямотоке и противотоке, когда нефть нагревается до 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290 $^{\circ}\text{C}$, а крекинг–остаток охлаждается до 195, 190, 185, 180, 175, 170, 165, 160, 155, 150, 145, 140 $^{\circ}\text{C}$. Начальная температура крекинг–остатка остается $t_{\text{нач}} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а нефти – 25 $^{\circ}\text{C}$. Охарактеризовать эффективность оформления процессов теплообмена, сравнив полученные данные с результатами других студентов, сделать выводы.

Работа 4. Влияние физических свойств теплоизоляционных материалов на потери тепла от теплообменников и теплопроводов.

Цель работы: определить влияние физических свойств теплоизоляционных материалов на процессы теплообмена в теплообменниках и теплопроводах.

Содержание отчета: краткие теоретические сведения, раскрывающие тему в соответствии с целью, порядок и результаты расчетов, анализ расчетов и выводы.

4.1 Общие положения

4.1.1 Энергосбережение при использовании теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы служат для защиты оборудования и коммуникаций от теплообмена с окружающей средой. Основной особенностью теплоизоляционных материалов является их малая теплопроводность, обусловленная высокопористой структурой и малым объемным весом. Теплоизоляционные материалы должны обладать достаточной механической прочностью, термостойкостью, влагостойкостью и быть удобными для монтажа изоляционных конструкций, ограждающих теплоотдающие или воспринимающие тепло поверхности.

Для уменьшения потерь через ограждающие конструкции применяются изоляционные материалы, с коэффициентом теплопроводности $\sim 0,2$ Вт / (м · К) и меньше. В настоящее время выпускается широкий спектр многоцелевых изоляционных материалов: минеральная вата, утеплители на основе стекловолокна и стеклотканей, полистирол, пенопласт, керамзитовый гравий и др. Древесноволокнистые плиты имеют коэффициент теплопроводности равный 0,093 Вт / (м · К).

Задание 4.

Теплообменник сделан из стали: толщина стальной стенки $\delta_{ст} = 5$ мм, толщина изоляции $\delta_{из} = 50$ мм. Температура жидкости в теплообменнике $t_1 = 80$ °С, температура наружного воздуха $t_2 = 10$ °С. Коэффициент теплоотдачи от жидкости к стене аппарата $\alpha_1 = 232$ Вт/(м² К), коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции (F_{cm2}) к воздуху $\alpha_2 = 10,4$ Вт / (м² · К), коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_{из} = 0,12$ Вт / (м · К), а стали $\lambda_{ст} = 46,5$ Вт/(м · К). 1 ккал / м² · ч = 1,163 Вт / м².

Рассчитаем потери тепла из 1 м² поверхности стального теплообменника (по уравнениям 7 и 17):

1. без изоляции $K=9,96$ Вт/(м² К); $q=9,96 (80-10)=697,2$ (Вт/м²) или 600 ккал (м² ч).

2. с изоляцией $K=1,86$ Вт/(м² К); $q=1,86 (80-10)=130$ (Вт/м²) или 112 ккал/(м² ч).

Т.о. использование теплоизоляции на данном теплообменнике снижает в 5,4 раза потери тепла в окружающую среду. Температуры $t_{1,вн}$, $t_{1,н}=t_{2,вн}$, $t_{2,н}$ можно определить из системы уравнений

$$q = \alpha_1 (t_1 - t_{1,вн}) = \frac{\lambda_{ст}}{\delta} (t_{1,вн} - t_{1,н}) = \alpha_2 (t_{2,вн} - t_{2,н})$$

Температура внутренней поверхности стенки аппарата:

$$t_{1,вн} = t_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 80 - \frac{130}{232} = 79,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура наружной поверхности стенки аппарата: ($t_{1,н}$ или $t_{2,вн}$)

$$t_{1,н} = t_{1,вн} - q \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = 79,4 - \frac{130 \cdot 0,005}{46,5} \approx 79,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура наружной поверхности изоляции:

$$t_{2,н} = \frac{q}{\alpha_2} + t_2 = \frac{130}{10,4} + 10 = 22,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Контрольное задание 4.1

Теплообменник с параметрами, заданными в задании 4 функционирует при условиях: $t_1=95, 90, 85, 80, 75, 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ для жидкости. Температуры наружного воздуха: $t_2=5, 10, 15, 20, 25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Режимы задаются преподавателем. В качестве изоляционных материалов использовать: асбест с $\lambda_{асб}=0,151$; винилпласт с $\lambda_{вин}=0,163$; войлок с $\lambda_{в}=0,047$; пенопласт с $\lambda_{пп}=0,047$; стеклянную вату с $\lambda_{св}=0,052$; шлаковую вату с $\lambda_{шв}=0,076 \text{ Вт/(м К)}$ [5,6]. Толщину изоляционного слоя, используемую в расчетах согласовывать с преподавателем. Охарактеризовать эффективность использования теплоизоляционных материалов, сравнив полученные данные студентами.

Контрольные вопросы

1. Основные способы переноса тепла;
2. Закон передачи тепла теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности;
3. Уравнение теплопроводности плоской стенки;
4. Уравнение теплопроводности многослойной стенки для установившегося потока;
5. Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки;
6. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Коэффициент теплопроводности;
7. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи;
8. Движущая сила процесса теплопередачи;
9. Определение температур поверхностей стенок в многослойных стенках;
10. Инфильтрация. Уравнение для расчета потерь тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В.И. Энергосбережение. – Мн. : БГТУ, 2001.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М. : Химия, 1973.
3. Паневчик В.В., Ковалев А.Н., Самойлов М.В. Основы энергосбережения. – Мн. : БГЭУ, 2007.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – Л. : Химия, 1981.
5. Романков П.Г., Курочкина М.И. и др. Процессы и аппараты химической промышленности. – Л. : Химия, 1989.
6. Сб.тезисов докладов III-ей Международной научно-практической конференции. Т 1 Чрезвычайные ситуации: Предупреждение и ликвидация.. – Мн. , 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Основные понятия о теплопередаче.....	3
3. Передача тепла теплопроводностью.....	4
4. Уравнение теплопроводности плоской стенки.....	5
5. Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки.....	8
6. Конвекция. Закон Ньютона.....	9
7. Теплопередача при постоянных температурах теплоносителей.....	11
8. Теплопередача при переменных температурах теплоносителей	13
9. Определение температуры стенок.....	14
10. Практические работы.....	15
Работа 1. Оценка пожаробезопасных параметров при эксплуатации отопительных устройств.....	15
Работа 2. Расчет теплотерь через ограждающие поверхности зданий и сооружений.....	15
Работа 3. Выбор взаимного направления движения теплоносителей – источник энергосбережения.....	15
Работа 4. Влияние физических свойств теплоизоляционных материалов на потери тепла от теплообменников и теплопроводов.....	15
11. Контрольные вопросы.....	27
Литература.....	27

Учебное издание

Кирвель Иван Иосифович
Бражников Михаил Михайлович
Зацепин Евгений Николаевич

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛООБМЕНА

Методическое пособие

для практических занятий по дисциплинам «Основы экологии и энергосбережения» и
«Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях.

Радиационная безопасность»

для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР

Редактор
Корректор
Компьютерная верстка

Подписано в печать	2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ.л.
Уч.-изд.л.		Тираж экз	Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004.
ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П.Бровки, 6