

А.А. Челноков
А.Ф. Мирончик
И.Н. Жмыхов

Инженерные методы охраны атмосферного воздуха

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений
высшего образования
по техническим специальностям
и специальности «Природоохранная
деятельность (по направлениям)»*



Минск
«Вышэйшая школа»

УДК 508.175(075.8)

ББК 20.18я73

Ч-38

Рецензенты: кафедра природообустройства Брестского государственного технического университета; заведующий кафедрой экологии Белорусского национального технического университета доцент, кандидат технических наук *Г.И. Морзак*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-2682-0

© Челноков А.А., Мирончик А.Ф.,
Жмыхов И.Н., 2016

© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2016

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСУД – автоматизированная система управления движением
АТП – автотранспортный поток
АЭ – акустический экран
АЭС – атомная электростанция
ВДВ – временно допустимый выброс
ВЛЭП – воздушная линия электропередачи
ВСВ – временно согласованный выброс
ВПУ – вихревой пылеуловитель
ГВВ – газовоздушный выброс
ГВПВ – газопромыватель Вентури прямоочный высоконапорный
ГН – гигиенический норматив
ГОУ – газоочистная установка
ГХБ – гексахлорбензол
ДВС – двигатель внутреннего сгорания
ДДТ – дихлордифенилтрихлорметилметан
ДМЭ – диметилловый эфир
ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота
ДП-слой – дисперсионно-пенный слой
ДЭ – диоксиновый эквивалент
ЕМЕП – совместная программа наблюдений и оценки переноса загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе
ЗИ – звукоизоляция
ЗОЗ – зона ограничения застройки
ЗПМ – звукопоглощающий материал
ИЗА – индекс загрязнения атмосферы
ИК – инфракрасный
КоАП – Кодекс об административных правонарушениях
КППГ – компримированный природный газ
КПД – коэффициент полезного действия
КПУ – кислородный производный углеводород
ЛОС – летучее органическое соединение
ЛЭП – линии электропередачи
НДВ – норматив допустимых выбросов
НМЛОС – неметановые летучие органические соединения
НМУ – неблагоприятные метеорологические условия
НПА – нормативный правовой акт
НПВ – неприятно пахнущие вещества
НРБ – нормы радиационной безопасности
НСМОС – Национальная система мониторинга окружающей среды
НСУР – Национальная стратегия устойчивого развития
ОБУВ – ориентировочно безопасный уровень воздействия
ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду
ОНД – отраслевой нормативный документ
ООН – Организация Объединенных Наций

ОРВ – озоноразрушающее вещество
ПАВ – поверхностно-активное вещество
ПАУ – полициклические ароматические углеводороды
ПВС – паровоздушная смесь
ПГУ – парогазовая установка
ПДВ – предельно допустимый выброс
ПДК – предельно допустимая концентрация
ПДУ – предельно допустимый уровень
ПЗА – потенциал загрязнения атмосферы
ПКС – передвижная компрессорная станция
ПО – показатель опасности
ПОД – природоохранный документ
ППР – планово-предупредительный ремонт
ПХБ – полихлорированные бифенилы
ПХД – полихлорированные диоксины
ПХДД – полихлорированный дибензопарадиоксин
ПХДФ – полихлорированный дибензолфуран
ПХФ – полихлорированные фураны
ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина
РД – руководящий документ
РДУ – Республиканский допустимый уровень
РИФ – рамный ионообменный фильтр
РМ10 и РМ2,5 – фракции частиц взвешенных веществ с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм и 2,5 мкм соответственно
РТ – расчетная точка
РТИ – резинотехническое изделие
РЦРКМ – Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды
РЧ – радиочастотный диапазон
СЗЗ – санитарно-защитная зона
СВЧ – сверхвысокая частота
СОЗ – стойкий органический загрязнитель
ТИ – транспортная информация
ТКП – технический кодекс установившейся практики
ТНПА – технический нормативный правовой акт
ТС – транспортное средство
ТХДД – тетрахлордибензопарадиоксин
ТЭС – теплоэлектростанция
ТЭЦ – теплоэлектроцентраль
УЗ – уровень звука
УЗД – уровень звукового давления
УК – уголовный кодекс
УФ – ультрафиолетовый
УЭС – удельное электрическое сопротивление
ФАР – фотосинтетически активная радиация
ЦАГИ – Центральный аэрогидродинамический институт
ЦВЕ – Центрально-Восточная Европа
ЦГЭ – Центр гигиены и эпидемиологии

ЦНС – центральная нервная система
ЦРП – центробежный ротационный пылеуловитель
ЦТФ – цех технических фабрикатов
ЭМФ – электромагнитный фон
ЭМИ – электромагнитное излучение
ЭМП – электромагнитное поле
IEA – Международное энергетическое агентство
CO – оксид углерода (угарный газ)
CO₂ – диоксид углерода (углекислый газ)
CH – несгоревшие углеводороды с общей формулой C_xH_y
NO, NO₂ – оксиды азота с общей формулой NO_x
N₃H – аммиак
H₂O – вода
SAR – удельная поглощенная мощность
SO₂ – диоксид серы
SO₃ – триоксид серы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Атмосфера является одним из необходимых условий возникновения и существования жизни на Земле. Она играет важную роль в жизнедеятельности человека, участвует в формировании климата на планете, регулирует ее тепловой режим, способствует перераспределению теплоты у поверхности земли, обеспечивает процесс фотосинтеза растений, а также выполняет множество других функций.

В современный период атмосфера Земли претерпевает множественные трансформации коренного характера — изменяются ее свойства и газовый состав, возрастает опасность разрушения ионосферы и стратосферного озона, повышается ее запыленность, нижние слои атмосферы насыщаются вредными для биоты загрязняющими веществами техногенного происхождения и др.

Выбросы углекислого газа в атмосферу в 2014 г. достигли нового рекорда — почти 40 млрд т. По сравнению с 2013 г. они увеличились на 2,5 %. Такие данные приводятся в обновленном «Мировом углеродном бюджете» международного проекта Global Carbon Project.

При сжигании нефти и нефтепродуктов образуется 33 % от всех выбросов диоксида углерода, природного и сопутствующего газа — 18 %, при производстве цемента — 5,5 %. Остальное количество выбросов углекислого газа приходится на прочие источники. В настоящее время на одного жителя планеты выбрасывается более 1,4 т диоксида углерода в год.

В последние десятилетия температура атмосферы растет более быстрыми темпами, чем когда-либо ранее. Это в определенной мере обусловлено деятельностью человечества, связанной с увеличением потребления топлива и уничтожением площади лесных ресурсов.

Глобальное потепление климата может привести к интенсивному таянию ледников и повышению уровня Мирового океана. Изменения, которые могут вследствие этого произойти на планете, просто трудно предсказать.

В последние годы ученые все с большей тревогой отмечают *истощение озонового слоя* атмосферы. Особенно быстро этот процесс протекает над полюсами планеты, где появились так называемые *озоновые дыры*. Опасность этого явления заключается в том, что УФ-излучение губительно для всех живых организмов, в том числе и для человека.

Глобальное загрязнение атмосферного воздуха сказывается на состоянии природных экосистем, особенно на зеленом покрове нашей планеты. *Кислотные дожди*, вызываемые главным образом диоксидом серы и оксидами азота, наносят огромный вред водным, почвенным, растительным биосферам, зданиям, сооружениям, памятникам культуры и др.

Экономические потери от кислотных дождей в США по оценкам исследователей составляют ежегодно на восточном побережье 13 млн дол., к концу века убытки достигнут 1,750 млрд дол. от потери лесов, 8,300 млрд дол. — от потери урожаев (только в бассейне реки Огайо) и только в штате Миннесота 40 млн дол. — на медицинские расходы.

В связи с этим перед мировым сообществом стоит задача 50 %-го сокращения выбросов диоксида углерода и соответственно других загрязняющих веществ к 2050 г. Под эгидой Международного энергетического агентства (IEA) осуществлен прогнозный расчет изменения выбросов CO₂ на планете к 2050 г. при условии, что мировое сообщество не будет предпринимать никаких усилий к снижению выбросов (базовый сценарий), и в случае, если будут выполняться международные соглашения по изменению климата.

В первом случае годовой выброс диоксида углерода может достичь 62 млрд т, во втором — он будет снижен до 14 млрд т. По оценкам IEA снижение выбросов диоксида углерода от транспортного сектора мировой экономики может составить 26 %, что является очень важным и многообещающим, так как на долю автотранспорта приходится около 75 % общемирового роста потребления нефтяных ресурсов.

В Беларуси, как и во всех странах, автомобильный транспорт, топливно-энергетический комплекс и промышленные предприятия наносят наиболее существенный вред окружающей природной среде, а значит, и здоровью населения. В связи с этим расширение и углубление знаний о воздействии объектов экономики на атмосферный воздух, а также обеспечение экологической безопасности как отдельного человека, так и общества в целом становится условием и средством экологически устойчивого развития страны. Стратегия устойчивого развития страны предполагает разумную экологически обоснованную технологическую и техническую политику — производить продукции больше с минимальными затратами, т.е. сберегать ресурсы, использовать их с наибольшим эффектом, совершенствовать и быстро менять технологии производства

на более экологобезопасные. Должна быть обеспечена стратегия превентивных экологических мер, заключающихся во внедрении самых эффективных технологий, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение, совершенствование и быструю смену технологий.

Для решения этих задач необходимы специалисты, обладающие научными основами обеспечения экологической безопасности, в том числе и по защите атмосферного воздуха. В связи с этим в соответствии с образовательным стандартом высшего образования ОСВО 1-33 01 07-2013 для специальности 1-33 01 07 «Природоохранная деятельность» в учебном плане предусмотрена специальная дисциплина «Инженерные методы охраны атмосферного воздуха». Изучение данной дисциплины является обязательным элементом фундаментальной подготовки специалистов в области природоохранной деятельности и основой того, что выпускники смогут осуществлять интеллектуальное и инженерное обеспечение качественного состояния атмосферного воздуха при организации и управлении промышленным производством.

В процессе освоения дисциплины у будущих специалистов должны сформироваться современные представления об основных принципах и направлениях охраны атмосферного воздуха, процессах, протекающих в атмосфере при поступлении в нее загрязняющих веществ и их рассеивании. В комплекс знаний, предусмотренный дисциплиной, входят также вопросы нормирования и инвентаризации выбросов в атмосферу, государственного регулирования, учета и контроля; очистки, обезвреживания, обеззараживания и дезодорации газовоздушных выбросов, защиты воздушного бассейна от механических, химических и физических воздействий. Особое место в изучении средств защиты атмосферного воздуха отводится правовым, организационным, санитарно-техническим, градостроительным и другим методам.

В настоящее время в Беларуси и странах СНГ учебников и учебных пособий для обеспечения учебного процесса по этой дисциплине недостаточно, поэтому предлагаемое учебное пособие «Инженерные методы охраны атмосферного воздуха» является первой попыткой систематизировать и обобщить весь комплекс имеющихся научных, нормативных и производственных материалов по охране атмосферного воздуха. Оно подготовлено с учетом требований соответствующих образовательного стандарта, типового учебного плана и учебной программы.

Материал учебного пособия составлен на основе действующих законодательных и других нормативных правовых актов по охране атмосферного воздуха Беларуси. Поскольку в некоторых главах пособия изложен материал отдельных самостоятельных дисциплин, которым посвящена обширная специальная литература, то в нем приводятся лишь сведения, необходимые для системного усвоения общих закономерностей и положений. Более полную информацию по рассматриваемым вопросам можно получить из оригинальной литературы и нормативных правовых актов по соответствующим ссылкам в тексте пособия.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность С.Н. Байтовой, К.К. Юрашику, И.В. Бородько, С.В. Челочеву за предложения, которые были сделаны ими при подготовке рукописи к печати, а также Е.А. Роговой за большую работу по подготовке рисунков рукописи к печати.

Особую признательность авторы выражают рецензентам рукописи: заведующему кафедрой экологии Белорусского национального технического университета доценту, кандидату технических наук *Г.И. Морзак*, профессору, доктору географических наук *А.А. Волчек* и доценту, кандидату технических наук *А.А. Волчек* кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета, а также коллективам сотрудников этих кафедр. Предложения, советы и замечания способствовали улучшению как содержания пособия, так и самого изложения учебного материала.

ГЛАВА 1. ОХРАНА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

1.1. Атмосфера, ее строение, состав и значение для биосферы

Атмосфера — газообразная оболочка планеты, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли массой около $5,9 \cdot 10^{15}$ т. Через атмосферу осуществляется обмен вещества Земли с космосом. Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, теряет самые легкие газы — водород и гелий. Атмосфера Земли насквозь пронизывается мощной радиацией Солнца, определяющей тепловой режим поверхности планеты, вызывающей диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов.

Предполагают, что современная атмосфера имеет вторичное происхождение. Она образовалась после завершения формирования планеты около 4,5 млрд лет назад из газов, выделяемых твердыми оболочками Земли. В течение геологической истории Земли атмосфера под влиянием различных факторов претерпевала значительные изменения своего состава.

Развитие атмосферы зависит от геологических и геохимических процессов, происходящих на Земле. После возникновения жизни на нашей планете, т.е. примерно 3,5 млрд лет назад, на развитие атмосферы начали оказывать существенное влияние и живые организмы. Значительная часть газов (азот, углекислый газ, водяной пар) возникла в результате извержения вулканов. Кислород появился около 2 млрд лет назад как результат деятельности фотосинтезирующих организмов, первоначально зародившихся в поверхностных водах океана.

Во многих отношениях атмосфера напоминает водную оболочку, покрывающую в виде морей и океанов три четверти земной поверхности. Как условия жизни в глубинах океана разительно отличаются от условий обитания вблизи поверхности воды, так и условия на дне воздушного океана, в которых живет человечество, отличаются от тех, что имеются в верхних слоях земной атмосферы.

Масса атмосферы нашей планеты ничтожна — всего лишь одна миллионная часть массы Земли. Однако ее роль в природных процессах биосферы огромна. Наличие вокруг земного шара атмосферы определяет общий тепловой режим поверхности нашей планеты, защищает ее от вредных космиче-

ского и ультрафиолетового (УФ) излучений. Циркуляция атмосферы оказывает влияние на местные климатические условия, а через них — на режим рек, почвенно-растительный покров и на процессы рельефообразования.

Атмосфера имеет условное слоистое строение и состоит из нескольких сфер, между которыми располагаются переходные слои — «паузы». В каждой сфере изменяется количество воздуха, давление и его температура (рис. 1.1).

Наиболее плотный слой воздуха, прилегающий к земной поверхности, носит название *тропосферы*. Протяженность ее по высоте в средних широтах составляет 10–12 км над уровнем моря, на полюсах — 7–10 км, над экватором — 16–18 км. Здесь содержатся 80 % массы атмосферы и до 80 % водяного пара, развиваются физические процессы, формирующие погоду и влияющие на климат нашей планеты. Температура в тропосфере по высоте уменьшается примерно на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м и колеблется от $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

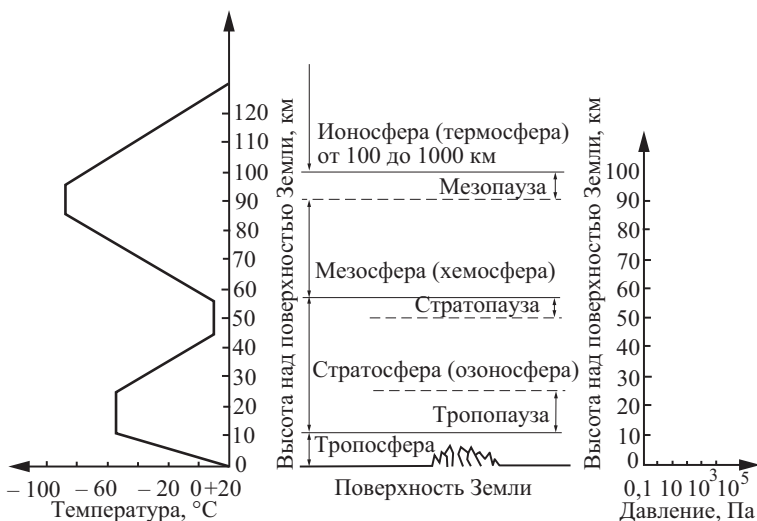


Рис. 1.1. Зависимость температуры и давления воздуха от расстояния до поверхности Земли (Семенова, 2009)

Атмосфера представляет собой чрезвычайно сложную систему. Ее пронизывает излучение Солнца и испускаемые им частицы высокой энергии, а также космическое излучение. Этот поток энергии оказывает заметное химическое воздей-

ствие на атмосферу. Кроме того, под влиянием земного притяжения более тяжелые атомы и молекулы опускаются в нижнюю часть атмосферы, а в верхней ее части остаются более легкие.

Состав атмосферы находится в состоянии динамического равновесия, поддерживаемого климатическими факторами (перемещение воздушных масс и атмосферные осадки), жизнедеятельностью растительного и животного мира (особенно лесов и планктона Мирового океана), космическими, геохимическими и геофизическими процессами и хозяйственной деятельностью человека. Приблизительный состав атмосферы представлен в табл. 1.1, но основными газами являются азот, кислород, аргон и углекислый газ.

Таблица 1.1. Приблизительный состав атмосферы*

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	по объему	по массе
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар: в полярных широтах	0,2	—
у экватора	2,6	—
Озон: в тропосфере	0,000001	—
в стратосфере	0,001—0,0001	—
Метан	0,00016	0,00009
Оксид азота	0,000001	0,0000003
Оксид углерода	Тысячные доли, в воздухе городов — до 0,000008	0,0000078

* Таблица отражает только порядок чисел (например, массу атмосферы оценивают от 5,15 до $5,9 \cdot 10^{15}$ т), поскольку количество атмосферных примесей непрерывно меняется (Степановских, 2001).

Над тропосферой до высоты 45–55 км (нижняя граница стратосферы) расположена *стратосфера*, где температура постепенно возрастает до самой верхней границы. В ней находится озоновый слой, поглощающий большую часть УФ-ра-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	3
Предисловие	6
Глава 1. Охрана атмосферного воздуха	10
1.1. Атмосфера, ее строение, состав и значение для биосферы	10
1.2. Основные принципы и направления защиты атмосферы	21
1.3. Правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха и озонового слоя	26
1.4. Мониторинг атмосферного воздуха и озонового слоя	36
1.5. Экономические инструменты в области охраны атмосферного воздуха	42
1.6. Вред, причиненный окружающей среде, и порядок его возмещения	48
Глава 2. Загрязнение воздуха и рассеивание примесей в атмосфере	53
2.1. Источники загрязнения атмосферного воздуха	53
2.2. Вентиляционные источники выбросов	57
2.3. Особенности рассеивания загрязняющих веществ	61
2.4. Трансформация загрязняющих веществ в атмосфере	71
2.5. Физическое загрязнение атмосферы	77
2.6. Состояние загрязнения атмосферного воздуха	87
Глава 3. Инвентаризация источников выбросов и учет в области охраны атмосферного воздуха	91
3.1. Инвентаризация источников выбросов	91
3.2. Инструментальный контроль выбросов загрязняющих веществ	104
3.3. Основные принципы расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере	117
3.4. Учет и контроль в области охраны атмосферного воздуха	126
3.5. Государственный кадастр атмосферного воздуха	132
Глава 4. Государственное регулирование охраны атмосферного воздуха	137
4.1. Общие сведения	137
4.2. Нормирование качества атмосферного воздуха	138
4.3. Нормирование шума и вибрации	142
4.4. Нормирование электромагнитного воздействия	147
4.5. Нормирование поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух	149
4.5.1. Категорирование объектов воздействия на атмосферу	149
4.5.2. Нормативы допустимых выбросов	153

Глава 5. Технология и техника защиты атмосферного воздуха	158
5.1. Основы газоочистки.	158
5.2. Основные требования при эксплуатации газоочистных установок	162
5.3. Пылеулавливание	166
5.4. Обработка газовоздушных выбросов.	205
5.4.1. Очистка	207
5.4.2. Обезвреживание	217
5.4.3. Дезодорация и обеззараживание	221
5.5. Особенности выбора метода обработки газовоздушных выбросов	237
Глава 6. Защита воздушного бассейна от выбросов транспортных средств	244
6.1. Общие сведения	244
6.2. Организационные мероприятия по снижению валовых выбросов автотранспорта	250
6.3. Технологические мероприятия	260
6.4. Санитарно-технические и архитектурно-планировочные мероприятия.	263
6.5. Очистка и обезвреживание вентиляционных выбросов транспортных инженерных сооружений	270
Глава 7. Защита атмосферного воздуха от выбросов предприятий теплоэнергетики	280
7.1. Характеристика выбросов загрязняющих веществ от теплоэнергетических производств.	280
7.2. Методы снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.	283
Глава 8. Охрана атмосферного воздуха на перерабатывающих предприятиях агропромышленного комплекса	298
8.1. Характеристика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.	298
8.2. Защита атмосферного воздуха от воздействия пищевых производств	313
Глава 9. Защита атмосферного воздуха от физических воздействий	324
9.1. Общие сведения об акустике и расчет шума	324
9.2. Основные методы и средства защиты от шума	329
9.3. Шумовиброзащитные конструкции	335
9.4. Современные средства шумозащиты	338
9.5. Средства и методы защиты от воздействия электромагнитных полей	344

9.5.1. Общие сведения.....	344
9.5.2. Расчет и защита от электромагнитных полей.....	346

Глава 10. Градостроительные способы снижения воздействия вредных факторов на атмосферный воздух350

10.1. Функциональные зоны территории населенных пунктов и экологические требования к их организации	350
10.2. Санитарно-защитные зоны предприятий	359
10.3. Фитомелиорация	369
10.3.1. Очистка и санация воздуха	369
10.3.2. Защита от физических факторов (шума).....	375

Предметный указатель	386
Литература	393

Челноков, А. А.

- Ч-38** Инженерные методы охраны атмосферного воздуха : учеб. пособие / А. А. Челноков, А. Ф. Мирончик, И. Н. Жмыхов. — Минск : Вышэйшая школа, 2016. — 397 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2682-0.

Описаны основные принципы и направления охраны атмосферного воздуха, процессы, протекающие в атмосфере при поступлении в нее загрязняющих веществ и их рассеивании. Рассмотрены вопросы нормирования и инвентаризации выбросов в атмосферу, государственного регулирования, учета и контроля; очистки, обезвреживания, обеззараживания и дезодорации газовоздушных выбросов, защиты воздушного бассейна от механических, химических и физических воздействий. Особое место в изучении средств защиты атмосферного воздуха отводится правовым, организационным, санитарно-техническим, градостроительным и другим методам. Представлены действующие законодательные и другие нормативные правовые акты по охране атмосферного воздуха.

Для студентов и магистрантов инженерных специальностей, аспирантов и преподавателей. Будет полезно специалистам производственной сферы услуг при повышении квалификации, а также государственным служащим, занятым проблемами охраны атмосферного воздуха и вопросами экологии.

УДК 508.175(075.8)
ББК 20.18я73

Учебное издание

Челноков Александр Антонович
Мирончик Александр Федорович
Жмыхов Иван Николаевич

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Учебное пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.В. Кульнис*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуни*

Подписано в печать 11.08.2016. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.
Гарнитура «Ньютон». Офсетная печать. Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 22,1.
Тираж 800 экз. Заказ 1989.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Республиканское унитарное предприятие
«Издательство “Белорусский Дом печати”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/102 от 01.04.2014.

Пр. Независимости, 79, 220013, Минск.