

5/57
Б44

депозитне
зберігання

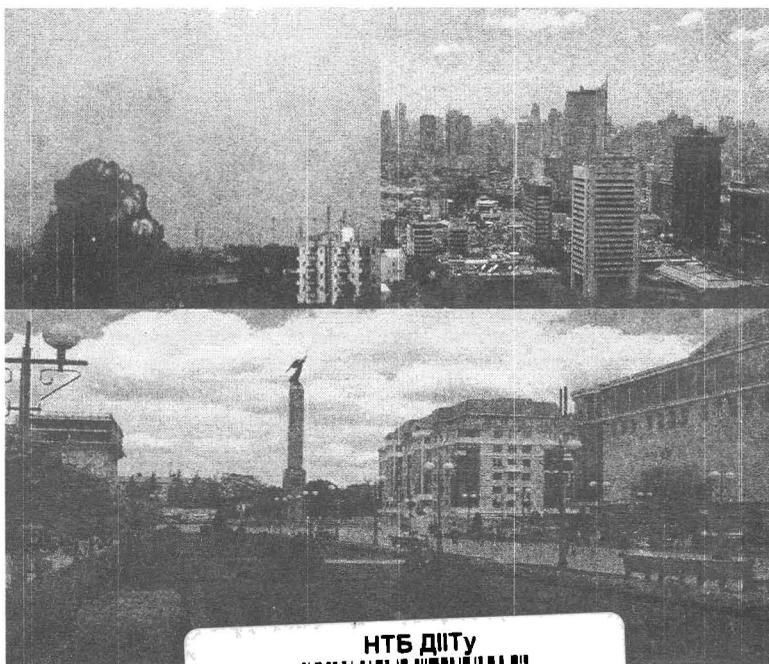
БЕЛЯЕВ Н. Н.
ГУНЬКО Е. Ю.
РОСТОЧИЛО Н. В.



ЗАЩИТА ЗДАНИЙ ОТ
ПРОНИКНОВЕНИЯ В НИХ
ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

ДНЕПРОПЕТРОВСЬКА
35571 ЧИЯ
Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило

ЗАЩИТА ЗДАНИЙ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ В НИХ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ



НТБ ДІТУ



000858593

ВНЛ

Днепропетровск
Акцент ПП
2014

УДК 504.5:699.8

ББК 20.1:384

Б 47

Рецензенты:

Л. С. Савин д-р техн. наук, проф. (ПГАСА)
В. Д. Петренко д-р техн. наук, проф. (ДИИТ)
С. З. Полищук д-р техн. наук, проф. (ПГАСА)

*Рекомендовано к печати Ученым советом
Днепропетровского национального университета
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*

Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило

Б 47 **Защита зданий от проникновения в них опасных веществ [Текст]**
/ Н. Н. Беляев, А. М. Гунько, Н. В. Росточило. Д.: Акцент ІПІ, 2014. –
136 с.

ISBN 978-617-7109-69-2

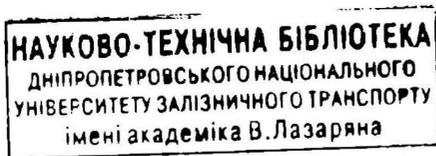
В монографии рассмотрен вопрос защиты зданий от проникновения в них опасных веществ. Предложен комплекс численных моделей, позволяющих решить задачи по оценке эффективности применяемых методов защиты.

Для студентов, аспирантов, научных работников и специалистов в области гидроаэродинамики, экологической безопасности, прикладной математики.

Іл. 65. Табл. 19. Бібліогр.: 131 найм.

УДК 504.5:699.8

ББК 20.1:384



ISBN 978-617-7109-69-2

© Беляев Н. Н., Гунько Е. Ю.,
Росточило Н. В., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 Анализ состояния проблемы	6
1.1. Классификация химически опасных веществ...	6
1.2. Анализ чрезвычайных ситуаций в г. Днепропетровске, сопровождающихся выбросом химически опасных веществ.....	11
1.3. Анализ причин аварий на химически опасных объектах.....	14
1.4. Загрязнение атмосферного воздуха при терактах.....	16
1.5. Анализ мероприятий по защите атмосферы от загрязнения.....	21
1.6. Защита зданий от попадания в них опасных веществ.....	28
1.7. Анализ методов решения задачи о переносе опасных веществ в воздушной среде.....	32
ГЛАВА 2 Модели для оценки эффективности защиты зданий от попадания в них опасных веществ	43
2.1. Особенности рассматриваемого класса задач.....	43
2.2. Модель переноса опасного вещества в атмосфере.....	47
2.3. Модель загрязнения воздушной среды внутри помещения при затекании загрязненного атмосферного воздуха.....	52
2.4. Аэродинамические модели.....	55
2.5. Моделирование процесса нейтрализации опасного вещества в атмосфере.....	58
ГЛАВА 3 Численное решение моделирующих уравнений	60
3.1. Разностная схема для численного интегрирования уравнения переноса примеси в атмосфере.....	60

3.2. Численное интегрирование уравнений аэродинамики.....	64
3.3. Моделирование зданий и препятствий в численной модели.....	68
3.4. Описание разработанных кодов.....	69
ГЛАВА 4 Моделирование защиты зданий от попадания в них опасных веществ.....	74
4.1. Оценка эффективности применения защитного экрана.....	74
4.2. Оценка эффективности применения метода нейтрализации для локальной защиты атмосферы от загрязнения.....	87
4.3. Оценка эффективности применения воздушной завесы для локальной защиты атмосферы от загрязнения.....	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	125

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, за рубежом, активизировалась разработка систем и технологий по защите зданий от проникновения в них опасных веществ (биологических, радиоактивных, химических). Это связано с возрастающим риском терактов на промышленных объектах, в городах. В рамках данной защиты выделяют направление «shelter-in-place» (SIP). SIP – это комплексная защита, сочетающая в себе ряд различных элементов. Ключевой задачей SIP – является минимизации уровня загрязнения атмосферного воздуха, поступающего в здание и минимизация уровня загрязнения воздушной среды в конкретных помещениях. Можно утверждать, что создание технологий, способствующих повышению эффективности защиты SIP – является важной задачей в области экологической безопасности.

В данной монографии рассмотрены новые численные модели для проведения исследований по оценке эффективности защиты SIP, путем применения различных технологий: использование защитных экранов, применение воздушной завесы, применение метода нейтрализации и сорбции опасных веществ на поверхностях.

Материалы данной работы разрабатывались в рамках проекта NATO SPS Project «*Decision Supports System for Accidental or Emergency Environmental Pollution*».

ГЛАВА 1

Анализ состояния проблемы

В данной главе обсуждается состояние изучаемой проблемы, связанной с загрязнением атмосферы при чрезвычайных ситуациях и защиты зданий от проникновения в них опасных веществ.

1.1. Классификация химически опасных веществ

Аварии на химически опасных объектах (ХОО), при транспортировке опасных грузов, а также при терактах приводят к поступлению в атмосферу различных веществ, многие из которых могут вызвать поражение людей. В ряде случаев такие чрезвычайные ситуации на химически опасных объектах сопровождаются разрушением зданий (рис. 1.1), что усложняет быструю локализацию и ликвидацию источника эмиссии опасного вещества внутри здания, а значит – обуславливает его длительное воздействие на окружающую среду.

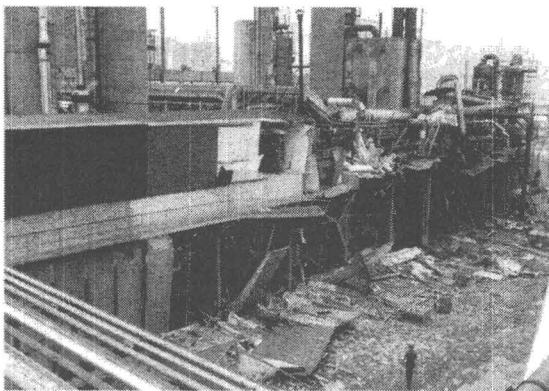


Рис. 1.1 Разрушение цеха при аварии на химически опасном объекте
(<http://conference.ing.unipi.it/ichs/images/stories/papers/210.pdf>)

Химически опасные вещества (ХОВ) нередко подразделяют на два основных класса:

- 1) промышленные химически опасные вещества;
- 2) боевые отравляющие вещества.

Оба класса представляют собой большую опасность для людей и превышение концентрации (поражающий фактор) этих веществ выше определенного значения создает угрозу поражения.

На практике, для определения уровня опасности химического загрязнения воздушной среды используется несколько подходов – метрик. Первый подход – это оценка уровня загрязнения воздушной среды с помощью предельно допустимой концентрации – ПДК. В таблице 1.1 представлено значение ПДК для некоторых химических веществ, широко применяемых на химически опасных объектах Украины.

Таблица 1.1
Значение ПДК для некоторых химических веществ

Вещество	ПДК в рабочей зоне	Максимально разовая ПДК
Аммиак	20 мг/м ³	0.2 мг/м ³
Хлор	1 мг/м ³	0.1 мг/м ³
окись углерода	20 мг/м ³	5 мг/м ³
Сероуглерод	1 мг/м ³	0.03 мг/м ³
Сероводород	10 мг/м ³	0.008 мг/м ³

Из таблицы 1.1 видно, что ПДК в рабочей зоне значительно выше такого показателя, как максимально разовая ПДК, поэтому, для экспресс оценки опасности уровня загрязнения воздушной среды при чрезвычайных ситуациях можно использовать значение ПДК в рабочей зоне как «отправную» точку. Это особенно важно, когда нет информации о значении смертельной концентрации для вещества.

Величина ПДК для токсичных веществ легла в основу классификации ХОВ по уровню опасности. Эта информация представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2

**Классификация химически опасных веществ
по классу опасности**

Класс опасности	Чрезвычайно опасные	Высоко опасные	Умеренно опасные	Мало опасные
ПДК в рабочей зоне, мг/м ³	менее 0.1	0.1-1	1.1-10	более 10

В США, в двух научных организациях – Department of Energy и Environmental Protection Agency (EPA), для оценки токсичного поражения людей используется понятие «уровень опасности поражения» – *Acute Exposure Guideline Limit (AEGL)*. Это следующие виды уровня поражения: уровень AEGL-1 – наступление дискомфорта; уровень AEGL-2 – наступление необратимых последствий для организма; уровень AEGL-3 – угроза жизни [95]. Кроме этого в США ряд иных организаций используют и иные метрики для оценки уровня токсичного поражения, например:

- «максимальный уровень экспозиции (maximum exposure guideline)» – в Центре превентивной медицины при вооруженных силах США;

- «допустимый уровень экспозиции (permissible exposure guideline)» – в Агентстве по безопасности и здоровью людей (Occupational Safety and Health Administration);

- «уровень, за которым наступает угроза здоровью и жизни (imminent danger to health and life)» – в Национальном Институте проблем здоровья и безо-

пасности (National Institute for Occupational Safety and Health) и т.д.

На практике, нередко, для оценки риска токсичного поражения людей используется понятие смертельной концентрации. В литературе существуют различные данные относительно величины этого показателя для конкретных веществ. Это связано с трудностью его определения для людей. Кроме этого, такие данные приводятся в литературе для небольшого количества токсичных веществ. Например, значение данного показателя для угарного газа составляет: 6 мг/м^3 , для синильной кислоты – 0.2 мг/м^3 , для хлористого водорода – 4.5 мг/м^3 , для фосгена – 0.25 мг/м^3 . Но как отмечается в работе [34] поражение людей при такой концентрации происходит при времени экспозиции порядка 5 – 10 мин. То есть эффект воздействия на организм определяется не только концентрацией, но и временем экспозиции. Поэтому, другой метрикой для оценки поражающего эффекта является токсодоза:

$$D = \int_0^t C(x, y, z, t) dt,$$

где t – время экспозиции; C – концентрация опасного вещества в точке нахождения рецептора; x, y, z – координаты расположения рецептора.

Как известно, существует несколько видов токсодозы [2, 95]. На практике, наиболее часто используется величина LCT_n , которая обозначает токсодозу при которой n процентов людей, подвергшихся воздействию – погибает. Эффект токсодозы проявляется в том, что человек, находящийся в зоне с относительно невысокой концентрацией, но достаточно долго – может получить токсичное поражение. В таблице 1.3 представлены значения ингаляционной токсодозы для ряда

промышленных химически опасных веществ и для боевых отравляющих веществ по данным, полученным в последующей таблице (табл. 1.4), представлены значения токсодозы для некоторых США [95] биологических опасных веществ.

Таблица 1.3

Значение токсодозы для некоторых химически опасных веществ

Вещество	LCT_{50} ($mg \cdot min/m^3$)	Токсодоза, при которой наступают признаки поражения ($mg \cdot min/m^3$)
Хлор	19000	1800
Фосген	3200	1600
Цианистый водород	200 – 4500	>2000
Хлорциан	11000	7000
Иприт	1500	200
Люизит	1200 – 1500	300
Табун	400	300
Зарин	100	35 – 75
Зоман	100	35 – 75

Следует подчеркнуть, что при чрезвычайных ситуациях, сопровождающихся эмиссией химически опасных веществ или биологических загрязнителей наиболее быстро наступает поражение за счет ингаляции опасных веществ, что обусловлено быстрым их распространением в воздушной среде.

В таблице 1.5 представлены данные из зарубежных источников относительно поражающих свойств ряда опасных веществ.

Таблица 1.4

Значение токсодозы для некоторых биологически опасных веществ [95]

Агент	Тип агента	Минимальная LC ₅₀ (mg*min/мм ³)
Variola (smallpox)	DNA virus	1.36*10 ⁻⁶
Bacillus anthracis	Bacterial spore	5.30*10 ⁻⁴
Botulinum	Neurotoxin	0.08

Таблица 1.5

Поражающие свойства некоторых опасных веществ [95]

Агент	Воздействие на человека	Время, когда проявится воздействие
Variola (smallpox) (бактериологическое загрязнение)	10 – 40% смертность	7 -17 суток
Bacillus anthracis (бактериологическое загрязнение)	100% смертность	1 -6 суток
Зарин (химическое загрязнение)	удушье, нейропоражение, смерть	Несколько секунд при высоких концентрациях

1.2 Анализ чрезвычайных ситуаций в г. Днепропетровске, сопровождающихся выбросом химически опасных веществ

Украина имеет хорошо развитую химическую промышленность и большое количество промышленных объектов, где используются химически опасные вещества. Кроме этого, ежедневно осуществляется транспортировка химически опасных веществ различными видами транспорта. Все это создает угрозу хи-

мического загрязнения окружающей среды при чрезвычайных ситуациях на таких объектах.

На основе данных, предоставленных в МЧС в Днепропетровской области, был выполнен анализ чрезвычайных ситуаций, при которых произошла эмиссия химически опасных веществ и имевших место в Днепропетровской области в период с 2006 г. по 2013 г. Этот анализ показал, что наиболее часто эмиссия химически опасных веществ происходила:

1. при транспортировке химически опасных грузов железнодорожным транспортом;
2. при транспортировке химически опасных грузов автодорожным транспортом;
3. непосредственно на химически опасных предприятиях в г. Днепропетровск, расположенных в селитебных зонах или на городских сетях.

Например, за данный период произошли, в частности, такие чрезвычайные ситуации:

– **17.06.2006** г., Петриковский район, на автодороге Т-04-04 Днепропетровск – Кобеляки – Решетилка вследствие опрокидывания автомобиля, разлито химически опасное вещество. Обнаружено загрязнение почвы хлоридами;

– **07.10.2006** г., г. Днепропетровск, выброс хлора на промышленном объекте, Бабушкинский район, ул. Исполкомовская;

– **20.10.2006** г., железнодорожная станция ВС-Узел, утечка мононитротолуолу;

– **03.03.2007** г., г. Днепропетровск (ул. Героев Сталинграда), в результате повреждения трубопровода на промышленном объекте произошла утечка аммиака;

– **10.03.2007** г., г. Днепропетровск (ул. Леваневского), взрыв в канализационном коллекторе. По ин-

формации областной СЭС соответствии лабораторным исследованиям воздуха, взятых сразу после взрыва в квартире № 2 по ул. Леваневского 9, содержание толуола превышает ПДК в 334 раза, ксилола – в 2000 раз, в кв. № 2 по ул. Леваневского, 76 содержание толуола превышает ПДК в 416 раз, ксилола – в 2500 раз.

– **11.05.2007** г., Днепропетровская обл., в сернокислотном цехе ГМЗ, при проведении технологической операции по очистке холодильников произошло превышение температуры оросительной кислоты, что привело к выбросу в окружающее пространство серной кислоты. Выброс привел к образованию специфической облака, которое поочередно охватила села Веселоивановка, Богдано-Надеждовка, Миролобовка, Культура, Полтаво-Боголюбовка Пятихатского района, с населением 1,3 тыс. чел;

– **20.10.2007** г., г. Днепродзержинск, Заводской район – на проезжей части мостового перехода через р.Днепр найден деревянный контейнер, в котором находилось ампулы с жидкостью желтого цвета. На контейнере надписи «Зарин», «Заман»;

– **03.03.2008** г., с. Орехово Солонянского района, произошло опрокидывание цистерны с аммиаком в количестве 20 т;

– **31.12.2008** г., Павлоградский район, 265-й км. автодороги Киев–Луганск – произошел аварийный разлив гипохлорида натрия;

– **03.08.2009** г., г. Днепропетровск, ул. Запорожское шоссе, при транспортировке груза произошел аварийный разлив азотной кислоты;

– **01.09.2010** г., п.г.т. Софиевка, на хлораторной водоочистной станции агроцеха «Саксаганский» водоочистной станции, произошло истечение жидкого хлора;

– 11.04 и 02.08.2013 г. г. Днепропетровск (ул. Героев Сталинграда), утечка аммиака на промышленном объекте и т.д.

За рубежом количество аварий, сопровождающихся эмиссией химически опасных веществ – очень велико, что связано с широким развитием химической промышленности. Так, в период с 1998 г. по 2008 г., в США произошло порядка 170тыс. аварий только при транспортировке опасных грузов. Кроме этого опасность токсичного поражения людей исходит от терактов и применения химического оружия в городах (например, Сирия, август 2013г.). Нестабильная обстановка в ряде районов Украины создает огромный потенциальный риск химического загрязнения атмосферы, поскольку в этих районах располагаются крупные химический производства.

1.3 Анализ причин аварий на химически опасных объектах

Рассмотрим причины аварийных выбросов (разливов) на химически опасных объектах. Анализ литературных источников показывает, что аварийные разливы и выбросы химически опасных веществ на ХОО часто происходят по следующим причинам:

1) нарушение норм и правил перевозки опасных грузов на территории промышленного объекта;

2) нарушение норм и правил при погрузке, заправке (сливе) опасного груза;

3) ошибки при ремонте оборудования;

4) разрушение трубопроводов в компрессорных установках, неисправность сливного прибора, износ арматуры, выход из строя контрольно-измерительной аппаратуры, отказ предохранительных клапанов;

- 5) нарушения режимов эксплуатации;
- 6) ошибки персонала на химически опасных объектах из-за его низкой квалификации, нарушения техники безопасности;
- 7) разрушение трубопроводов, газопроводов и других систем при оползневых или других природных процессах;
- 8) ошибки на стадии проектирования химически опасного объекта;
- 9) ошибки в начальных данных, на основе которых проектировался объект;
- 10) ошибки, допущенные при проведении строительных работ;

Достаточно часто аварийные ситуации, сопровождающиеся выбросом (разливом) химически опасных веществ возникают на следующих химически опасных объектах:

- пункты заправки;
- прирельсовые склады;
- базовые склады (заводские, пунктов химизации);
- полевые емкости;
- цеха по производству опасных веществ;
- цеха, где используются опасных веществ в технологическом процессе;
- железнодорожные сортировочные станции.

Следует отметить, что крайне опасны аварии на складах, где может быть сосредоточены большие объемы химически опасных веществ, а также на железнодорожных сортировочных станциях, где имеют место маневровые работы с крупнотоннажными грузами (цистерны по 60 т и 120 т.). При авариях на ХОО железнодорожного транспорта может происходить сход

цистерн, нарушение целостности их оболочки и вылив значительного количества опасного груза.



Рис. 1.2. Загрязнение атмосферы при аварии на станции «Челябинск–Главный» (разлив брома)

Важно отметить, что даже при небольшой эмиссии ХОВ, вследствие атмосферной диффузии, создается большая зона загрязнения (например, на рис. 1.2 показана обширная зона загрязнения атмосферы при аварии на станции «Челябинск–Главный», где произошел выброс 50 кг брома).

Однако, хорошо известно, что даже при относительно невысокой концентрации загрязнителя в атмосфере, но достаточно длительном времени экспозиции (по причине, например, несвоевременной подачи сигнала на эвакуацию и т.п.) может наступить токсическое поражение людей.

1.4. Загрязнение атмосферного воздуха при терактах

Теракты являются чрезвычайной ситуацией, в результате которой может произойти умышленная эмиссия опасных веществ (в первую очередь – химических или биологических, реже – радиоактивных) в воздушную среду. Теракт – это запланированное, а значит

858 593

продуманное действие человека. Отметим, что в США разработано 15 сценариев, приводящих к наиболее опасному загрязнению атмосферы (*программа «National Planning Scenarios»*), причем, на первом месте находится взрыв ядерного заряда, а на 2-ом – 8-ом местах – различного вида выбросы биологических и химически опасных веществ в атмосферу по причине теракта, аварии на химически опасном объекте [98].

В настоящее время риск осуществления терактов с химическими и биологическими агентами – очень велик [82, 90, 92, 95, 115, 118, 121, 126]. При терактах на промышленных объектах и транспорте возможна эмиссия опасных веществ в атмосферу в очень больших количествах. При терактах на улицах городов – в жилой зоне, возможно поступление в атмосферу хоть и меньшего количества опасного вещества, чем при теракте на ХОО, но риск поражения остается крайне высоким. Это связано с тем, что опасное вещество может быть «доставлено» непосредственно близко к объекту атаки и при отсутствии систем «опознания опасности и своевременного оповещения» – привести к массовому поражению людей. Эмиссия опасных веществ при терактах, ставит крайне важную задачу в области экологической безопасности – быструю минимизацию концентрации опасного вещества в атмосферном воздухе с целью защиты людей от токсичного поражения. Особенно важно организовать такую защиту для людей, находящихся в зданиях. Это связано с тем, что в последнее время целью террористов являются именно здания, как жилые, так и административные [113, 114, 115]. Это привело к появлению в научной литературе нового термина – «атака на здание» (Attack on Building) [113] и к появлению научного направления – «за-

Наукове видання

**Біляєв Микола Миколайович
Гуцько Олена Юріївна
Росточило Наталія Василівна**

ЗАХИСТ БУДІВЕЛЬ ВІД ПРОНИКНЕННЯ В НИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

Монографія

Матеріал друкується в авторській редакції

Російською мовою

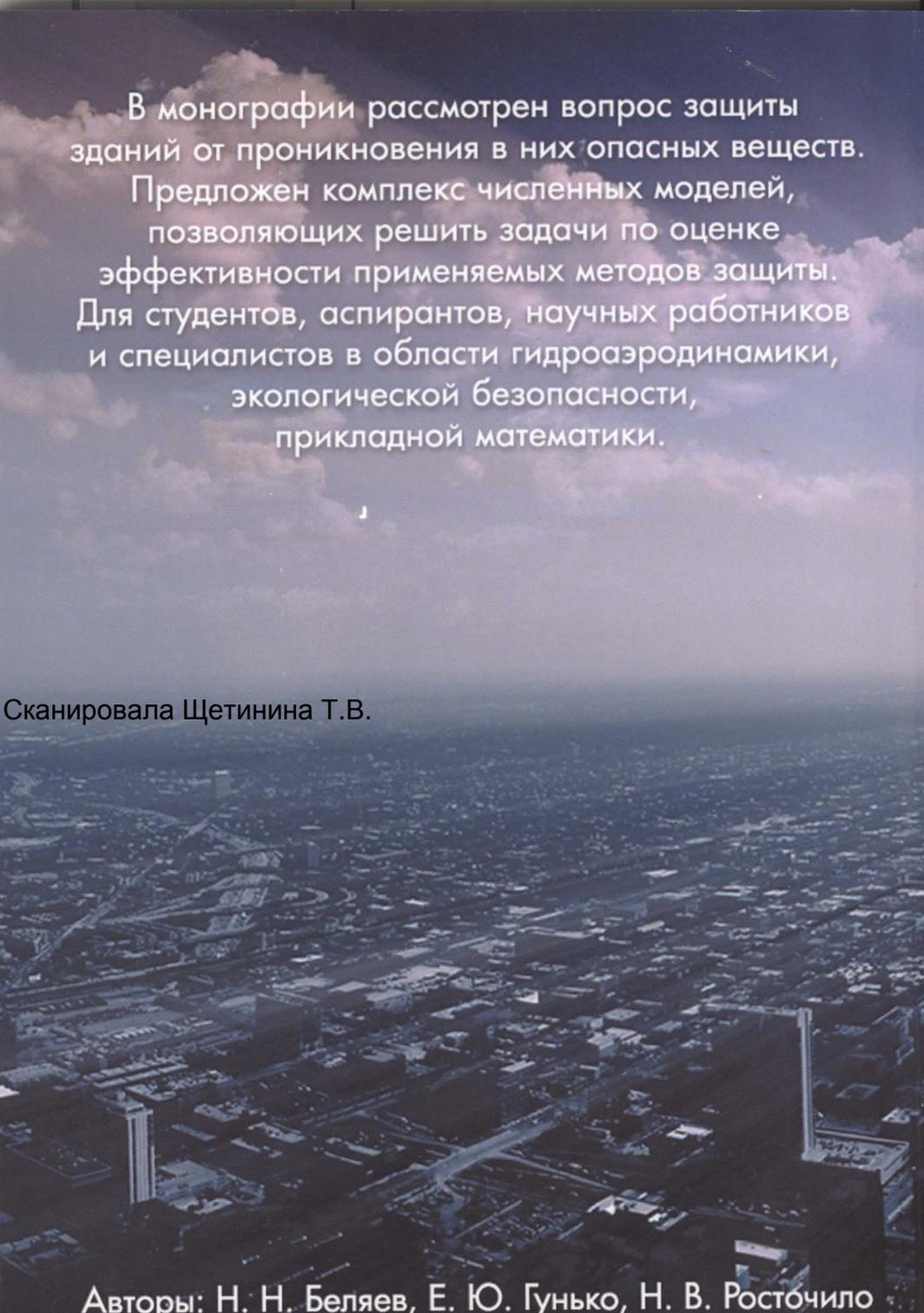
Підписано до друку 23.12.2014р.
Формат 60х84 ^{1/16}. Гарнітура FreeSetC. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 7.91. Тираж 300 прим.
Зам. № 6839.

Видавництво ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*

Віддруковано в ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*

An aerial photograph of a city, likely Moscow, showing a large stadium in the foreground and a dense urban area extending to the horizon. The sky is filled with soft, white clouds. The text is overlaid on the upper portion of the image.

В монографии рассмотрен вопрос защиты
зданий от проникновения в них опасных веществ.
Предложен комплекс численных моделей,
позволяющих решить задачи по оценке
эффективности применяемых методов защиты.
Для студентов, аспирантов, научных работников
и специалистов в области гидроаэродинамики,
экологической безопасности,
прикладной математики.

Сканировала Щетинина Т.В.

Авторы: Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило