

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**ОПАСНОСТЬ ВЗРЫВОВ И ПОЖАРОВ НА
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Методические указания к выполнению

практической работы для студентов направлений

010100.62, 011200.62, 020400.62, 020201.65, 021000.62, 022000.62, 040100.62,
040400.62, 050100.62, 080100.62, 080200.62, 081100.62, 140400.62, 150700.62,
151900.62, 190100.62, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62,
230700.62, 231000.62, 280700.62

Курган 2014

Кафедра: «Экология и безопасность жизнедеятельности»

Дисциплины: «Безопасность жизнедеятельности», «Охрана труда на производстве и в школе»

(направления: 010100.62, 011200.62, 020400.62, 020201.65, 021000.62, 022000.62, 040100.62, 040400.62, 050100.62, 080100.62, 080200.62, 081100.62, 140400.62, 150700.62, 151900.62, 190100.62, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62, 230700.62, 231000.62, 280700.62).

Составили: канд. с.-х. наук, доц. М.Н. Коновалов,
канд. пед. наук, доц. Е.А. Тебенькова.

Работа выполнена при равноценном участии авторов.

Утверждены на заседании кафедры «19» декабря 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «31» декабря 2013 г.

Введение

Цель занятия:

- 1 Ознакомиться с причинами аварий и катастроф.
- 2 Научиться ориентировочно оценивать последствия взрывов газо-, паро- и пылевоздушных смесей.

Время от времени средства массовой информации сообщают о различных авариях на промышленных предприятиях, об индустриальных и транспортных катастрофах. Высочайшие достижения человеческой цивилизации – освоение космоса, развитие атомной энергетики и химической промышленности – обрачивается гибелью «Челенджера» (США), бедой Чернобыля, трагедией Бхопала (Индия)¹. Возникает вопрос, насколько безопасна техносфера – среда обитания современного человека, создаваемая им самим [1].

Доля нефти и газа среди первичных энергоисточников возросла в последние годы существенно. Энергонасыщенность современных объектов стала колоссальной. Типовой нефтеперерабатывающий завод мощностью 10-15 млн т/год сосредоточивает на своей промышленной площадке от 300 до 500 тыс. т углеводородного топлива, энергосодержание которого эквивалентно 3-5 мегатоннам тротила. Постоянно интенсифицируются технологии – такие параметры, как температура, давление, содержание опасных веществ, растут и приближаются к критическим. Возрастают единичные мощности аппаратов, количество находящихся в них опасных веществ. Номенклатура выпуска нефтехимического завода с передовой технологией, обеспечивающей комплексную переработку сырья, стала состоять из сотен позиций, причем многие из изготавливаемых продуктов горючи или чрезвычайно токсичны [2-5].

По ряду причин² аварийность на отечественных предприятиях и смертность при авариях значительно (по оценкам специалистов на порядок) выше, чем на аналогичных предприятиях наиболее развитых стран. Неадекватность положения, сложившегося в обеспечении безопасности во взрыво- и пожароопасных производствах, уровню современных технологий требует кардинального пересмотра стереотипов в решении указанных задач.

Авария – это чрезвычайная ситуация, связанная с разрушительным высвобождением собственного энергозапаса промышленного предприятия, при котором сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия и отходы производства, а также установленное на промышленной площадке оборудование, вовлекаясь в аварийный процесс, создают поражающие факторы для персонала, населения, окружающей среды и самого промышленного предприятия.

¹ Точное число погибших и пострадавших в Бхопале не известно. Наиболее достоверными цифрами являются: число погибших – 2 тыс. чел., пострадавших – 200 тыс. чел. (население Бхопала в 1984 г. составляло 800 тыс. чел.).

² К ним, главным образом, относятся: отсутствие научного задела по прогнозированию аварийных ситуаций, некачественное проектирование, изготовление и эксплуатация оборудования, недостаточный надзор за опасными производствами, недостатки в подготовке специалистов по ликвидации последствий аварий и др.

Катастрофа – авария, сопровождающаяся гибелью людей.

Основными причинами аварий и катастроф на объектах являются:

- ошибки, допущенные при проектировании, строительстве и изготовлении оборудования;
- нарушение технологии производства, правил эксплуатации оборудования, требований безопасности;
- низкая трудовая дисциплина;
- стихийные бедствия, военные конфликты.

Наиболее характерными **последствиями** аварий являются взрывы, пожары, обрушения зданий, заражение атмосферы и местности сильнодействующими ядовитыми и радиоактивными веществами.

К объектам, на которых наиболее возможны взрывы и пожары, относятся:

- предприятия химической, нефтеперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности;
- предприятия, использующие газо- и нефтепродукты в качестве сырья или энергоносителей;
- газо- и продуктопроводы;
- все виды транспорта, перевозящие взрыво- и пожароопасные вещества;
- топливозаправочные станции;
- предприятия пищевой промышленности;
- предприятия, использующие лакокрасочные материалы и др.

Взрыво- и пожароопасными веществами и смесями являются [10]:

- взрывчатые вещества и порох, применяемые в военных и промышленных целях, изготавливаемые на промышленных предприятиях, хранящиеся на складах отдельно и в изделиях и транспортируемые различными видами транспорта;
- смеси газообразных и сжиженных углеводородных продуктов (метана, пропана, бутана, этилена, пропилена и др.), а также сахарной, древесной, мучной и прочей пыли с воздухом;
- бензин, керосин, природный газ, применяемый на различных транспортных средствах, топливозаправочных станциях и др.

Пожары на предприятиях могут возникать также вследствие повреждения электропроводки и машин, находящихся под напряжением, топок и отопительных систем, емкостей с легковоспламеняющимися жидкостями и т.д.

Известны также случаи взрывов и пожаров в жилых помещениях по причине неисправности и нарушения правил эксплуатации газовых плит.

1 Характеристика горючих веществ

Вещества, способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания, называются **горючими**. Вещества, которые на воздухе не горят, называются **негорючими**. Промежуточное положение занимают **трудногорючие** вещества, которые возгораются при действии источника зажигания, но прекращают гореть после удаления последнего.

Все горючие вещества делятся на следующие основные группы (рассмотрены лишь те вещества, которые имеют отношение к объектам, перечисленным выше) [10].

1 Горючие газы (ГГ) – вещества, способные образовывать с воздухом воспламеняемые и взрывоопасные смеси при температурах не выше 50°C. К горючим газам относятся индивидуальные вещества: аммиак, ацетилен, бутадиен, бутан, бутилацетат, водород, винилхлорид, изобутан, изобутилен, метан, окись углерода, пропан, пропилен, сероводород, формальдегид, а также пары легко воспламеняющихся и горючих жидкостей.

2 Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) – вещества, способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющие температуру вспышки не выше 61°C (в закрытом тигле) или 66°C (в открытом). К таким жидкостям относятся индивидуальные вещества: ацетон, бензол, гексан, гептан, диметилформамид, дифтордихлорметан, изопентан, изопропил, бензол, ксилол, метиловый спирт, сероуглерод, стирол, уксусная кислота, хлорбензол, циклогексан, этилацетат, этилбензол, этиловый спирт, а также смеси и технические продукты: бензин, дизельное топливо, керосин, уайт-спирит, растворители. Особо опасными называют легко воспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C.

3 Горючие жидкости (ГЖ) – вещества, способные самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющие температуру вспышки выше 61°C (в закрытом тигле) или 66°C (в открытом). К горючим жидкостям относятся следующие индивидуальные вещества: анилин, гексадекан, гексиловый спирт, глицерин, этиленгликоль, а также смеси и технические продукты, например, масла: трансформаторное, вазелиновое, касторовое.

4 Горючие пыли (ГП) твердые вещества, находящиеся в мелкодисперсном состоянии. Горючая пыль, находящаяся в воздухе (аэрозоль), способна образовывать с ним взрывчатые смеси. Осевшая на стенах, потолке, поверхностях оборудования пыль (аэрогель) – пожароопасна.

Горючие пыли по степени взрыво- и пожароопасности делятся на четыре класса.

1-й класс – наиболее взрывоопасные – аэрозоли, имеющие нижний концентрационный предел воспламенения (взрываемости) (НКПВ) до 15 г/м³ (сера, нафталин, канифоль, пыль мельничная, торфяная, эбонитовая);

2-й класс – взрывоопасные – аэрозоли, имеющие величину НКПВ от 15 до 65 г/м³ (алюминиевый порошок, лигнин, пыль мучная, сланцевая);

3-й класс – наиболее пожароопасные – аэрогели, имеющие величину НКПВ, большую 65 г/м³ и температуру самовоспламенения до 250 °С (табачная, элеваторная пыль);

4-й класс – пожароопасные – аэрогели, имеющие величину НКПВ большую 65 г/м³ и температуру самовоспламенения большую 250 °С (древесные опилки, цинковая пыль).

Ниже приводятся некоторые характеристики горючих веществ, необходимые для прогнозирования аварийных ситуаций (таблицы А1, А2, А3 приложения).

2 Категории помещений по взрыво- и пожароопасности

В соответствии с СП 12.13130.2009 здания и сооружения, в которых размещаются производства, подразделяются на пять категорий (таблица 1) [13].

Таблица 1 – Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категории помещений	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или один с другим в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пыле- и паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1-В4 пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Примеры производств, размещенных в помещениях категорий А, Б, В, Г, Д [6].

Категория А: цехи обработки и применения металлического натрия и калия, нефтеперерабатывающие и химические производства, склады бензина и баллонов для горючих газов, помещения стационарных кислотных и щелочных аккумуляторных установок, водородные станции и др.

Категория Б: цехи приготовления и транспортирования угольной пыли, древесной муки, сахарной пудры, обработки синтетического каучука, мазутное хозяйство электростанций и др.

Категория В: лесопильные и деревообрабатывающие цехи, цехи текстильной и бумажной промышленности, швейные и трикотажные фабрики, склады масла и масляное хозяйство электростанций, гаражи и др.

Категория Г: литейные, плавильные, кузнечные и сварочные цехи, цехи горячей прокатки металла, котельные, главные корпуса электростанций и др.

Категория Д: цехи холодной обработки металлов, пластмасс и т.д.

Характер развития пожара и последующего за ним взрыва в значительной мере зависит от огнестойкости конструкций – свойства конструкций сохранять несущую и ограждающую способность в условиях пожара. В соответствии со СНиП 21-01-97 (1999) различают восемь степеней огнестойкости зданий и сооружений: I, II, III, IIIа, IIIб, IV, IVа, V.

Огнестойкость строительных конструкций характеризуют следующие параметры:

1) минимальный предел огнестойкости строительной конструкции – время в часах от начала воздействия огня на конструкцию до образования в ней сквозных трещин или до достижения температуры 200°С на поверхности, противоположной воздействию огня;

2) максимальный предел распространения огня по строительным конструкциям – определяемый визуальный размер повреждения в сантиметрах, которым считается обугливание или выгорание материалов, а также оплавление термопластичных материалов за пределами зоны нагрева.

Все строительные материалы по возгораемости делятся на три группы: *несгораемые, трудносгораемые и сгораемые*.

К *несгораемым* материалам и конструкциям относятся применяемые в строительстве металлы, неорганические минеральные материалы и изделия из них: песок, глина, гравий, асбест, кирпич, бетон и др.

К *трудносгораемым* относятся материалы и изделия из них, состоящие из сгораемых и несгораемых компонентов: кирпич саманный, гипсовая сухая штукатурка, фибролит, линолеум, эбонит и др.

К *сгораемым* относятся все материалы органического происхождения: картон, войлок, асфальт, рубероид, толь кровельный и др.

3 Основные понятия горения и взрыва

Пожар – это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб.

Горение – химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и обычно свечением. Для возникновения горе-

ния необходимо наличие горючего вещества, окислителя (обычно кислород воздуха, а также хлор, фтор, йод, бром, оксиды азота) и источника зажигания. Кроме того, необходимо, чтобы горючее вещество было нагрето до определенной температуры и находилось в определенном количественном соотношении с окислителем, а источник зажигания имел бы достаточную энергию.

Взрыв¹ – чрезвычайно быстрое выделение энергии в ограниченном объеме, связанное с внезапным изменением состояния вещества и сопровождающееся образованием большого количества сжатых газов, способных производить механическую работу [8].

Взрыв является частным случаем горения. Но с горением в обычном понятии его роднит лишь то, что это окислительная реакция. Для взрыва характерны следующие особенности:

- большая скорость химического превращения;
- большое количество газообразных продуктов;
- мощное дробящее (бризантное) действие;
- сильный звуковой эффект.

Продолжительность взрыва составляет порядка $10^{-5} \dots 10^{-6}$ с. Поэтому его мощность весьма велика, хотя запасы внутренней энергии у взрывчатых веществ и смесей не выше, чем у горючих веществ, сгорающих в обычных для них условиях (таблица 2).

Таблица 2 – Запасы энергии некоторых горючих и взрывчатых веществ

Вещество или смесь	Способ разложения	Количество тепла, выделенное при разложении, кДж/кг
Керосин	Горение	50 300
Бензин	Горение	41 900
Древесина	Горение	12 800
Смесь бензола с кислородом	Взрывное горение	9 763
Нитроглицерин	Детонация	6 222
Тротил	Детонация	4 190

При анализе взрывных явлений рассматривают две разновидности взрыва: взрывное горение и детонация.

К **взрывному горению** относятся взрывы топливно-воздушных смесей (смеси углеводородов, паров нефтепродуктов, а также сахарной, древесной, мучной и прочей пыли с воздухом). Характерной особенностью такого взрыва является скорость горения порядка нескольких сотен м/с.

Детонация – весьма быстрое разложение взрывчатого вещества (газовоздушной смеси), распространяющееся по нему со скоростью в несколько км/с и характеризующееся особенностями, присущими любому взрыву и указанными выше. Детонация характерна для военных и промышленных взрывчатых

¹ М.В. Ломоносов в работе «О природе и рождении селитры» (1748 г.) дал определение взрыву, которое на современном языке звучит так: взрыв – это очень быстрое выделение большого количества энергии и большого объема газов.

веществ, а также для топливно-воздушных смесей, находящихся в замкнутом объеме.

Отличие взрывного горения от детонации состоит в скорости разложения, у последней она на порядок выше.

В заключение следует сравнить три вида разложения: обычное горение, взрывное и детонацию.

Процессы обычного горения протекают сравнительно медленно и с переменной скоростью – обычно от долей сантиметра до нескольких метров в секунду. Скорость горения существенно зависит от многих факторов, но, главным образом, от внешнего давления, заметно возрастающая с повышением последнего. На открытом воздухе этот процесс протекает значительно энергичнее, характеризуется более или менее быстрым нарастанием давления и способностью газообразных продуктов горения производить работу.

Взрывное горение по сравнению с обычным представляет собой качественно иную форму распространения процесса. Отличительными чертами взрывного горения являются резкий скачок давления в месте взрыва, переменная скорость распространения процесса, измеряемая сотнями метров в секунду и сравнительно мало зависящая от внешних условий. Характер действия взрыва – резкий удар газов по окружающей среде, вызывающей дробление и сильные деформации.

Детонация представляет собой взрыв, распространяющийся с максимально возможной для данного вещества (смеси) и данных условий (например, концентрацией смеси) скоростью, превышающей скорость звука в данном веществе и измеряемой тысячами метров в секунду. Детонация не отличается по характеру и сущности явления от взрывного горения, но представляет собой его стационарную форму. Скорость детонации является величиной, постоянной для данного вещества (смеси определенной концентрации). В условиях детонации достигается максимальное разрушительное действие взрыва.

4 Понятие о воздушной ударной волне

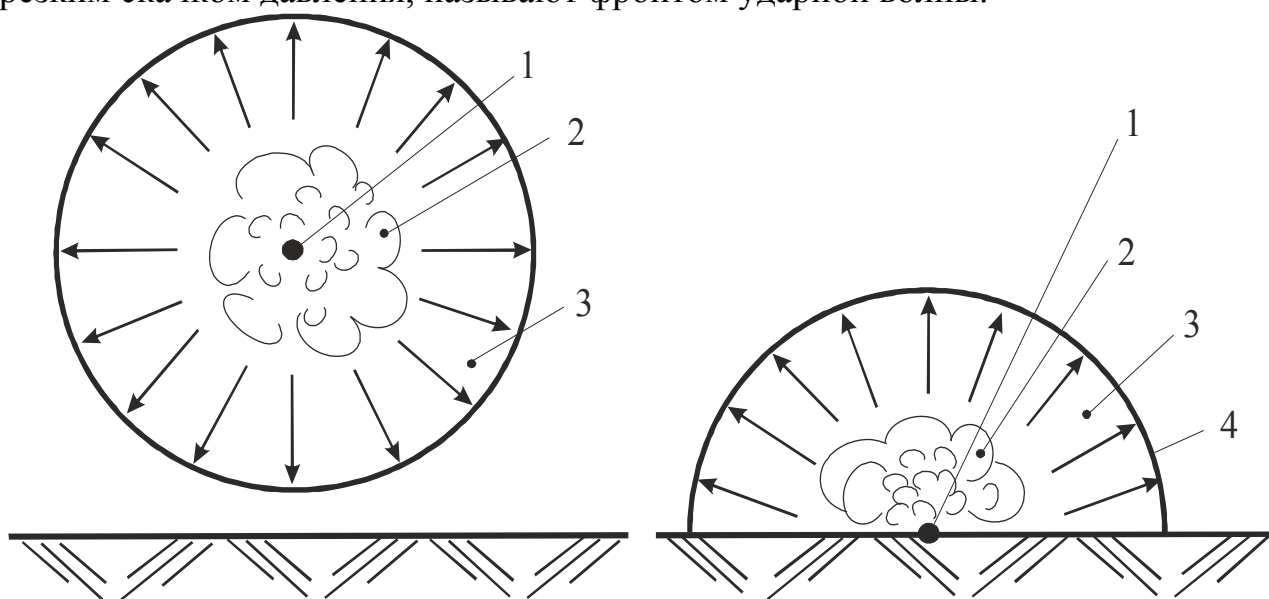
Аварии на взрыво- и пожароопасных производствах связаны, как правило, с внезапной утечкой газообразных или сжиженных углеводородных продуктов, при перемешивании которых с воздухом образуются взрыво- и пожароопасные смеси [8]. Наиболее опасными в этом отношении являются смеси с воздухом следующих углеводородных газов: метана, пропана, бутана, этилена, пропилена, бутилена и др. Взрыв или возгорание этих газов наступает при определенном содержании газа в воздухе. Например, взрыв пропана возможен при содержании в 1 м^3 воздуха от 36,6 г (НКПВ) до 173,8 г (ВКПВ) газа (таблица А1). Интенсивное перемешивание пропана с воздухом при аварийном выбросе объясняется отрицательной температурой его кипения (-42°C) при атмосферном давлении.

Взрывоопасными могут быть также смеси паров легковоспламеняющихся жидкостей, взвеси пыли или волокон в воздухе при определенных концентрациях.

Взрыв приводит к разрушению и повреждению зданий, сооружений, технологического оборудования, емкостей и трубопроводов. Эти явления связаны как с самим взрывом, так и с действием образующейся при взрыве ударной волны.

Ударной называется волна, характеризующаяся наличием поверхности разрыва основных физических параметров состояния среды (давления, плотности, температуры), в которой она распространяется со сверхзвуковой скоростью. В зависимости от того, в какой среде распространяется волна – в воздухе, воде или грунте, ее называют воздушной ударной волной, ударной волной в воде или сейсмозрывной волной в грунте.

Воздушная ударная волна представляет собой область сильно сжатого воздуха, распространяющегося во все стороны от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью. Переднюю границу волны (рисунок 1), характеризующуюся резким скачком давления, называют фронтом ударной волны.



а – при воздушном взрыве; б – при наземном взрыве: 1 – центр взрыва; 2 – газобразные продукты взрыва; 3 – зона сжатого воздуха; 4 – фронт ударной волны

Рисунок 1 – Схема образования воздушной ударной волны

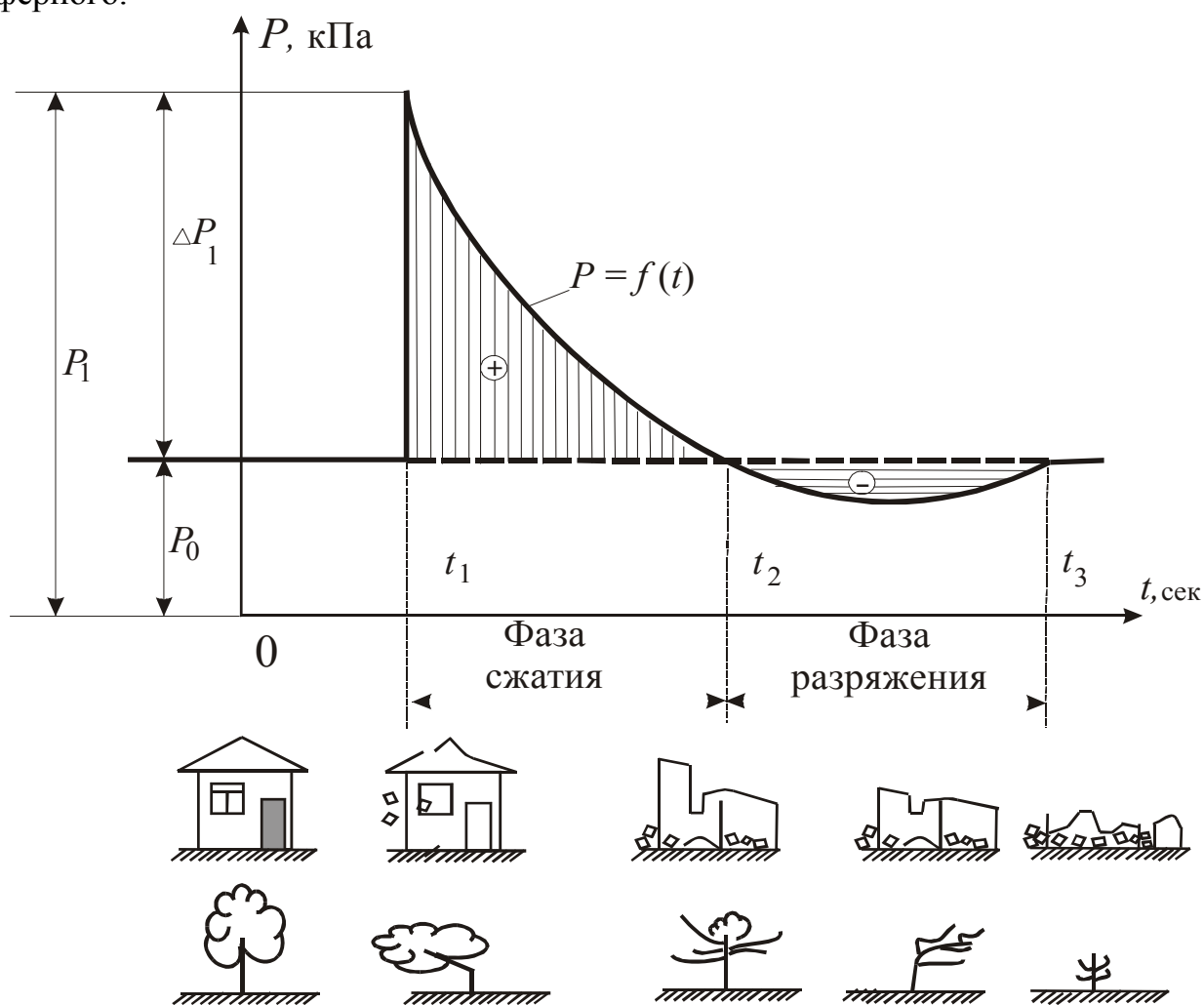
Во фронте ударной волны происходит скачкообразное изменение параметров состояния воздуха (давления, плотности, температуры, скорости движения). Характерной особенностью воздушной ударной волны является движущийся позади нее поток воздушной среды, направленный в ту же сторону.

Механизм образования воздушной ударной волны состоит в следующем. При взрыве образуется большое количество газобразных продуктов. Они, находясь под весьма высоким давлением (порядка нескольких МПа), подобно сильно сжатой и мгновенно отпущенной пружине, расширяются. Так как давление окружающего воздуха во много раз меньше давления продуктов взрыва, то последние, расширяясь, наносят резкий удар по прилегающим слоям. За счет этого воздух сжимается, повышается его давление, плотность, температура. Масса продуктов взрыва, расширяясь, вытесняет окружающий воздух и образу-

ет вокруг себя зону сжатого воздуха. Эта зона действует на окружающий, еще не возмущенный воздух и сжимает его. Таким способом сжатие быстро передается все дальше и дальше от места взрыва. Внешняя граница сжатого слоя воздуха и представляет собой фронт воздушной ударной волны, перемещающийся со сверхзвуковой скоростью.

Ударная волна имеет фазу сжатия и фазу разрежения. В фазе сжатия ударной волны давление выше атмосферного, а в фазе разрежения – ниже. Наибольшее давление воздуха наблюдается на внешней границе фазы сжатия – во фронте волны.

Как видно из рисунка 2, в момент прихода ударной волны давление повышается от нормального (атмосферного) P_0 до максимального во фронте P_1 . В дальнейшем по мере продвижения ударной волны давление падает ниже атмосферного.



t_1 – момент прихода фронта ударной волны в фиксированную точку на местности; t_2 – момент падения давления после прохождения ударной волны до нормального; t_3 – момент окончания действия ударной волны и слоев воздуха

Рисунок 2 – Характер изменения давления в фиксированной точке пространства в зависимости от времени и результат действия ударной волны на местные предметы

Основными **параметрами** ударной волны, определяющими ее разрушающее и поражающее действие, являются:

- избыточное давление ΔP_1 , Па (кгс/см²);
- скоростной напор $\Delta P_{СК}$, Па (кгс/см²);
- скорость движения волны $D_в$, м/с;
- скорость движения воздушного потока U_1 , м/с;
- время действия ударной волны $t_в$, с.

Избыточное давление во фронте ударной волны – это разница между максимальным P_1 и атмосферным давлением P_0 : $\Delta P_1 = P_1 - P_0$ (рисунок 2).

Избыточное давление в данной точке зависит от расстояния до центра взрыва и его мощности. Формулы для определения избыточного давления приведены в разделах 2.5 и 2.6.

Скоростной напор за фронтом ударной волны определяется по формуле

$$\Delta P_{СК} = \frac{2,5 \Delta P_1 P_1^2}{\Delta P_1 + 7 P_0}. \quad (1)$$

Скорость движения ударной волны зависит от ее интенсивности и может быть определена по упрощенной формуле:

$$D_в = 340 \sqrt{1 + 0,83 \Delta P_1}, \quad (2)$$

где ΔP_1 – избыточное давление, кгс/см².

Скорость движения воздушного потока за фронтом ударной волны определяется по упрощенной формуле

$$U_1 = \frac{8 \cdot 10^4 \Delta P_1}{D_в}. \quad (3)$$

U_1 выводится из уравнения $P_1 - P_0 = D_в \cdot \rho_0 \cdot U_1$, где ρ_0 – плотность невозмущенного воздуха, $\rho_0 = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$.

Время действия ударной волны $t_в$ – это время действия избыточного давления. Его величина может быть определена по формуле

$$t_в = 1,3 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{m} \sqrt{R}, \quad (4)$$

где m – масса взорвавшейся газовой среды, кг; R – расстояние от центра взрыва, м.

В таблице 3 приведены некоторые параметры ударных волн различной интенсивности.

Таблица 3 – Параметры воздушных ударных волн

Параметр	Величина				
	5000 (50)	1000 (10)	100 (1,0)	10 (0,1)	1 (0,01)
ΔP_1 , кПа (кгс/см ²)	5000 (50)	1000 (10)	100 (1,0)	10 (0,1)	1 (0,01)
$D_в$, м/с	2200	1040	460	354	340
U_1 , м/с	1800	772	174	22,8	2,3

5 Действие взрыва

5.1 Действие взрыва на здания, сооружения и оборудование

При взрыве действует весьма мощная, кратковременная и переменная по величине нагрузка (рисунок 2). Эта нагрузка возникает в результате действия газообразных продуктов взрыва и ударной волны [8].

Наибольшим разрушениям продуктами взрыва и ударной волной подвергаются здания и сооружения больших размеров с легкими несущими конструкциями, значительно возвышающимися над поверхностью земли, а также немассивные бескаркасные сооружения с несущими стенами из кирпича и бетона. Подземные же и заглубленные в грунт сооружения с жесткими несущими конструкциями обладают значительной сопротивляемостью разрушению. Из перечисленных выше параметров ударной волны решающим (характеризующим разрушение) является избыточное давление ΔP_1 . При разрушении высокого оборудования с малой площадью (мачты, трубы, шкафы с аппаратурой управления) определяющим является скоростной напор $\Delta P_{СК}$.

Разрушения подразделяются на полные, сильные, средние и слабые.

Полные разрушения. В зданиях и сооружениях обрушены перекрытия и разрушены все основные несущие конструкции. Восстановление невозможно. Оборудование, средства механизации и другая техника восстановлению не подлежат. В коммуникационно-энергетических сетях (КЭС) имеются разрывы кабелей, разрушения участков трубопроводов, опор воздушных линий электропередач и т.п.

Сильные разрушения. В зданиях и сооружениях значительные деформации несущих конструкций, разрушена большая часть перекрытий и стен. Восстановление возможно, но нецелесообразно, так как практически сводится к новому строительству с использованием некоторых сохранившихся конструкций. Оборудование и механизмы большей частью разрушены и значительно деформированы. Отдельные детали оборудования и узлы оборудования могут быть использованы как запасные части. В КЭС разрывы и деформации на отдельных участках подземных сетей, деформации воздушных линий электропередач и связи, разрывы технологических трубопроводов.

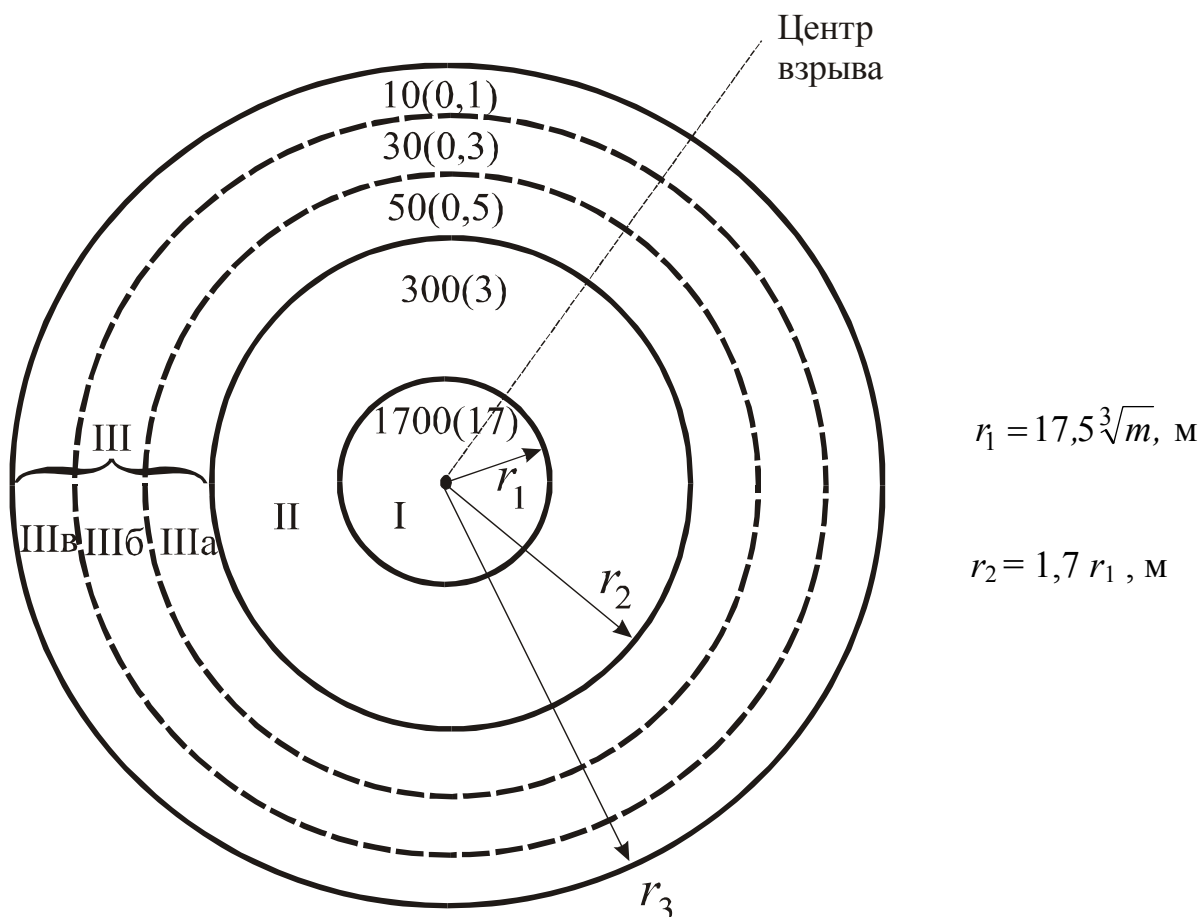
Средние разрушения. В зданиях и сооружениях разрушены, главным образом, не несущие, а второстепенные конструкции (легкие стены, перегородки, крыши, окна, двери). Возможны трещины в наружных стенах и вывалы в отдельных местах. Перекрытия и подвалы не разрушены, часть помещений пригодна к эксплуатации. Для восстановления требуется капитальный ремонт, выполнение которого возможно собственными силами. Оборудование требует капитального ремонта. В КЭС значительные разрушения и деформации элементов, которые можно устранить капитальным ремонтом.

Слабые разрушения. В зданиях и сооружениях разрушены часть внутренних перегородок. Оборудование имеет незначительные деформации. В КЭС имеются незначительные разрушения и поломки конструктивных элементов.

Для восстановления элементов зданий, сооружений, оборудования, получивших слабые разрушения, как правило, требуется текущий ремонт.

5.2 Зоны действия взрыва

Различают следующие зоны действия взрыва (рисунок 3).
Избыточное давление, кПа (кгс/см²):



I – детонационной волны; *II* – продуктов взрыва; *III* – воздушной волны;
IIIa, *IIIб*, *IIIв* – подзоны действия воздушной волны

Рисунок 3 – Зоны действия взрыва

Зона I с радиусом r_1 – зона действия детонационной волны в пределах облака газозвушной смеси. Характеризуется интенсивным дробящим действием, в результате которого конструкции разрушаются на отдельные фрагменты, разлетающиеся с большими скоростями от центра взрыва. Радиус этой зоны может быть приближенно определен по формуле:

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{m}, \quad (5)$$

где m – масса взрывоопасного вещества, образовавшего газозвушную смесь, т.

Избыточное давление, создаваемое продуктами взрыва на внешней границе зоны $\Delta P_1^X = 1500\text{--}1700$ кПа (15...17 кгс/см²).

Зона II ($r_2 - r_1$) – зона действия продуктов взрыва, охватывающая всю площадь разлета продуктов газозвуковой смеси в результате ее взрыва. Радиус этой зоны определяется по формуле:

$$r_2 = 1,7 r_1. \quad (6)$$

Внешняя граница рассматриваемой зоны характеризуется избыточным давлением $\Delta P_1^{\text{II}} = 300$ кПа (3 кгс/см²). В этой зоне происходит полное разрушение зданий и сооружений под действием расширяющихся продуктов взрыва. На внешней границе этой зоны образующаяся воздушная ударная волна отрывается от продуктов взрыва и движется самостоятельно от центра взрыва. Продукты взрыва, исчерпав всю свою энергию, расширившись до плотности, соответствующей атмосферному давлению, больше не производят разрушительного действия.

Избыточное давление в любой точке зоны II может быть определено по формуле

$$\Delta P_1^{\text{II}} = 1300 \left(\frac{r_1}{r} \right)^3 + 50, \quad (7)$$

где r – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м.

Зона III ($r_3 - r_2$) – зона действия воздушной ударной волны, включает три подзоны: IIIа – подзона сильных, IIIб – подзона средних и IIIв – подзона слабых разрушений, каждая из которых характеризуется избыточным давлением во фронте ударной волны на их внешних границах: $\Delta P_1^{\text{III}} = 50$ (0,5); 30 (0,3) и 10 (0,1) кПа (кгс/см²) соответственно. На внешней границе зоны III ударная волна вырождается в звуковую, слышимую еще на значительных расстояниях.

Избыточное давление в зоне III (в зависимости от расстояния до центра взрыва) может быть определено по графику (рисунок 4) или рассчитано по формулам.

Для этого предварительно определяется относительная величина

$$k = 0,24 \frac{r_3}{r_1}, \quad (8)$$

где r_1 – радиус зоны I;

r_3 – радиус зоны III или расстояние от центра взрыва до точки в этой зоне, в которой требуется определить избыточное давление воздушной ударной волны:

$$\text{при } k \leq 2 \quad \Delta P_1^{\text{III}} = \frac{700}{3 \left(\sqrt{1 + 29,8 k^2} - 1 \right)}, \quad (9)$$

$$\text{при } k > 2 \quad \Delta P_1^{\text{III}} = \frac{22}{k \sqrt{\lg k + 0,158}}. \quad (10)$$

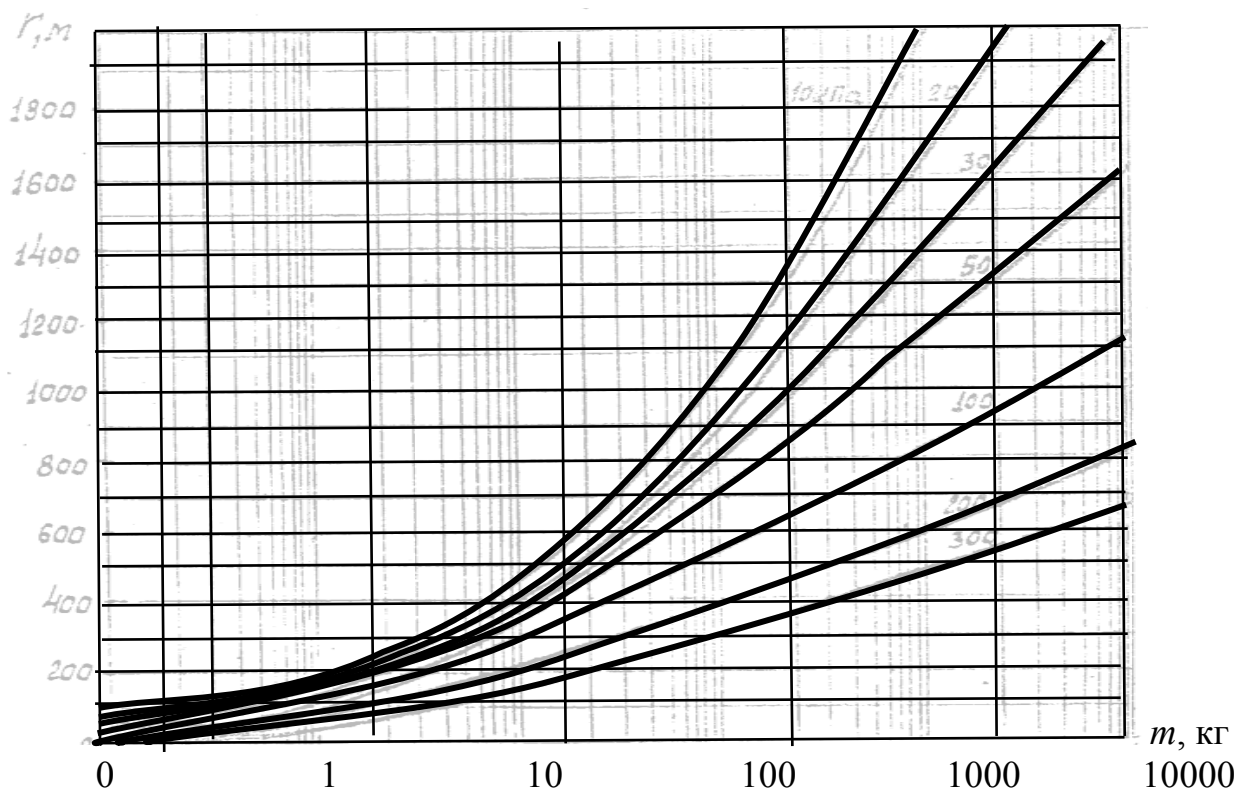


Рисунок 4 – Зависимость радиуса внешней границы зоны действия избыточного давления от массы взрывоопасной газовой смеси

ПРИМЕР 1

Требуется определить избыточное давление, ожидаемое в районе механического цеха при взрыве емкости, в которой находится 100 т сжиженного пропана.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расстояние от емкости до цеха 300 м.

РЕШЕНИЕ

1 Определяем радиус зоны детонационной волны (зона I)

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{m} = 17,5 \sqrt[3]{100} \approx 80 \text{ м.}$$

2 Вычисляем радиус зоны действия продуктов взрыва (зоны II)

$$r_2 = 1,7 r_1 = 1,7 \cdot 80 \approx 136 \text{ м.}$$

3 Сравнивая расстояние от центра взрыва до цеха (300 м) с найденными радиусами зон, делаем вывод, что цех находится за пределами этих зон, и, следовательно, может оказаться в зоне действия воздушной ударной волны (зона III). Далее находим избыточное давление на расстоянии 300 м, используя расчетные формулы для зоны III и принимая $r_3 = 300$ м.

Для этого определяем относительную величину k :

$$k = 0,24 \frac{r_3}{r_1} = 0,24 \frac{300}{80} = 0,9.$$

Так как $k < 2$, то используем формулу (9):

$$\Delta P_1^{\text{III}} = \frac{700}{3\left(\sqrt{1+29,8k^2} - 1\right)} = \frac{700}{3\left(\sqrt{1+29,8 \cdot 0,9^2} - 1\right)} \approx 60 \text{ кПа.}$$

ВЫВОД

При взрыве 100 т сжиженного пропана цех окажется под воздействием воздушной ударной волны с избыточным давлением около 60 кПа, что соответствует зоне сильных разрушений.

5.3 Действие взрыва на человека

Продукты взрыва и образовавшаяся в результате их действия воздушная ударная волна способны наносить человеку различные травмы, в том числе смертельные.

В указанных выше зонах I и II наблюдается полное поражение людей, связанное с разрывом тела на части, обугливанием под действием расширяющихся продуктов взрыва, имеющих весьма высокую температуру.

В зоне III поражение людей вызывается как непосредственным, так и косвенным воздействием ударной волны.

При непосредственном воздействии ударной волны основной причиной появления травм у людей является мгновенное повышение давления воздуха, что воспринимается человеком как резкий удар. При этом возможны повреждения внутренних органов, разрыв кровеносных сосудов, барабанных перепонок, сотрясение мозга, различные переломы и т.п. Кроме того скоростной напор воздуха, обуславливающий метательное действие ударной волны, может отбросить человека на значительное расстояние и причинить ему при ударе о землю (или препятствие) различные повреждения.

Метательное действие скоростного напора воздуха заметно сказывается в зоне с избыточным давлением более 50 кПа ($0,5 \text{ кгс/см}^2$), где скорость перемещения воздуха более 100 м/с, что значительно превышает скорость ураганного ветра¹.

Характер и тяжесть поражения людей зависят от величины параметров ударной волны, положения человека в момент взрыва и степени его защищенности. При прочих равных условиях наиболее тяжелые поражения получают люди, находящиеся в момент прихода ударной волны вне укрытий в положении стоя. В этом случае площадь воздействия скоростного напора воздуха будет примерно в 6 раз больше, чем в положении человека лежа.

Поражения, возникающие под действием ударной волны, подразделяются на легкие, средние, тяжелые и крайне тяжелые (смертельные). Характеристики поражений приведены в таблице 4.

¹ Например, по шкале Бофорта при шторме (9 баллов) скорость ветра составляет 18,3...21,5 м/с.

Таблица 4 – Характеристики поражений человека действием воздушной ударной волны

Вид поражений	Характеристики поражения	Величина избыточного давления ΔP_1 , кПа (кгс/см ²)
Легкие	Легкая контузия, временная потеря слуха, ушибы и вывихи конечностей	20...40 (0,2...0,4)
Средние	Травмы мозга с потерей сознания, повреждения органов слуха, кровотечение из носа и ушей, сильные переломы и вывихи конечностей	40...60 (0,4...0,6)
Тяжелые	Сильная контузия всего организма, повреждения внутренних органов и мозга, тяжелые переломы конечностей, возможны смертельные исходы	60...100 (0,6...1,0)
Крайне тяжелые	Получаемые травмы очень часто приводят к смертельному исходу	Больше 100 (1,0)

Поражение людей, находящихся в момент взрыва в зданиях и сооружениях, зависит от степени их разрушения. Так, например, при полных разрушениях зданий следует ожидать полной гибели находящихся в них людей. При сильных и средних разрушениях может выжить примерно половина людей, а остальные получают травмы различной тяжести. Многие могут оказаться под обломками конструкций, а также в помещениях с заваленными или разрушенными путями эвакуации.

Косвенное воздействие ударной волны заключается в поражении людей летящими обломками зданий и сооружений, камнями, битым стеклом и другими предметами, увлекаемыми ею.

При слабых разрушениях зданий гибель людей маловероятна. Однако часть из них может получить различные травмы.

6 Расчет избыточного давления для газозвушных смесей при взрыве в помещении

Из сказанного выше следует, что одним из главных параметров разрушительного действия взрыва является избыточное давление ΔP_1 .

Ниже приводится методика определения величины избыточного давления взрыва для конкретных аварийных ситуаций.

Избыточное давление взрыва в помещении, где произошел взрыв в результате аварии, определяется по формуле

$$\Delta P_1 = \frac{m Q_T P_0 z}{V_{св} \rho_v C_P T_0} \cdot \frac{1}{k_n}, \quad (11)$$

где m – масса взрывоопасного вещества образовавшего газо- паро- и пылевоздушную смесь, попавшего в результате аварии в помещение, кг;

Q_T – количество тепла, выделяющегося при разложении (теплота сгорания), Дж/кг; значения Q_T для некоторых веществ приведены в таблице 5;

P_0 – начальное давление в помещении, кПа; z – коэффициент участия горючего газа во взрыве;

$V_{св}$ – свободный объем помещения, м³ (разность между объемом помещения и объемом оборудования; допускается принимать условно равным 80% геометрического объема помещения);

ρ_v – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , кг/м³;

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

T_0 – начальная температура воздуха, К;

k_n – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатический процесс горения, допускается принимать $k_n = 3$.

Таблица 5 – Значения начальных условий воздуха в помещении и коэффициента z

Наименование, обозначение	Размерность	Величина
Начальное давление, P_0	кПа	101
Плотность воздуха до взрыва, ρ_v	кг/м ³	1,293
Теплоемкость воздуха, C_p	Дж/(кг·К);	$1,01 \cdot 10^3$
Начальная температура, T_0	К	
Коэффициент z :		
– для аэрозолей, нагретых до температуры вспышки и выше;		0,3
– для легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, нагретых ниже температуры вспышки		0,3
– для горючих газов		0,5

Перед определением величины следует убедиться, достаточна ли концентрация газовой смеси для взрыва? Взрыв может произойти лишь в том случае, если концентрация смеси лежит в пределах между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости.

Концентрация смеси K , г/м³ определяется по формуле

$$K = \frac{m}{V_{св}}, \quad (12)$$

где m – масса газовой смеси, г;

$V_{св}$ – свободный объем помещения, принимаемый с учетом объема оборудования условно равным 80% от геометрического объема помещения, м³.

Полученное значение концентрации сравнивается со значениями пределов взрываемости, приведенных в таблицах А1 и А2.

ПРИМЕР 2

Требуется определить избыточное давление и сделать вывод о характере разрушения для следующей аварийной ситуации.

В цехе химического комбината произошла утечка сжиженного пропана из емкости, в результате чего все содержимое емкости оказалось в помещении цеха. При соприкосновении с горячим источником произошел взрыв образовавшейся газовой смеси.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- 1) масса вытекшего из емкости пропана $m = 1000$ кг;
- 2) размеры цеха, м: высота 10, ширина 12, длина 100.

РЕШЕНИЕ

- 1 Определяем концентрацию газовой смеси

$$K = \frac{m}{V_{св}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 100} \approx 100 \text{ г/м}^3.$$

- 2 Полученное значение сравниваем со значениями предельных концентраций. Из таблицы А1 для пропана НКПВ = 36,6 г/м³, а ВКПВ = 173,8 г/м³. Следовательно, взрыв возможен при наличии источника инициирования.

- 3 Пользуясь данными таблиц А3 и 5, определяем величину избыточного давления

$$\Delta P_1 = \frac{m Q_T P_0 z}{V_{св} \rho_v C_P T_0} \cdot \frac{1}{k_n} = \frac{1000 \cdot 47 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,5}{0,8 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 1,293 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 290} \cdot \frac{1}{3} = 220 \text{ кПа.}$$

ВЫВОД

Полученное значение величины ΔP_1 дает основание предположить, что помещение цеха находится в зоне полных и сильных разрушений взрыва.

Анализ рассмотренной аварийной ситуации указывает на необходимость разработки мероприятий по предупреждению взрывов или уменьшению их последствий.

7 Основные мероприятия по повышению надежности взрыво- и пожароопасных производств и снижению материальных и человеческих потерь от воздействия аварий

7.1 Технические мероприятия, снижающие взрыво- и пожароопасность

- 1 Применение *легкосбрасываемых* конструкций в наружных ограждениях зданий в соответствии с СНиП 21-01-97 (с изм. 1999).

В качестве легкосбрасываемых конструкций используется одинарное остекление окон и фонарей. При недостаточной площади остекления могут быть использованы открывающиеся наружу распашные ворота и двери, а также па-

нели стен и плиты перекрытий. Сбрасывание (открывание) указанных конструкций должно происходить при давлении, не превышающем 2 кПа в момент взрыва, что снижает его действие [11, 13, 14].

2 Применение **аварийной вентиляции** (в дополнении к основной).

Цель основной вентиляции – обеспечение пожаро- и взрывобезопасности производственного помещения при нормальном протекании технологического процесса. Она должна обеспечивать концентрации поступающих в помещение горючих газов и паров в пределах 5%.

Включающаяся автоматически аварийная вентиляция выполняет ту же задачу в случае отказа основной вентиляции, а при нарушениях технологического процесса помогает основной. Аварийная вентиляция совместно с основной должна обеспечить не менее 8 воздухообменов в час по полному внутреннему объему помещений. Основные требования к аварийной вентиляции изложены в СНиП 2.04.05-91.

3 **Флегматизация** атмосферы производственных помещений.

Цель флегматизации – предупреждение образования взрывоопасной среды. Возможны два метода флегматизации, основанные на разбавлении воздуха помещений взрывоопасных производств:

- инертными разбавителями (азот, диоксид углерода, водяной пар);
- ингибиторами горения (хладоны и комбинированные газовые составы на их основе).

Установка флегматизации состоит из системы баллонов, содержащих флегматизирующие вещества, запорной арматуры и трубопроводной разводки по помещению. Запорная арматура срабатывает по сигналу газоанализаторов или системы контроля загазованности помещения.

4 Контроль за накоплением в воздухе производственных помещений взрывоопасных и горючих газов и паров.

С этой целью применяются газоанализаторы, газосигнализаторы и индикаторы.

5 Исключение источников воспламенения взрыво- или пожароопасной среды.

С этой целью наиболее приемлемыми являются следующие пути:

- исключение возможного контакта с источниками воспламенения (открытый огонь, раскаленные продукты горения, нагретые до высокой температуры поверхности оборудования и т.д.) горючих паров и газов, образующихся при авариях;
- применение электрооборудования во взрывозащищенном исполнении согласно «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) [12];
- ограничение нагрева оборудования до температуры самовоспламенения образующихся веществ;
- применение материалов, не образующих при соударении искр;
- применение средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания и т.д. (заземление, увлажнение, использование нейтрализаторов статического электричества) и др.

7.2 Мероприятия, направленные на снижение материальных и человеческих потерь

1 Обучение рабочих и служащих умелому применению средств и способов защиты, действиям в чрезвычайных ситуациях, а также в составе формирований при проведении спасательных и восстановительных работ.

2 Разделение больших зданий на секции несгораемыми стенами (брандмауэрами).

3 Рассредоточенное размещение зданий и сооружений, предусматривающее разрывы между зданиями шириной не менее суммарной высоты двух соседних зданий.

4 Размещение складских помещений для хранения легковоспламеняющихся и горючих веществ (бензин, керосин, нефть, мазут) в отдельных блоках заглубленного и полузаглубленного типа у границ территорий предприятия или за ее пределами.

5 Повышение устойчивости зданий и сооружений за счет устройства каркасов, рам, подкосов, контрфорсов, промежуточных опор для уменьшения пролета несущих конструкций.

6 Повышение прочности невысоких сооружений путем обсыпки грунтом.

7 Закрепление оттяжками высоких сооружений (труб, вышек, башен, мачт).

8 Защита емкостей с сильнодействующими ядовитыми веществами, легковоспламеняющимися и горючими жидкостями путем их обвалования – устройства земляного вала вокруг емкости, рассчитанного на удержание полного объема жидкости.

9 Максимальное сокращение запасов взрывоопасных, горючих и сильнодействующих ядовитых веществ непосредственно на территории предприятия. Размещение сверхнормативных запасов этих веществ на безопасном для предприятия расстоянии.

7.3 Мероприятия, направленные на повышение надежности работы предприятия

1 Обеспечение надежности систем электроснабжения. Применение двух источников питания электроэнергией – от подстанций и от автономного (аварийного) источника (передвижной электростанции). Надежная защита трансформаторных помещений, распределительной аппаратуры и приборов системы электроснабжения.

2 Обеспечение надежности газоснабжения. Закольцовывание газоснабжения с целью отключения поврежденных участков и использование сохранившихся линий. Установка запорной арматуры с дистанционным управлением и кранов, автоматически перекрывающих газ при разрушении труб газопроводов.

3 Обеспечение надежности водоснабжения. Применение двух источни-

ков – основного и резервного, один из которых может быть подземным, например, артезианская скважина.

4 Обеспечение надежности систем паро- и теплоснабжения. Применение двух источников пара и тепла – внешней (ТЭЦ) и внутренней (местная котельная). Размещение собственных котельных в подвальных помещениях или в специально оборудованных отдельно стоящих защитных сооружениях, закольцовывание теплосети, прокладка паропроводов под землей в специальных траншеях.

5 Повышение надежности промышленной и хозяйственной канализации. Оборудование не менее двух выпусков канализации в городские коллекторы.

6 Надежная защита пунктов управления, диспетчерских пунктов, АТС, радиоузла, резервной электростанции для зарядки аккумуляторов АТС и питания радиоузла.

7 Надежная связь с местными органами власти, вышестоящими начальниками гражданской обороны и их штабами.

ЗАДАЧА ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

В шахте при добыче каменного угля произошел взрыв. Механизм взрыва заключался в следующем. Сначала произошел относительно слабый взрыв газа в ограниченном объеме, который вызвал турбулентность воздушного потока, достаточную для образования облака угольной пыли и привел к разрушительному взрыву.

Необходимо по описанной ситуации определить параметры первичного взрыва, в том числе скорость потока воздуха, образовавшего взрывоопасную аэрозоль, а также параметры основного взрыва. С помощью рисунка 3 оценить, какой зоне соответствуют полученные значения избыточного давления для первичного и разрушительного взрывов. По возможности предложить мероприятия, направленные на предотвращение или уменьшение последствий подобных аварий.

Исходные данные представлены в таблице 6.

НКПВ для пыли каменного угля – $100...250 \text{ г/м}^3$, теплота сгорания для каменного угля $Q_{\text{ту}} - 30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Таблица 6 – Исходные данные

Вариант	Масса горючего газа m , кг (горючий газ)	Объем, в котором находился взрывоопасный газ V_1 , м^3	Масса взрывоопасной угольной пыли с размером частиц меньше 76 мкм m_2 , кг	Объем, в котором произошел основной взрыв, V_2 , м^3
1	7 (метан)	120	300	1500
2	8 (метан)	120	300	1500
3	9 (метан)	120	300	1500
4	10 (метан)	120	300	1500
5	11 (метан)	120	300	1500
6	12 (метан)	120	300	1500

Продолжение таблицы 6

7	10 (метан)	100	300	1500
8	10 (этан)	110	300	1500
9	10 (этан)	120	310	1600
10	10 (этан)	130	300	1500
11	10 (пропан)	140	300	1500
12	10 (пропан)	150	300	1500
13	10 (пропан)	120	280	1500
14	10 (метан)	120	290	1500
15	10 (метан)	130	300	1500
16	10 (метан)	120	310	1500
17	10 (этан)	120	320	1500
18	10 (этан)	120	330	1500
19	10 (этан)	120	300	1200
20	10 (пропан)	120	300	1300
21	10 (пропан)	120	300	1400
22	12 (пропан)	120	300	1600
23	10 (метан)	120	300	1600
24	10 (метан)	120	300	1700
25	10 (метан)	120	300	1800

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение терминам авария, катастрофа, пожар, горение, взрыв.
- 2 Приведите примеры взрыво- и пожароопасных веществ.
- 3 Назовите группы горючих веществ.
- 4 Какие существуют категории помещений по взрыво- и пожароопасности?
- 5 Назовите две разновидности взрыва. Чем они характеризуются?
- 6 Назовите действие взрыва на здания, сооружения и оборудование.

Список литературы

- 1 Гражданская оборона / Ю. В. Боровской [и др.]; под ред. Е. П. Шубина. – М. : Просвещение, 1991. – 223 с.
- 2 Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: справочник / Г. П. Демиденко [и др.]; под ред. Г. П. Демиденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща школа. Головное изд-во, 1989. – 287 с.
- 3 Долин, П. А. Справочник по технике безопасности [Текст] / П. А. Долин. – 6-е изд, перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – С. 704-706.
- 4 Маршалл, В. Основные опасности химических производств [Текст] / В. Маршалл; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – С. 179.
- 5 Охрана труда в химической промышленности / Г. В. Макаров [и др.]. – М. : Химия, 1977. – 568 с.
- 6 Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справ. изд. / А. Н. Баратов [и др.]. – М. : Химия, 1987. – 272 с.
- 7 Справочная книга по охране труда в машиностроении / Г. П. Бектобеков [и др.]; под общ. ред. О. Н. Русака. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 541 с.
- 8 Физика взрыва / Ф. А. Баум [и др.]; под ред. К. П. Станюковича. – М. : Наука, 1975. – 740 с.
- 9 Хашковский А. В. Охрана труда [Текст] : текст лекций : в 2 ч. Ч. II. / А. В. Хашковский, А. И. Сидоров. – Челябинск : ЧПИ, 1989. – 173 с.
- 10 ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 141 с.
- 11 Обеспечение пожарной безопасности предприятия / под общ. ред. А. Н. Проценко. – М. : Институт риска и безопасности, 2003. – 376 с.
- 12 Правила устройства электроустановок. – М. : Главгосэнергонадзор России, 1998. – 608 с.
- 13 Об утверждении свода правил «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (вместе с «СП 12.13130.2009...») : Приказ МЧС РФ от 25.03.2009 №182. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_109932/
- 14 СНИП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- 15 Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: [федеральный закон: принят Гос. Думой 22 июля 2008 г.: по состоянию на 2 июля 2013 г.] // «Российская газета», № 163, 01.08.2008.

Приложение А

Таблица А1 – Показатели взрыво-пожароопасности горючих газов и паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Вещество	Условные обозначения	Температура вспышки ¹ $t_{всп.}, ^\circ\text{C}$	Концентрационные пределы взрываемости (воспламенения) ²			
			Нижний (НКПВ)		Верхний (ВКПВ)	
			% по объему	г/м ³ при 20 ^o С	% по объему	г/м ³ при 20 ^o С
Эфиры сложные и простые						
Амилацетат	ЛВЖ	25	1,08	90,0	10,0	540
Бутилацетат	ЛВЖ	29	1,43	83,0	15,0	721,0
Диэтиловый спирт	ЛВЖ	43	1,9	38,6	51,0	1578,0
Окись этилена	ВВ ³	–	3,66	54,8	80,0	1462,0
Этилацетат	ЛВЖ	3	2,98	80,4	11,4	407,0
Спирты						
Амиловый	ЛВЖ	49	1,48	43,5	–	–
Метиловый	ЛВЖ	8	6,7	46,5	38,5	512,0
Этиловый	ЛВЖ	13	3,61	50,0	19,0	363
Углеводороды предельные						
Бутан	ГГ	–	1,8	37,4	8,5	204,8
Гексан	ЛВЖ	23	0,24	39,1	6,0	250,0
Метан	ГГ	–	5,28	16,66	15,4	102,6
Пентан	ЛВЖ	44	1,47	32,8	8,0	238,5
Пропан	ГГ	–	2,31	36,6	9,5	173,8
Этан	ГГ	–	3,07	31,2	14,95	186,8
Углеводороды непредельные						
Ацетилен	ВВ	–	2,5	16,5	82,0	885,6
Бутилен	ГГ	–	1,7	39,5	9,0	209,0
Пропилен	ГГ	–	2,3	34,8	11,1	169,0
Этилен	ВВ	–	3,11	35,0	35,0	406,0
Углеводороды ароматические						
Бензол	ЛВЖ	12	1,43	42,0	9,5	308,0
Ксилол	ЛВЖ	25	1,0	44,0	7,6	334,0
Нафталин	ГП ⁴	–	0,44	23,5	–	–
Толуол	ЛВЖ	4	1,25	38,2	7,0	268,0
Аммиак	ГГ	–	17,0	112,0	27,0	189,00
Анилин	ГЖ	73	1,32	61,0	–	–
Сероводород	ГГ	–	4,0	61,0	44,5	628,0
Сероуглерод	ЛВЖ	43	1,33	31,5	50,0	157,0

Продолжение таблицы А1

Вещество	Условные обозначения	Температура вспышки ¹ $t_{всп.}, ^\circ\text{C}$	Концентрационные пределы взрываемости (воспламенения) ²			
			Нижний (НКПВ)		Верхний (ВКПВ)	
			% по объему	г/м ³ при 20 ^o С	% по объему	г/м ³ при 20 ^o С
Нефтепродукты и другие вещества						
Бензин (температура кипения 105 ^o С)	ЛВЖ	36	2,4	137,0	4,9	281,0
Бензин (температура кипения 64...94 ^o С)	ЛВЖ	36	1,9	–	5,1	–
Водород	ГГ	–	4,09	3,4	80,0	66,4
Керосин	ГГ	> 40	0,64	–	7,0	–
Нефтяной газ	ГГ	–	3,2	–	13,6	–
Окись углерода	ГГ	–	12,5	145,0	80,0	928,0
Скипидар	ЛВЖ	34	0,73	41,3	–	–
Коксовый газ	ГГ	–	5,6	–	30,4	–
Доменный газ	ГГ	–	46,0	–	68,0	–

¹Температура вспышки – наименьшая температура жидкости, при которой около ее поверхности образуется паровоздушная смесь, способная вспыхивать от источника и сгорать, не вызывая при этом устойчивого горения жидкости.

²Верхний и нижний концентрационные пределы взрываемости (воспламенения) – соответственно максимальная и минимальная концентрации горючих газов, паров легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, пыли или волокон в воздухе, выше и ниже которых взрыва не произойдет даже при наличии источника инициирования взрыва.

³ВВ – взрывоопасное вещество – вещество, способное к взрыву или детонации без участия кислорода в воздухе.

⁴ГП – горючая пыль (определение см. выше).

Таблица А2 – Показатели взрывной опасности некоторых взрывоопасных пылей и волокон [3]

Взрывоопасная пыль (волокно)	Температура самовоспламенения ¹ аэрозоля ² , t_c , °С	Нижний концентрационный предел взрываемости (НКПВ) ³ г/м ³
Алюминий	550	40
Ацетат целлюлозы	410	35
Древесная мука	430	11,2
Какао	420	45,0
Каучук синтетический	320	30,0
Магний	480	20...30
Мельничная пыль	800	17,6
Нафталин	575	2,5
Сахар свекловичный	360	8,9
Смола эпоксидная	477	17,2
Титан	330	45,0
Фенопласт	491	36,8
Чай	925	32,8
Этилцеллюлоза	657	37,8

¹Температура воспламенения – самая низкая температура горючего вещества, при которой резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

²Аэрозоль способна взрываться при размерах твердых частиц менее 76 мкм.

³Верхние пределы взрываемости пыли весьма велики и внутри помещений практически трудно достижимы, поэтому они не представляют интереса. Например, НКПВ пыли сахара составляет 13,5 кг/м³.

Таблица А3 – Теплота сгорания некоторых углеводородов [4]

Углеводороды	Теплота сгорания, Дж/кг
Предельные	
Бутан	$46,40 \cdot 10^6$
Метан	$50,70 \cdot 10^6$
Пентан	$46,01 \cdot 10^6$
Пропан	$47,00 \cdot 10^6$
Этан	$48,20 \cdot 10^6$
Углеводороды	Теплота сгорания, Дж/кг
Непредельные	
Ацетилен	$49,00 \cdot 10^6$
Бутадиен	$45,20 \cdot 10^6$
Бутилен	$45,90 \cdot 10^6$
Пропилен	$46,45 \cdot 10^6$

Этилен	$47,80 \cdot 10^6$
Ароматические	
Бензол	$41,17 \cdot 10^6$
Толуол	$41,53 \cdot 10^6$
Циклогексан	$44,50 \cdot 10^6$

Содержание

Введение	3
1 Характеристика горючих веществ	4
2 Категории помещений по взрыво- и пожароопасности.....	6
3 Основные понятия горения и взрыва.....	7
4 Понятие о воздушной ударной волне	9
5 Действие взрыва.....	13
5.1 Действие взрыва на здания, сооружения и оборудование.....	13
5.2 Зоны действия взрыва.....	14
5.3 Действие взрыва на человека.....	17
6 Расчет избыточного давления для газозвудушных смесей при взрыве в помещении	18
7 Основные мероприятия по повышению надежности взрыво- и пожароопасных производств и снижению материальных и человеческих потерь от воздействия аварий.....	20
7.1 Технические мероприятия, снижающие взрыво- и пожароопасность	20
7.2 Мероприятия, направленные на снижение материальных и человеческих потерь	22
7.3 Мероприятия, направленные на повышение надежности работы предприятия	22
Контрольные вопросы	24
Список литературы	25
Приложение А	26

Коновалов Максим Николаевич
Тебенькова Елена Александровна

ОПАСНОСТЬ ВЗРЫВОВ И ПОЖАРОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Методические указания к выполнению
практической работы для студентов направлений
010100.62, 011200.62, 020400.62, 020201.65, 021000.62, 022000.62, 040100.62,
040400.62, 050100.62, 080100.62, 080200.62, 081100.62, 140400.62, 150700.62,
151900.62, 190100.62, 190600.62, 190700.62, 220400.62, 220700.62, 221700.62,
230700.62, 231000.62, 280700.62

Редактор Е.А. Могутова

Подписано к печати 11.02.14	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 2,0	Уч.-изд. л. 2,0
Заказ 55	Тираж 25	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет.