1. **РАСЧЕТ НАГРУЗОК, СОЗДАВАЕМЫХ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ**

1. Общие сведения.

Нагрузки, создаваемые ударной волной в результате взрыва емкостей со сжатым газом, взрыва газовоздушной смеси, воздушного и наземного ядерных взрывов, приводят к разрушениям зданий, сооружений, оборудования, установок и т.д.

В результате разрушения объектов возникают чрезвычайные ситуации с соответствующими степенями разрушения, опрокидывания и смещения оборудования и установок.

Для принятия решений по проведению восстановительных работ на объектах, подвергшихся разрушению, необходимо провести оценку степени разрушения.

2. Методика расчета.

2.1. Взрыв емкости со сжатым газом:

Тротиловый эквивалент, *кг,*

|  |  |
| --- | --- |
| Q = A /3,8, | (5.1.) |

где *А* – работа взрыва (работа газа при адиабатическом расширении), *МДж*.

|  |  |
| --- | --- |
| A = [(p1· V)[1 – (p2 / p1)(m – 1)/m]] / (m – 1), | (5.2.) |

где *p1* – начальное давление в сосуде, *МПа*; *V* – начальный объем газа, *м3;*

*p2* - конечное давление, *МПа, p2* = 0,1·*p1* ; *m* – показатель адиабаты, *m = 1,4.*

Безопасное расстояние, *м*, от места взрыва для человека

|  |  |
| --- | --- |
| R min = 16 · q1/3 | (5.3.) |

Безопасное расстояние, *м*, места взрыва для жилой застройки

|  |  |
| --- | --- |
| R min = 5 · q1/2 | (5.4.) |

2.2. Взрыв газовоздушной смеси.

Избыточное давление при взрыве газовоздушной смеси *, кПа*,

|  |  |
| --- | --- |
| = (m · HT·p0· z) / (Vn ·с· ρ ·T0·RН), | (5.5.) |

где *m* – масса горючего газа, *кг*; *HT* – теплота сгорания, *кДж/кг, HT**=40·103* *кДж/кг*; *p0* *= 101* *кПА* – начальное давление; *z* - доля участия взвешенного дисперсного продукта при взрыве, *z=0,5;*

*Vn* - объем помещения, *м3*; *с = 1,01* *кДж* – теплоемкость воздуха; *ρ* *= 1,29* *кг/м3*- плотность воздуха;

*T0* *= 300* *К* – температура в помещении; *RН* *= 3*, коэффициент негерметичности помещения;

2.3. Ядерный взрыв и взрыв емкости

Избыточное давление, *кПа*, во фронте ударной волны наземного и воздушного ядерного взрыва, а также при взрыве емкости со сжатым газом

|  |  |
| --- | --- |
| 105 · (3√0,5 · q) + 410 · (3√(0,5 ·q)2) +  1370 · (0,5 · q) ,  = R R2 R3 | (5.6.) |

где *R* – расстояние от центра взрыва, *м*.

2.4. Степень разрушения объекта воздействия (здания, сооружения и т.д.

Степень разрушения объекта воздействия оценивают по критерию физической устойчивости (сильное, среднее, слабое), а объекты воздействия (оборудование, установки и т.д.) – по критерию опрокидывания и смещения.

2.4.1. Если под воздействием ударной волны с избыточным давлением элементы производственного комплекса разрушаются полностью, разрушение оценивается как сильное; если элементы производственного комплекса в этих условиях могут быть восстановлены в короткие сроки, разрушение оценивается как среднее или слабое.

Степень разрушения производственных комплексов в зависимости от избыточного давления может быть оценена следующим образом:

1. для промышленного здания с металлическим или железобетонным каркасом: при избыточном давлении 50…60 кПа – сильное, 40…50 – среднее, 20…40 кПа – слабое;
2. для кирпичного многоэтажного здания с остеклением: при избыточном давлении 20…30 кПа – сильное, 10…20 кПа – среднее, 8…10 кПа – слабое;
3. для кирпичного одно- и двухэтажного здания с остеклением: при избыточном давлении 25…35 кПа – сильное, 15…25 кПа – среднее, 8…15 кПа – слабое;
4. для приборных стоек: при избыточном давлении 50…70 кПа – сильное, 30…50 кПа – среднее, 10…30 кПа – слабое;
5. для антенных устройств: при избыточном давлении 40 кПа – сильное, 20…40 кПа – среднее, 10…20 кПа – слабое;
6. для открытых складов с железобетонным перекрытием: при избыточном давлении 200 кПа – сильное.

2.4.2. Степень опрокидывания и смещения антенного устройства или приборной стойки.

Скоростной напор взрыва, *кПа*,

|  |  |
| --- | --- |
| Pск. = 2,5 · *2*. / ( + 7p0), | (5.7.) |

где *p0*– начальное скоростное давление, *кПа,* *p0**= 101 кПа.*

Допустимый скоростной напор взрыва, *кПа*, при опрокидывании антенного устройства или приборной стойки

|  |  |
| --- | --- |
| Pопр.ск  ≥ (a / b) · [G / (Cx · S)], | (5.8.) |

где *a*  и *b* – высота и ширина объекта, *м*; *G* - масса объекта, *Н*; *Cx* - коэффициент аэродинамического сопротивления; *S* – площадь поперечного сечения приборной стойки, *м2*.

Если скоростной напор взрыва больше допустимого при опрокидывании, то антенное устройство или приборная стойка опрокинется.

Допустимый скоростной напор взрыва при смещении антенного устройства или приборной стойки

|  |  |
| --- | --- |
| P смск ≥ (ƒ⋅G) / (Cx · S), | (5.9.) |

где *ƒ* - коэффициент трения.

Если скоростной напор взрыва больше допустимого при смещении, то антенное устройство сместится.

* Порядок выполнения работы.
  1. Выбрать вариант (см. таблицу 5.1.)
  2. Ознакомиться с методикой расчета.
  3. Выполнить расчет в соответствии с выбранным вариантом.
  4. Подписать отчет и сдать преподавателю.

1. *Таблица* 5.1. Варианты заданий к лабораторной работе по теме «Расчет нагрузок, создаваемых ударной волной».

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Источник разрушения | Начальное давление, МПа, или тротиловый  эквивалент, Мт | Объем емкости, м3 | Объект воздействия | Расстояние от центра взрыва, м | Высота и ширина объекта, м | Площадь поперечного сечения объекта, м2 | Масса объекта, кг | Коэффициент трения | Коэффициент аэродинамического сопротивления |
|  | Воздушный ядерный взрыв | 0,5 | - | Кирпичная стена многоэтажного дома с остеклением  Приборная стойка | 4000  4015 | -  0,9х0,4 | -  0,18 | -  20 | -  0,5 | -  0,9 |

5. ПРИМЕРЫ выполнения лабораторной работы «расчет нагрузок, создаваемой ударной волной»

* 1. 5.1. ВАРИАНТ 1

1. Исходные данные:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Источник взрыва | Начальное давление Р, МПа или тротиловый эквивалент q, Мт | Объем емкости V, м3 или объем помещения, Vп,м3 | Объект воздействия | Расстояние от центра взрыва R, м | Высота и ширина объекта ab, м | Площадь поперечного сечения объекта, м2 | Вес объекта G, Н | Коэффициент трения, f | Коэффициент аэродинамического сопротивления, Сх |
| Емкость | 1 | 0,5 | Многоэтажное кирпичное здание с остеклением | 20 | - | - | - | - | - |
| Приборная стойка | 20 | 0.90,6 | 0,18 | 300 | 0,3 | 0,85 |

1. Цель работы: провести оценку степени разрушения данных объектов для проведения восстановительных работ.

3. Ход работы:

1. Взрыв емкости со сжатым газом.

Тротиловый эквивалент определяется по формуле (5.1.)

 ,

Работа газа при адиабатном расширении определяется по формуле (5.2.):

 ,

где *А* – работа взрыва, *МДж*; *Р1* – начальное давление в сосуде, *Мпа*; *Р2*– конечное давление, *Мпа, (Р2=0,1⋅ p1);*  *V* – начальный объем газа, *м3*; *m* – показатель адиабаты (*m=1.4).*

В нашем случае формулы (5.1.) и (5.2.) примут вид:





Безопасное расстояние, *м*, от места взрыва для человека определяем по формуле (5.3.):

R min = 16· q1/3

Rmin = 16· 0,161/3 = 8,74

Безопасное расстояние, *м*, от места взрыва для жилой застройки определяем по формуле (5.4.):

R min = 5· q1/2

R min = 5· 0,161/2 = 2

1. Избыточное давление при взрыве емкости определяется по формуле (5.6.):

** ,**

где ** - избыточное давление, *кПа*; *q* – тротиловый эквивалент, *кг*; ** – расстояние от центра взрыва, *м*.

В нашем случае формула (5.6.) примет вид:

 2.48 кПа

1. Определяем степень разрушения объекта воздействия.

Степень разрушения объекта воздействия (здания, сооружения и т.д.) оценивается по критерию оценки физической устойчивости (сильное, среднее, слабое), а объекты воздействия (оборудование, установки и т.д.) - по критерию опрокидывания и смещения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование объекта  воздействия | Избыточное давление, кПа | | |
| сильное | среднее | слабое |
| Кирпичное многоэтажное здание с остеклением | 20 -30 | 10 – 20 | 8 – 10 |
| Приборные стойки | 50 – 70 | 30 – 50 | 10 – 30 |

Исходя из данных, можно сделать вывод, что степень разрушения объекта воздействия соответствует «слабому разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса получают повреждения, при которых они могут быть восстановлены в короткие сроки.

* 1. Степень опрокидывания или смещения приборной стойки.

Скоростной напор взрыва, *кПа*, определим с помощью формулы (5.7.):

Pск. = 2,5 · *2*. / (** + 7p0),

где *Рск* - скоростной напор взрыва, *кПа*; ** - избыточное давление во фронте ударной волны наземного взрыва, *кПа*;  - начальное атмосферное давление, *101 кПа*

В нашем случае формула примет вид:

Рck = (2,5 · 2,482 ) / (2,48 + 7 · 101) = 0,02 kПа

Допустимый скоростной напор взрыва при опрокидывании приборной стойки определяется из соотношения (5.8.):

 **,**

где  - высота объекта, *м*;  - ширина объекта, *м*;  - вес объекта, *Н*; -коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения, *м2*.

В нашем случае отношение будет иметь вид:





Так как 0.02 *кПа* < 2.941 *кПа, т.е.* , то можно сделать вывод, что в данном случае не произойдет опрокиды­вание приборной стойки.

Допустимый скоростной напор взрыва при смещении приборной стойки определяется из соотношения:

 **,**

где  - коэффициент трения;  - вес объекта, *Н*;  - коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения, *м2*.

В нашем случае соотношение примет вид:





Так как 0,02 кПа < 0,588 *кПа*, т.е. , то можно сделать вывод, что в данном случае так же не произойдет смещение приборной стойки.

Вывод:степень разрушения объекта воздействия соответствует «слабому разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса получают повреждения, при которых они могут быть восстановлены в короткие сроки. В данном случае не произойдет опрокиды­вание и смещение приборной стойки.

5.2. ВАРИАНТ 2

1. Исходные данные:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Источник взрыва | Начальное давление Р, МПа или тротиловый эквивалент q, Мт | Объем емкости V, м3 или объем помещения, Vп,м3 | Объект воздействия | Расстояние от центра взрыва R, м | Высота и ширина объекта ab, м | Площадь поперечного сечения объекта, м2 | Вес объекта G, Н | Коэффициент трения, f | Коэффициент аэродинамического сопротивления, Сх |
| Воздушный ядерный взрыв | 2 | - | Многоэтажное кирпичное здание с остеклением | 4000 | - | - | - | - | - |
| - | - | Приборная стойка | 4000 | 20,5 | 0,4 | 200 | 0,4 | 0,85 |

2. Цель работы: провести оценку степени разрушения данных объектов для проведения восстановительных работ.

3. Ход работы:

1. Избыточное давление во фронте ударной волны воздушного ядерного взрыва определяем по формуле (5.6.):

** ,**

где ** - избыточное давление, *кПа*;  – тротиловый эквивалент, *кг*;  – расстояние от центра взрыва, *м;*

В нашем случае формула примет вид:

****

**** *кПа*

2. Определяем степень разрушения объекта воздействия.

Степень разрушения объекта воздействия (здания, сооружения и т.д. оценивается по критерию оценки физической устойчивости (сильное, среднее, слабое), а объекты воздействия (оборудование, установки и т.д.) по критерию опрокидывания и смещения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование объекта  воздействия | Избыточное давление, кПа | | |
| сильное | среднее | слабое |
| Кирпичное многоэтажное здание с остеклением | 20 -30 | 10 - 20 | 8 - 10 |
| Приборные стойки | 50 - 70 | 30 - 50 | 10 - 30 |

Исходя из данных, можно сделать вывод, что степень разрушения объекта воздействия соответствует «сильному разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса разрушаются полностью.

2.1. Степень опрокидывания или смещения приборной стойки.

Скоростной напор взрыва определяем по формуле (5.7.):

Pск. = 2,5 · *2*. / (** + 7p0),

где *Рск* - скоростной напор взрыва, *кПа*;  - избыточное давление во фронте ударной волны наземного взрыва, *кПа*;  - начальное атмосферное давление, *кПа*.

В нашем случае формула примет вид:

 *кПа*

Допустимый скоростной напор взрыва при опрокидывании приборной стойки определяется из соотношения (5.8.):

,

где  - высота объекта, *м*;  - ширина объекта, *м*;  - вес объекта, *Н*; -коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения*, м2*.

В нашем случае отношение будет иметь вид:



*Па*

Так как 15,01 *кПа* > 2,352 *кПа,* т.е*.* , то можно сделать вывод, что в данном случае произойдет опрокиды­вание приборной стойки.

Допустимый скоростной напор взрыва при смещении приборной стойки определяется из соотношения (5.9.):

,

где  - коэффициент трения;  - вес объекта, *Н*;  - коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения, *м2.*

В нашем случае соотношение примет вид:



 *Па*

Так как 15,01 *кПа* > 0,235 *кПа*  (), то можно сделать вывод, что в данном случае так же произойдет смещение приборной стойки.

Вывод: степень разрушения объекта воздействия соответствует «сильному разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса разрушаются полностью. В данном случае произойдет опрокиды­вание приборной стойки и ее смещение.

5.3. ВАРИАНТ 3

1. Исходные данные:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Источник взрыва | Начальное давление Р, МПа или тротиловый эквивалент q, Мт | Объем емкости V, м3 или объем помещения, Vп,м3 | Объект воздействия | Расстояние от центра взрыва R, м | Высота и ширина объекта ab, м | Площадь поперечного сечения объекта, м2 | Вес объекта G, Н | Коэффициент трения, f | Коэффициент аэродинамического сопротивления, Сх |
| Взрыв газовоздушной смеси (утечка газа) | 50 кг | 100 | Кирпичная стена многоэтажного дома с остеклением | 2 | - | - | - | - | - |
| - | - | Приборная стойка | 2 | 0.90,4 | 0,18 | 300 | 0,9 | 0,5 |

2. Цель работы: провести оценку степени разрушения данных объектов для проведения восстановительных работ.

3. Ход работы:

1. Избыточное давление при взрыве газовоздушной смеси определяется по формуле (5.5.):

,

где *∆рф* – избыточное давление, *кПа*; *m* – масса горючего газа, *кг*; *HT*– теплота сгорания, *кДж/кг* (*HT=40·103*); *Pо*– начальное давление, *кПа* (*Pо=101*); *z* – коэф. участия воздушной смеси, (*z=0,5*); *Vп* – объем помещения, *м3*; *с* – теплоемкость воздуха, *кДж*/*кг* (*с=1,01); ρ* – плотность воздуха, *кг/м3*(*ρ=1,29*); *Tо*– температура в помещении, *К* (*Tо=300*); *Rн* – коэф. негерметичности помещения, (*Rн=3*).

В нашем случае формула примет вид:

 861,33 kПа

2. Определяем степень разрушения объекта воздействия.

Степень разрушения объекта воздействия (здания, сооружения и т.д. оценивается по критерию оценки физической устойчивости (сильное, среднее, слабое), а объекты воздействия (оборудование, установки и т.д.) по критерию опрокидывания и смещения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование объекта  воздействия | Избыточное давление, кПа | | |
| сильное | среднее | слабое |
| Кирпичное многоэтажное здание с остеклением | 20 -30 | 10 - 20 | 8 - 10 |
| Приборные стойки | 50 - 70 | 30 - 50 | 10 - 30 |

Исходя из данных, можно сделать вывод, что степень разрушения объекта воздействия соответствует «сильному разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса разрушаются полностью.

2.2. Степень опрокидывания или смещения приборной стойки.

Скоростной напор взрыва определяем по формуле (5.7.):

Pск. = 2,5 · *2*. / (** + 7p0),

где *Рск*- скоростной напор взрыва, *кПа*;  - избыточное давление во фронте ударной волны наземного взрыва, *кПа*;  - начальное атмосферное давление, *кПа*.

В нашем случае формула примет вид:

 1182,61 kПа

Допустимый скоростной напор взрыва при опрокидывании приборной стойки определяется из соотношения (5.8.):

 **,**

где  - высота объекта, *м*;  - ширина объекта, *м*; - вес объекта, *Н*; -коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения, *м2*.

В нашем случае отношение будет иметь вид:





Так как 1182,61 *кПа* > 7.5 *кПа* (), то можно сделать вывод, что в данном случае произошло опрокиды­вание приборной стойки.

Допустимый скоростной напор взрыва при смещении приборной стойки определяется из соотношения (5.9.):

 **,**

где  - коэффициент трения;  - вес объекта, *Н*;  - коэффициент сопротивления;  - площадь поперечного сечения, *м2*.

В нашем случае соотношение примет вид:





Так как 1182,61 *кПа* > 3 *кПа* (), то можно сделать вывод, что в данном случае так же произошло смещение приборной стойки.

Вывод: степень разрушения объекта воздействия соответствует «сильному разрушению», это означает, что при воздействии данной ударной волны элементы производственного комплекса разрушаются полностью. В данном случае произойдет опрокиды­вание приборной стойки и ее смещение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г., Акимов Н.И. Гражданская оборона. – М.: Высшая школа, 1986. – 207 с.

2. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козъяков и др.; Под общ. Ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, НМЦ СПО, 2000. – 343 с.