# Лабораторная работа № 5 Оценка последствий объёмных взрывов топливно-воздушных смесей.

Цель работы: Научиться расчётным путём определять последствия объёмных взрывов топливно-воздушных смесей, возникающих при распылении органических топлив.

Теоретическая часть:

1. Дайте определение объёмного взрыва.
2. Сформулируйте различие детонационного и дефлаграционого горения.
3. Изобразите профиль ударной волны и её основные параметры.

Ход работы

1.Определение основных параметров взрыва ТВС.

Рассчитываем стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения

.

Определяем стехиометрическую концентрацию горючего в воздухе (кг/м3) по формуле

,

где  - молярная масса горючего, кг/кмоль. Эффективный энергозапас горючей смеси определяется в зависимости от того является смесь «богатой» горючим (концентрация горючего больше стехиометрической) или «бедной» (концентрация горючего меньше стехиометрической

если 

или

, если 

Здесь - масса попавшего в атмосферу горючего, - коэффициент, равный 1, если взрыв воздушный и 2, если наземный.

Теплота сгорания горючего газа *qг* в ТВС берется из справочных данных или оценивается по формуле (в МДж/кг)



Для оценки объёма облака топливно-воздушной смеси можно воспользоваться соотношением



2. Определение режима взрывного превращения

Топливно-воздушные смеси, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам разделены на четыре класса. Классификация горючих веществ приведена в табл. 1 приложения 1.

В связи с тем что характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака топливно-воздушной смеси и, следовательно, параметры ударной волны, геометрические характеристики окружающего пространства разделены на виды в соответствии со степенью его загроможденности.

Вид 1. Наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания с размером не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси.

Вид 2. Сильно загроможденное пространство: наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.

Вид 3. Средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.

Вид 4. Слабо загроможденное и свободное пространство.

Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью экспертной табл. 2 приложения 1. в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства.

Ниже приводится разбиение режимов взрывного превращения ТВС по диапазонам

скоростей.

Диапазон 1. Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше.

Диапазон 2. Дефлаграция, скорость фронта пламени 300-500 м/с.

Диапазон 3. Дефлаграция, скорость фронта пламени 200-300 м/с.

Диапазон 4. Дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

Диапазон 5. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением

,

где - константа, равная 43.

Диапазон 6. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением , но с константой раной 26.

3. Детонация газовых и гетерогенных топливно-воздушных смесей.

После того как определен вероятный режим взрывного превращения, рассчитываются основные параметры воздушных ударных волн (избыточное давление  и импульс волны давления ) в зависимости от расстояния до центра облака.

Для вычисления ударной волны на заданном расстоянии от центра облака вычисляется безразмерное расстояние

.

В случае детонации облака газовой смеси расчёт безразмерных избыточного давления и импульса идёт по формулам





Зависимости и справедливы для значений R , больших величины R = 0,2 и меньших R = 24. В случае R < 0,2 величина P полагается равной 18, а в выражение (6) подставляется значение R = 0,142.

Параметры детонации гетерогенных смесей рассчитывается по формулам





Зависимости и справедливы для значений R больших величины R = 0,25. В случае если R < 0.25 , величина P полагается равной 18, а величина I = 0,16.

1. Дефлаграция газовых и гетерогенных смесей.

В случае дефлаграционного превращения облака топливно-воздушной смеси при расчете параметров ударной волны добавляются степень расширения продуктов сгорания и видимая скорость пламени , определяемая в соответствии с пунктом 2. Степень расширения продуктов сгорания принимается раной , для газовых смесей и  для гетерогенных. Параметры ударной волны вычисляются по формулам

,

,

- скорость звука, принимаемая 340 м/сек.

В формулы для вычисления эффективного энергозапаса смеси , также вводится поправка в виде множителя . Таким образом, формулы для расчета эффективного энергозапаса смеси принимают вид



и

.

При этом величина безразмерного расстояния  , зависящая от  также измениться.

1. Дополнительные параметры ударной волны.

Параметры падающей ударной волны:

Параметры падающей волны при детонации облака газовой смеси рассчитываются по следующим соотношениям.

Амплитуда фазы сжатия



Амплитуда фазы разрежения



Длительность фазы сжатия



Длительность фазы разрежения



Импульс фазы сжатия



Импульс фазы разрежения



Форма падающей волны с описанием фаз сжатия и разрежения в наиболее опасном случае детонации газовой смеси может быть описана соотношением



Декремент затухания в падающей волне рассчитывается по соотношению



Параметры отраженной ударной волны:

Для расчета параметров отраженной волны при ее нормальном падении на преграду используются следующие соотношения.

Амплитуда отраженной волны давления



Амплитуда отраженной волны разрежения



Длительность отраженной волны давления



Длительность отраженной волны разрежения



Импульс отраженной волны давления



Импульс отраженной волны разрежения



Общее время действия отраженных волн на мишень



Форма отраженной волны с описанием фаз сжатия и разрежения с хорошей для практических целей точностью может быть описана соотношением



Декремент затухания в отраженной волне рассчитывается по соотношению



Соотношения - справедливы при значениях λ до 51,6.

1. Оценка последствий объёмного взрыва

Для точной оценки последствий взрыва используется модель ущерба при взрыве , где  - функция нормального распределения

,

отвечающая вероятности наступления данного вида последствий, при воздействии избыточного давления. Функция нормального распределения может быть выражена через функцию ошибок

.

Функция ошибок определяется как

.

Аргументом функции распределения служит пробит-функция вида

.

Параметры **, ** зависят от вида наступающих последствий, ** является некоторой функцией избыточного давления и удельного импульса. Вид пробит-функций для различных последствий взрыва приведён в табл. 2. Связь вероятности события с значением пробит-функции дана в табл.3.

1. Выполнение работы.

В ходе выполнения работы требуется определить, для заданного взрывчатого вещества известной массы *m* расположенного на земле, режим взрывного превращения, пользуюсь формулами – . Для найденного режима взрывного превращения (детонация или дефлаграция), пользуясь формулами - для детонации, или - для дефлаграции, написать на языке Java программу, вычисляющую для заданного расстояния *R=50 м.* параметры ударной волны и вероятность наступления различных последствий её воздействия по методике раздела 6.

Дополнительное задание: В предположении, что взрыв выбранного горючего протекает в детонационном режиме вычислить для заданного расстояния дополнительные параметры ударной волны по формулам - и вероятность наступления последствий взрыва.

Для проверки полученных результатов следует воспользоваться программой расчёта последствий взрыва ТВС, расположенной по адресу <http://rintd.ru:81/volume_explosion_online>. При заходе на страницу сервиса «**Расчёт последствий объёмного взрыва топливо-воздушных смесей (ТВС)**» пользователю будет предложено выбрать из раскрывающихся списков вид горючего вещества по названию (пункт «Указать вид горючего вещества (топлива») В поле «Указать массу горючего (топлива) кг» вручную вводится информация о массе горючего вещества в килограммах. Пункт «Указать концентрацию горючего в смеси кг/м» оставить без изменения, 0 - значение по умолчанию. Далее выбирается вид окружающего пространства и отмечаются чекбоксы, для вычисления дополнительных параметров ударной волны. В последней строчке «Указать интересующее расстояние (м.)» задаётся интересующее расстояние. Внешний вид начальной страницы приведён на рис. 1.

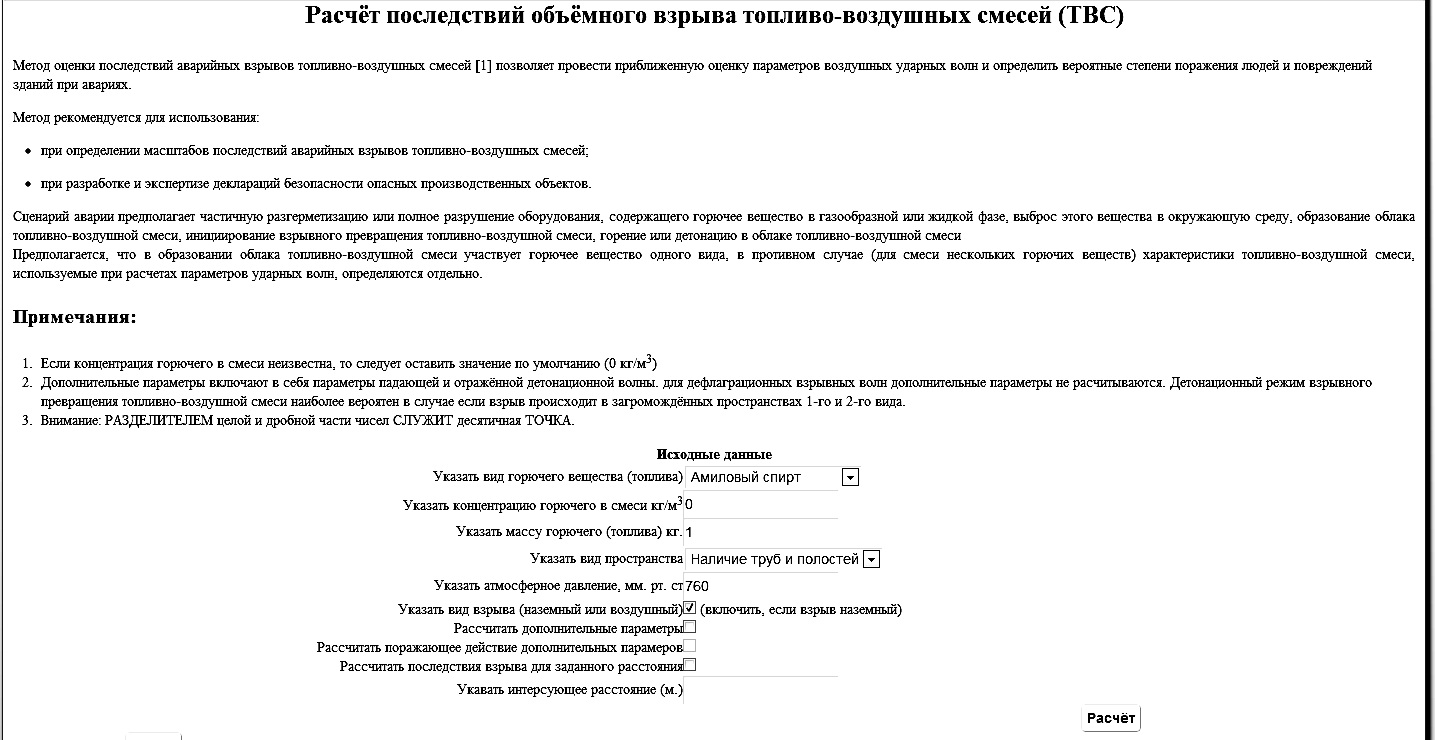


Рисунок 1 Внешний вид начальной страницы сервиса

Внешний вид сервиса с введёнными исходными данными приведён на рис. 2

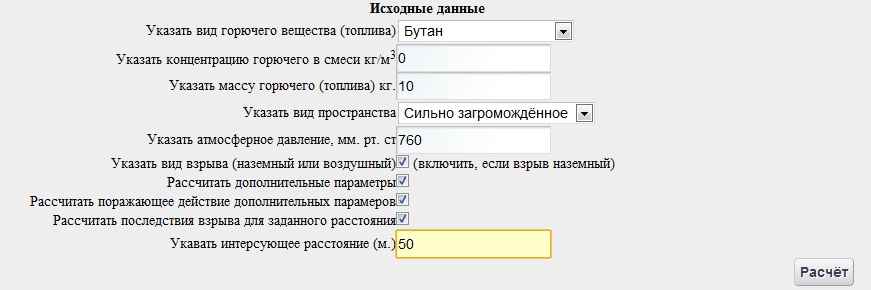


Рисунок 2 Сервис, готовый выполнению расчёта

После нажатия кнопки «Расчет» будет получен выходной документ (в HTML - формате), содержащий данные расчета в виде, приведённом ниже.

**Результаты расчета**

Название вещества - Бутан  
Формула вещества - C4 H10   
Уравнение реакции горения  
C4 H10 + 6.5O2 = 4CO2 + 5H2O   
**Исходные и справочные данные**

Стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом - 0.08 кг/куб.м.  
Kонцентрация горючего вещества в составе топливо-воздушной смеси - 0.0467 кг/куб.м.  
(если концентрация горючего вещества неизвестна, то она принимается равной нижнему критическому пределу распространения пламени (НКПР))  
Масса горючего вещества в топливо-воздушной смеси - 10 кг.  
Удельная теплота сгорания топливно-воздушной смеси - 45713.400890000004 кДж/кг  
Вид взрыва - наземный взрыв топливо-воздушной смеси  
Эффективный энергозапас топливо-воздушной смеси - 914268.02 кДж  
Оценка объёма топливо-воздушной смеси - 214.11 куб.м.  
Класс опасности вещества - 2  
Тип окружающего пространства - 2  
Ожидаемый рехим взрывного превращения -2 , что соответствует дефлаграции (ожидаемая скорость распространения пламени - 500.00 м/сек)  
Вид топливно-воздушной смеси - газовая смесь  
**Зависимость поражающих факторов взрыва(избыточного давления и удельного импульса на фронте взрывной волны) от расстояния.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Расстояние, м** | **Избыточное давление, кПа** | **Удельный импульс, кПа\*сек** |
| 0.00 | 231.0435 | 0.7730 |
| 2.85 | 231.0435 | 0.7730 |
| 5.70 | 231.0435 | 0.4984 |
| 8.55 | 146.7334 | 0.3323 |
| 11.40 | 83.5904 | 0.2492 |
| 14.25 | 55.3822 | 0.1994 |
| 17.10 | 40.1887 | 0.1661 |
| 19.95 | 30.9731 | 0.1424 |
| 22.80 | 24.9058 | 0.1246 |
| 25.65 | 20.6650 | 0.1108 |
| 28.51 | 17.5628 | 0.0997 |
| 57.01 | 6.5898 | 0.0498 |
| 85.52 | 3.9398 | 0.0332 |
| 114.02 | 2.7896 | 0.0249 |
| 142.53 | 2.1535 | 0.0199 |
| 171.03 | 1.7516 | 0.0166 |
| 199.54 | 1.4752 | 0.0142 |
| 228.04 | 1.2738 | 0.0125 |
| 256.55 | 1.1205 | 0.0111 |
| 285.05 | 1.0000 | 0.0100 |

**Радиусы зон (м) с заданными вероятностями поражения для различнывх поражающих факторов.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид поражения** | **Вероятность (%)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 99 |
| вероятность повреждения стен промышленных зданий при возможности их восстановления без сноса. | 16.55 | 15.00 | 13.82 | 12.89 | 12.13 | 11.50 | 10.86 | 10.34 | 9.80 | 9.30 | 8.85 | 8.36 | 7.93 | 7.45 | 6.95 | 6.41 | 5.81 | 5.21 | 5.21 |
| вероятность повреждения стен промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу | 10.34 | 9.39 | 8.67 | 8.09 | 7.62 | 7.23 | 6.84 | 6.51 | 6.18 | 5.87 | 5.59 | 5.29 | 5.21 | 5.21 | 5.21 | 5.21 | 5.21 | 0.00 | 0.00 |
| вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| вероятность разрыва барабанных перепонок | 16.08 | 14.71 | 13.67 | 12.87 | 12.20 | 11.66 | 11.11 | 10.66 | 10.20 | 9.76 | 9.38 | 8.96 | 8.58 | 8.18 | 7.75 | 7.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| вероятность разброса людей волной давления | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| вероятность летального исхода | 9.46 | 9.29 | 9.16 | 9.05 | 8.95 | 8.87 | 8.78 | 8.70 | 8.62 | 8.54 | 8.47 | 8.38 | 8.31 | 8.22 | 8.12 | 8.01 | 7.87 | 7.67 | 7.31 |

Для дефлаграционных ударных волн дополнительные параметры не расcчитываются

**Вероятности (в %) различных видов поражения на заданном расстоянии 50 м.**

0 вероятность повреждения стен промышленных зданий при возможности их восстановления без сноса.  
Hезначительная вероятность повреждения стен промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу  
Hезначительная вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна)  
0 вероятность разрыва барабанных перепонок  
Hезначительная вероятность разброса людей волной давления  
Hезначительная вероятность летального исхода  
Для дефлаграционных ударных волн поражающее действие дополнительных факторов не рассчитывается

# Приложение 1. Справочные материалы.

Таблица 1 Классификация горючих веществ по степени чувствительности

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс 1 | | Класс 2 | | Класс 3 | | Класс 4 | |
| Особо чувствительные вещества | | Чувствительные вещества | | Средне-чувствительные вещества | | Слабо-чувствительные вещества | |
| (Размер детонационной ячейки менее 2 см) | | (Размер детонационной ячейки от 2 до 10 см) | | (Размер детонационной ячейки от 10 до 40 см) | | (Размер детонационной ячейки больше 40 см) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | *β* |  | *β* |  | *β* |  | *β* |
| Ацетилен | 1,1 | Акрилонитрил | 0,67 | Ацетальдегид | 0,56 | Аммиак | 0,42 |
| Винилацетилен | 1,03 | Акролеин | 0,62 | Ацетон | 0,65 | Бензол | 0,88 |
| Водород | 2,73 | Бутан | 1,04 | Бензин | 1 | Декан | 1 |
| Гидразин | 0,44 | Бутилен | 1 | Винилацетат | 0,51 | Дизтопливо | 1 |
| Изопропилнитрат | 0,41 | Бутадиен | 1 | Винилхлорид | 0,42 | о-дихлорбензол | 0,42 |
| Метилацетилен | 1,05 | 1,3-пентадиен | 1 | Гексан | 1 | Додекан | 1 |
| Нитрометан | 0,25 | Пропан | 1,05 | Генераторный газ | 0,38 | Керосин | 1 |
| Окись пропилена | 0,7 | Пропилен | 1,04 | Изооктан | 1 | Метан | 1,14 |
| Окись этилена | 0,62 | Сероуглерод | 0,32 | Метиламин | 0,7 | Метилбензол | 1 |
| Этилнитрат | 0,3 | Этан | 1,08 | Метилацетат | 0,53 | Метилмеркаптан | 0,53 |
|  |  | Этилен | 1,07 | Метилбутилкетон | 0,79 | Метилхлорид | 0,12 |
|  |  | ШФЛУ | 1 | Метилпропилкетон | 0,76 | Нафталин | 0,91 |
|  |  | Диметиловый эфир | 0,66 | Метилэтилкетон | 0,71 | Окись углерода | 0,23 |
|  |  | Дивиниловый эфир | 0,77 | Октан | 1 | Фенол | 0,92 |
|  |  | Метилбутиловый эфир | - | Пиридин | 0,77 | Хлорбензол | 0,52 |
|  |  | Диэтиловый эфир | 0,77 | Сероводород | 0,34 | Этилбензол | 0,90 |
|  |  | Диизопропи-  ловый эфир | 0,82 | Метиловый спирт | 0,52 | Дихлорэтан | 0,25 |
|  |  |  |  | Этиловый спирт | 0,62 | Трихлорэтан | 0,14 |
|  |  |  |  | Пропиловый спирт | 0,69 |  |  |
|  |  |  |  | Амиловый спирт | - |  |  |
|  |  |  |  | Изобутиловый спирт | 0,79 |  |  |
|  |  |  |  | Изопропиловый спирт | 0,69 |  |  |
|  |  |  |  | Циклогексан | 1 |  |  |
|  |  |  |  | Этилформиат | 0,46 |  |  |
|  |  |  |  | Этилхлорид | 0,43 |  |  |
|  |  |  |  | Сжиженный природный газ | 1 |  |  |
|  |  |  |  | Кумол | 0,84 |  |  |
|  |  |  |  | Печной газ | 0,09 |  |  |
|  |  |  |  | Циклопропан | 1 |  |  |
|  |  |  |  | Этиламин | 0,8 |  |  |

Таблица 2 Параметры пробит-функций.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Вид последствий взрыва** | ***a*** | ***b*** | ***V*** |
| Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса | 5 | -0.26 |  |
| Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу | 5 | -0.22 |  |
| Вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны | 5 | -5.74 | ,[[1]](#footnote-1) |
| Вероятности разрыва барабанных перепонок у людей от уровня перепада давления в воздушной волне | -12.6 | 1.524 |  |
| Вероятность отброса людей волной давления | 5 | -2.44 |  |

Таблица 2 Определение режима взрывного превращения

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс горючего | Вид окружающего пространства | | | |
| вещества | 1 | 2 | 3 | 4 |
|  | Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения | | | |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Таблица 3 Связь вероятности поражения с пробит-функцией.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P, % | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 |  | 2,67 | 2,95 | 3,12 | 3,25 | 3,38 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,66 |
| 10 | 3,72 | 3,77 | 3,82 | 3,86 | 3,92 | 3,96 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,12 |
| 20 | 4,16 | 4,19 | 4,23 | 4,26 | 4,29 | 4,33 | 4,36 | 4,39 | 4,42 | 4,45 |
| 30 | 4,48 | 4,50 | 4,53 | 4,56 | 4,59 | 4,61 | 4,64 | 4,67 | 4,69 | 4,72 |
| 40 | 4,75 | 4,77 | 4,80 | 4,82 | 4,85 | 4,87 | 4,90 | 4,92 | 4,95 | 4,97 |
| 50 | 5,00 | 5,03 | 5,05 | 5,08 | 5,10 | 5,13 | 5,15 | 5,18 | 5,20 | 5,23 |
| 60 | 5,25 | 5,28 | 5,31 | 5,33 | 5,36 | 5,39 | 5,41 | 5,44 | 5,47 | 5,50 |
| 70 | 5,52 | 5,55 | 5,58 | 5,61 | 5,64 | 5,67 | 5,71 | 5,74 | 5,77 | 5,81 |
| 80 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,08 | 6,13 | 6,18 | 6,23 |
| 90 | 6,28 | 6,34 | 6,41 | 6,48 | 6,55 | 6,64 | 6,75 | 6,88 | 7,05 | 7,33 |
| 99 | 7,33 | 7,37 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,58 | 7,65 | 7,75 | 7,88 | 3,09 |

# Приложение 2. Варианты заданий.

Таблица 4 Первая цифра варианта. Выбор горючего.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| ацетилен | водород | гидразин | бутан | пропан | этилен | ацетон | бензин | аммиак | этан |

Таблица 5. Вторая цифра варианта. Вид Пространства

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| цифра варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Вид пространства | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 |

Таблица 6. Третья цифра варианта. Выбор массы вещества.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| цифра варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| масса горючего, кг. | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 8 | 13 | 16 | 21 | 30 |

1. m – средняя масса взрослого человека, принимаемая равной 80 кг. [↑](#footnote-ref-1)