

6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ»

6.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о легкобрасываемых конструкциях (ЛСК), принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета требуемой площади ЛСК.

6.2. Общие сведения

В помещениях зданий с взрывоопасными производствами (категорий А и Б) в аварийных ситуациях возможно образование газо-, паро- или пылевоздушных смесей (ГПВС). Взрыв образовавшейся ГПВС внутри здания может произойти при одновременном возникновении аварии и наличии источника воспламенения, например, электрической искры или открытого огня [1].

Аварийные последствия взрыва определяются как мощностью взрыва, так и условиями распространения давления взрыва внутри помещений здания. Нагрузки, возникающие при взрыве, могут во много раз превышать прочность несущих ограждающих конструкций. Наиболее тяжелым вариантом аварии является обрушение несущих конструкций здания, последствия которого усугубляются уничтожением оборудования и гибелью людей под разрушенными конструкциями. Если же после аварии несущие конструкции здания сохраняются, то восстановление здания требует значительно меньших затрат времени и средств.

Основным направлением обеспечения взрывозащиты является разработка систем предупреждения взрывов и разработка технологических процессов с учетом надежности их составляющих. Однако, несмотря на все предупредительные технологические и организационно-технические мероприятия, аварийные взрывы все же происходят.

Одним из эффективных способов уменьшения последствий взрыва является выполнение зданий и сооружений из конструкций, различных по прочности и сопротивлению давлению взрыва. В этом случае взрывное воздействие на основные несущие конструкции здания уменьшается за счет разрушения менее прочных элементов. Такие конструкции называют предохранительными или легкобрасываемыми.

Легкобрасываемые конструкции (ЛСК) – это наружные ограждающие конструкции (или их элементы) зданий, сооружений и помещений с взрывоопасными производствами. При взрыве легкобрасываемые конструкции разрушаются и образуют открытые проёмы для сброса избыточного давления взрыва

К ЛСК относятся окна, если в оконных переплетах установлено обычное оконное стекло; двери; распашные ворота; стеновые панели из асбестоцементных, алюминиевых или стальных листов с легким утеплителем; специальные плиты покрытия и пр.

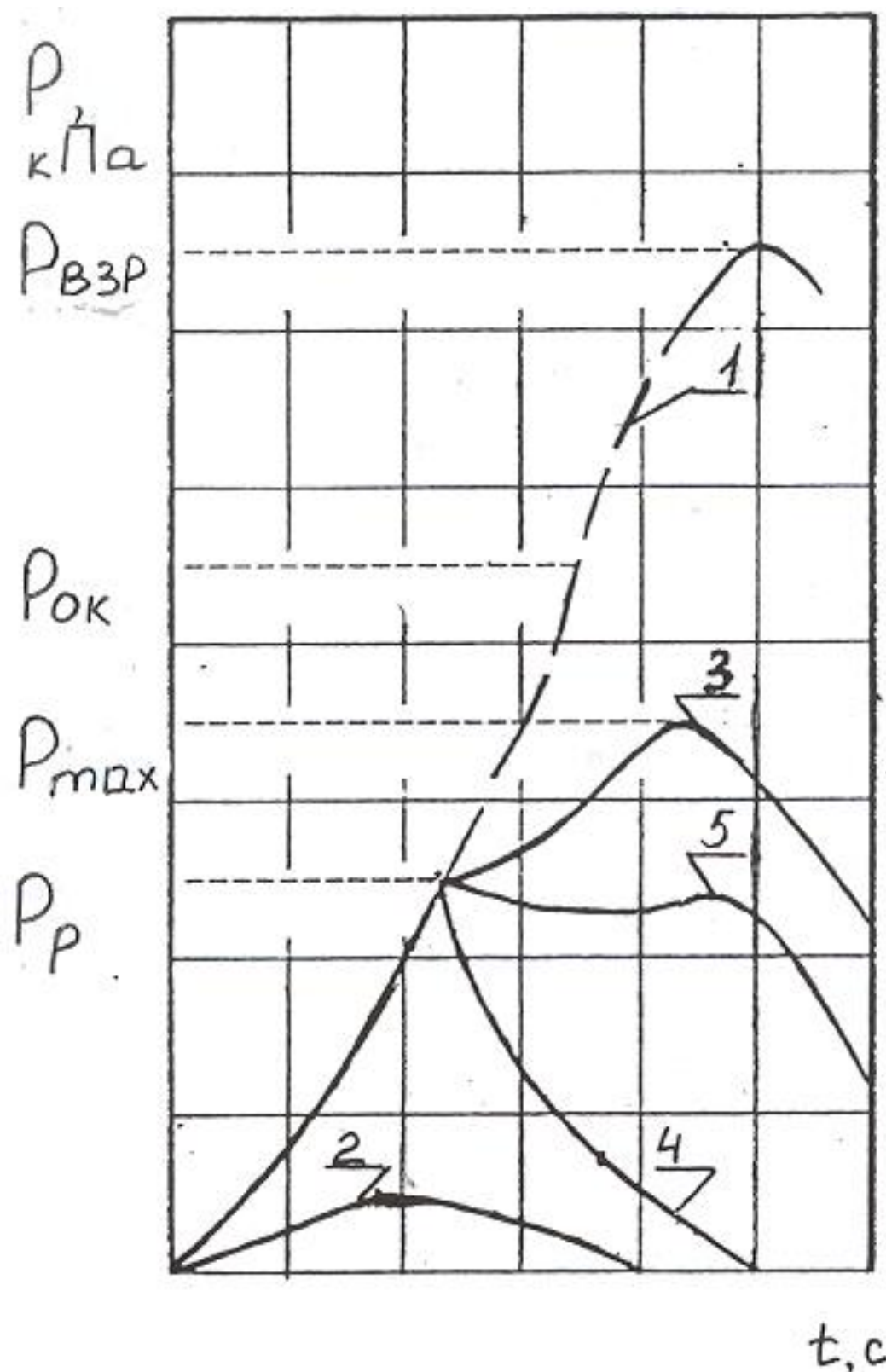


Рис.6.1. Изменение давления в объеме помещения при взрыве горючей смеси:

- 1 – в замкнутом объеме;
- 2 – в полузамкнутом объеме;
- 3 – при использовании ЛСК второй группы (инерционные);
- 4 – при использовании ЛСК первой группы (безинерционные);
- 5 – при использовании ЛСК первой и второй групп

6.2.1. Принцип действия ЛСК

Характер развития взрыва в замкнутом объеме показан на рис. 6.1, график 1. Как видно из этого графика, максимальное давление взрыва $P_{взр}$ в замкнутом объеме может значительно превышать предельные значения давлений (нагрузок) $P_{ок}$ на несущие конструкции, которые приводят к их разрушению. Если в помещении имеются достаточное количество открытых проемов, то взрывные нагрузки на основные конструкции не достигают опасных значений. Характер развития взрыва показан на рис. 6.1, график 2.

Защитное действие ЛСК состоит в том, что они должны начинать разрушаться в процессе развития взрыва при давлении продуктов взрыва P_p (см. соответствующую точку на рис. 6.1), которое значительно меньше $P_{ок}$ и $P_{взр}$, и не наносит повреждений несущим конструкциям здания. В этом случае избыточные объемы продуктов взрыва вытесняются из помещений здания наружу через проемы, которые образуются в результате разрушения ЛСК.

Если в здании имеются ЛСК достаточной площади, и если их прочность и масса соответствующим образом подобраны, то взрывные нагрузки на основные конструкции могут быть уменьшены до величин, устанавливаемых из условий прочности или несущей способности основных конструкций. Условием работоспособности ЛСК является:

$$P_p < P_{ок} \quad (6.1)$$

6.2.2. Виды ЛСК

ЛСК по характеру работы подразделяют на 2 группы:

1. ЛСК с небольшой массой. Эти конструкции при взрыве разрушаются мгновенно, поэтому при их расчете силой инерции, возникающей при вскрытии (движении) ЛСК, пренебрегают. К этой группе относится глухое остекление.

2. ЛСК, масса которых значительна по сравнению с 1-й группой, и для которых силой инерции пренебречь нельзя. При разрушении этих ЛСК происходит относительно медленное (не мгновенное) вскрытие проемов в ограждающих конструкциях, снижение давления взрыва происходит не сразу. К этой группе относятся поворотные остекленные переплеты, стеновые панели, плиты покрытий, распашные ворота и пр.

Инерционность ЛСК оказывает существенное влияние на характер изменения взрывных нагрузок на конструкции. Чтобы обеспечить свободное истечение газов из помещения, ЛСК при срабатывании должны быть либо полностью разрушены, либо воздействием взрыва отброшены на некоторое расстояние от проемов.

При расчетах принимается, что ЛСК 1-й группы разрушаются практически мгновенно. Характер изменения давления показан на рис. 6.1, график 4.

ЛСК 2-й группы при срабатывании обычно не разрушаются или разрушаются не полностью, открытие проемов в ограждающих конструкциях происходит за счет падения или отбрасывания элементов ЛСК. Поэтому вначале наблюдается дальнейшее возрастание давления в помещении до величины P_{max} ,

затем его сбрасывание до безопасных значений (см. рис. 6.1, график 3). При расчете ЛСК этого типа проверяется также условие

$$P_{\max} < P_{ok} \quad (6.2)$$

Как правило, в большинстве зданий взрывоопасных производств применяются ЛСК 1-го. При недостаточной их площади дополнительно применяются ЛСК 2-го типа. Совместная работа обоих типов ЛСК показана на рис. 6.1, график 5

6.2.3. Конструктивные решения ЛСК

Обычное оконное остекление является наиболее эффективным легкобрасываемым устройством, т.к. стекло обладает хрупким разрушением и малой инерционностью. Для обеспечения эффективности ЛСК-остекления необходимо, чтобы размеры оконного стекла были достаточно большими, так как при малой площади пластин стекла значительно возрастает величина разрушающего давления. Поэтому для взрывоопасных зданий рекомендуется только одинарное остекление с размерами пластин 0,6 м² и более. Для уменьшения давления вскрытия остекления рекомендуется производить надрезку стекол со стороны, противоположной приложению давления взрыва, ослабленные крепления стекол в переплетах. Оконные переплеты должны открываться наружу и иметь шарнирное закрепление с одной стороны [17,20].

По расположению ЛСК могут быть разделены на стеновые ЛСК, устраиваемые в стеновом ограждении, и легкобрасываемые покрытия. При прочих равных условиях, стеновые ЛСК более эффективны, чем ЛСК-покрытия, т.к. могут проектироваться практически без нагружения, за счет чего они выполняются более легкими и подвижными. Относительная эффективность стеновых ЛСК достигает 30 % по сравнению с покрытиями.

Двери, ворота и другие поворотные устройства являются также достаточно эффективными ЛСК при условии, что в случае взрыва обеспечивается легкий поворот их вокруг шарниров или подвеса и открывание происходит наружу. Для этого необходимо, чтобы устройства, удерживающие их в закрытом положении, срабатывали при фиксированном значении давления P_p . Стеновые крупноразмерные панели из облегченных асбестоцементных, алюминиевых или пластиковых листов с легким утеплителем могут быть использованы в качестве ЛСК, если крепление их к опорным элементам выполнено так, что отрыв панелей происходит при требуемом значении давления P_p .

В качестве ЛСК-покрытий применяются облегченные плиты свободного опирания, по которым уложен легкий утеплитель и водоизоляционный ковер, разрезаемый на карты с устройством ЛСК-швов.

Эксперименты показывают, что эффективность открывающихся ЛСК и стеновых панелей может быть выше, чем у остекления при надлежащем исполнении запорных и крепежных устройств. Это обусловлено тем, что при реальных взрывах в оконных проемах может оставаться некоторая часть остекления, затрудняющая свободный сброс давления.

6.3. Нормативные требования

В СП 56.13330.2011 [21] указано, что в помещениях категорий А и Б следует предусматривать наружные легкобрасываемые ограждающие конструкции. В качестве легкобрасываемых конструкций следует, как правило, использовать одинарное остекление окон и фонарей. При недостаточной площади остекления допускается в качестве легкобрасываемых конструкций использовать конструкции покрытий с кровлей из стальных, алюминиевых, асбестоцементных и битумных волнистых листов, из гибкой черепицы, металлочерепицы, асбестоцементных и сланцевых плиток и эффективного негорючего утеплителя. Площадь легкобрасываемых конструкций следует определять расчетом. При отсутствии расчетных данных площадь легкобрасываемых конструкций должна составлять не менее $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения категории А и не менее $0,03 \text{ м}^2$ - помещения категории Б.

Оконное стекло относится к легкобрасываемым конструкциям при толщине 3, 4 и 5 мм и площади не менее (соответственно) 0,8, 1 и $1,5 \text{ м}^2$. Армированное стекло, стеклопакеты, триплекс, сталинит и поликарбонат к легкобрасываемым конструкциям не относятся.

Рулонный ковер на участках легкобрасываемых конструкций покрытия следует разрезать на карты площадью не более 180 м^2 каждая.

Расчетная нагрузка от массы легкобрасываемых конструкций покрытия должна составлять не более 0,7 кПа.

6.4. Расчетная часть

6.4.1. Задание по работе

Определить требуемую площадь ЛСК, выполненных в виде листового двойного остекления, и сравнить ее с имеющейся площадью остекления, принятой из условия требуемой естественной освещенности.

Объем помещения принять равным $V = 20000 \text{ м}^3$

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные

Вариант	Вещество	Масса вещества E, кг	Толщина стекла, мм	Площадь листов, м^2	Соотношение сторон стекла	Площадь остекления, м^2
1	Метан	300	3	1,0	1:1,5	450
2	Водород	420	4	1,2	1:1	950
3	Пропан	380	5	2,0	1:1,33	480
4	Ацетилен	340	3	1,2	1:1,75	650
5	Гептан	500	4	2,0	1:1,33	510
6	Пропилен	450	5	1,5	1:1,5	550
7	Этилен	290	4	1,5	1:1,75	600
8	Бензол	260	3	0,8	1:1	460
9	Пентан	380	5	1,5	1:2	800
10	Изооктан	520	4	1,5	1:1,75	730

6.4.2. Расчет требуемой площади ЛСК, выполненных из стекла

Требуемая площадь остекления K^{cm} на 1 м³ объема помещения определяется по формуле:

$$K^{cm} = \frac{2,187 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma \cdot \mathcal{E}_p \cdot \sqrt[3]{(\mathcal{E}_p - 1) \cdot (P_p^{cm} + P_0)}}{\sqrt{P_p^{cm}} \cdot \sqrt[3]{P_p^{cm} \cdot \Pi}}, \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad (6.3)$$

где Γ – нормальная скорость горения взрывоопасной смеси, м/с;

$\mathcal{E}_p$ – расчетная степень расширения продуктов горения.

P_p^{cm} – воздействие взрыва на листовое стекло;

P_0 – атмосферное давление, Па;

Π – объем помещения в пределах внутренних поверхностей ограждающих конструкций, м³.

Расчетная степень расширения продуктов горения $\mathcal{E}_p$ определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E} \cdot \alpha + 1, \quad (6.4)$$

где $\mathcal{E}$ – максимальная степень расширения продуктов горения;

α – коэффициент заполнения объема помещения взрывоопасной смесью. Принимается по табл.6.3 в зависимости от процентного содержания смеси в объеме помещения β :

$$\beta = \frac{1000 \cdot E}{C \cdot \Pi} \cdot 100\% \quad (6.5)$$

где E – количество вещества, поступившего в помещение, кг;

C – стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси, г/м³.

Воздействие взрыва на листовое стекло P_p^{cm} определяется по формуле:

$$P_p^{cm} = P^{cm} \cdot U, \text{ кПа} \quad (6.6)$$

где P^{cm} – воздействие взрыва, разрушающее листовое стекло с соотношением сторон 1:1, кПа (табл.);

U – коэффициент условий работы.

Зная коэффициент K^{cm} , можно определить требуемую площадь остекления Φ_{cm} в м² по формуле:

$$\Phi^{cm} = K^{cm} \cdot \Pi, \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

6.4.3. Порядок выполнения расчета

1. По табл.6.2 находим параметры заданного взрывоопасного вещества: нормальную скорость горения Γ , максимальную степень расширения продуктов горения $\mathcal{E}$ и стехиометрическую концентрацию C .

2. По формуле (6.5) определить процентное содержание взрывоопасной смеси в объеме помещения β . Значения E и Π принять из задания по работе.

3. По табл.6.3 найти коэффициент α заполнения объема помещения взрывоопасной смесью.

4. По формуле (6.4) определить расчетную степень расширения продуктов горения $\mathcal{E}_p$.

Таблица 6.2

Характеристики взрывоопасных веществ

Вещество	Стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси, C , г/м ³	Максимальная степень расширения продуктов горения, $\mathcal{E}$	Нормальная скорость горения смеси, G , м/с
Ацетилен	98,2	8	1,57
Бензол	104,9	8	0,478
Водород	40,4	7,3	2,67
Гептан	91,7	8	0,424
Изооктан	92,1	8	0,346
Метан	91,5	7,5	0,338
Пентан	90,8	7,5	0,885
Пропан	89,2	8	0,455
Пропилен	94,2	8,5	0,683
Этилен	94,4	8	0,74

Таблица 6.3

Коэффициенты заполнения объема помещения взрывоопасной смесью

Содержание смеси в объеме помещения β , %	Коэффициенты заполнения объема помещения взрывоопасной смесью α при максимальной степени расширения продуктов горения $\mathcal{E}$								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
1,0	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,10
1,5	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11	0,12
2,5	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18
3,0	0,12	0,13	0,14	0,16	0,16	0,18	0,19	0,19	0,20
4,0	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
5,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30
10,0	0,35	0,36	0,38	0,39	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47
15,0	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58
20,0	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65
30,0	0,66	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76
40,0	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82
50,0	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87
60,0	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91
70,0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94
80,0	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
90,0	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

5. По исходным данным и табл.6.4 найти воздействие взрыва P^{cm} , разрушающее листовое стекло с соотношением сторон 1:1, по табл.6.5 – коэффициент условий работы U .

6. По формуле (6.6) найти воздействие взрыва на листовое стекло P_p^{cm} .

7. По формуле (6.3) определить требуемую площадь остекления K^{cm} на 1 м³ объема помещения.

8. По формуле (6.7) определить требуемую площадь остекления Φ_{cm} .

Таблица 6.4

Воздействие взрыва, разрушающее стекло с соотношением сторон 1:1

Толщина стекла, мм	Воздействие взрыва P^{cm} , разрушающего двойное остекление, Н/м ² при площади одного листа стекла Φ , м ²				
	0,8	1	1,2	1,5	2,0
3	3500	2500	2000	1800	1100
4	—	3800	3000	2300	1800
5	—	—	—	3800	3100

Таблица 6.5

Коэффициент условий работы U

Соотношение сторон стекла	1:1	1:1,33	1:1,5	1:1,75	1:2	1:3
Коэффициент условий работы U	1	1,04	1,08	1,16	1,25	1,38

6.5. Оценка результатов расчетов и выводы по работе

Полученную в результате расчетов требуемую для ЛСК площадь остекления Φ_{cm} следует сравнить:

- с требованиями СП [21];
- с фактическим значением имеющейся площадью остекления, принятой в исходных данных из условия требуемой естественной освещенности.

На основании сравнения сделать выводы.

В случае, если результаты расчетов не соответствуют нормативным значениям, либо существующей площади остекления, необходимо предложить наиболее целесообразные мероприятия и технические решения по снижению последствий взрывов в рассматриваемом здании (см. [17, 20], а также приведенные ниже рекомендации), после чего следует, если возможно, выполнить перерасчет по пп.6.4.2 и 6.4.3.

6.6. Рекомендации по снижению последствий взрывов

- увеличить, по возможности, площадь оконных проемов;
- уменьшить толщину стекла (но не менее, чем до 3 мм);
- увеличить площадь листа остекления;
- уменьшить соотношение сторон стекла, ближе к 1:1;
- увеличить объем помещения, в том числе, за счет объединения с соседними, либо объединения 2-х этажей, расположенных один над другим;
- использовать дополнительно к остеклению другие виды ЛСК;

- уменьшить количество взрывоопасных веществ, обращающихся в помещении;
- заменить взрывоопасные вещества на вещества невзрывоопасные или вещества с менее взрывоопасными свойствами;
- устранить вероятные источники зажигания;
- предусмотреть устройство аварийной вентиляции и обеспечить ее резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывоопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности.

6.7. Контрольные вопросы

10. Что называется ЛСК?
11. Принцип действия ЛСК.
12. Виды ЛСК.
13. Конструктивные решения ЛСК.
14. Нормативные требования к ЛСК.
15. Приведите рекомендации по снижению последствий взрывов.
16. Назовите основные параметры, определяющие взрывопожароопасность веществ.
17. Назовите основные способы предупреждения взрывов на предприятиях.