

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей и неорганической химии

наименование кафедры

Охрана труда и безопасность при производстве стекла

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 441 группы

Направления 20.03.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления

Института химии

наименование факультета

Хисаметдинова Кадира Рафисовича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент, к.х.н.

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Т.В. Захарова

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

И.Ю. Горячева

инициалы, фамилия

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

Стекольная промышленность – одна из важнейших подотраслей производства стройматериалов. Производство имеет достаточно длинный и сложный цикл, условно, разделённый на пять последовательных стадий: силикатообразование, стеклообразование, гомогенизация, осветление, студка. В России основу стекольной промышленности представляют 11 заводов, базирующихся на производстве листового стекла.

В сегодняшнее время стекло можно описать, как максимально используемый людьми материал, окружающим нас везде. Эта отрасль характеризуется огромным ассортиментом продукции, потребность в которой в наши дни увеличивается за счет развития других направлений промышленности. Открываются все новые возможности эксплуатации стекла и ситаллов. При этом вовлечение в производственный процесс больших количеств пожаро- и взрывоопасных веществ делает промышленные объекты по производству стекла источниками потенциальной опасности.

Несмотря на проводимый комплекс мероприятий в области промышленной безопасности, полностью исключить вероятность возникновения аварий невозможно.

Таким образом, все действия, основанные на применении современных методов дедукции и индукции, моделирования, системных методов, включающих в себя научно-технические исследования возникновения, развития и последствий возможных аварий по оценке риска на опасных объектах, являются актуальными.

В связи с этим целью настоящей работы является определение типовых сценариев возможных аварий и оценка риска на территории опасного производственного объекта 3 категории ОАО «Саратовский институт стекла». Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- рассмотреть виды продукции стекольной промышленности Российской Федерации;
- разобрать процесс стекловарения и его отдельные этапы;
- изучить сырьевую базу для производства стекла и стеклоизделий;
- определить показатели степени риска ЧС для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения;
- определить возможности возникновения ЧС на опасном объекте;
- оценить возможные последствия ЧС на опасном объекте.

1 Литературный обзор

1.1 Виды продукции стекольной промышленности Российской Федерации

По видам продукции стекольную промышленность Российской Федерации можно разделить на семь секторов (таблица 1), которые тесно связаны друг с другом

Таблица 1 – Виды продукции стекольной промышленности Российской Федерации [1]

Сектор	Производимая продукция
Тарное стекло	стеклянные бутылки, банки, флаконы, аптечная тара
Листовое стекло	листовое флоат-стекло для строительства, автомобилестроения и пр.
Стекловолокно	непрерывное стекловолокно
Сортовое стекло	столовая посуда, емкости для вина и напитков, художественно-декоративные изделия
Специальное стекло	техническое (светотехническое, оптическое. кварцевое), медицинское, термометрическое, химико-лабораторное, растворимое натрий-калий-силикатное
Минеральное волокно	стекловолокно и базальтовое волокно (для стеклотканей, стеклонитей, минеральной ваты и пр.)
Фритты	фритты для глазури и эмалей

1.2 Производство стекла

Стекольная отрасль охватывает широчайшее разнообразие технологических процессов — от мелкосерийного ручного производства до сверхпроизводительного флоат-процесса. Методы производства включают как малые печи с электрическими нагревательными элементами, так и огромные печи с газовым теплоносителем. Стоимость энергии для

стекловарения является второй по величине статьей расходов для стекольных предприятий, что является мощным стимулом разработки энергоэффективных процессов [2].

Производство стекла — энергоемкий процесс, связанный с большим потреблением материалов и как следствие появление выбросов во время подготовки, обработки и использования сырья. Наиболее распространенный и эффективный теплотехнический агрегат для варки стекла – ваннные печи непрерывного действия. Их применяют для варки и выработки листового, сортового, тарного, и других видов стекла.

1.3 Стекловарение и стекломасса

Термический процесс, в результате которого смесь разнородных компонентов шихты образует однородный расплав называется *стекловарением*. Качество стекломассы определяет качество стекла и готового изделия, поэтому при варки листовых стекол большое внимание уделяется качеству стекломассы.

Сырьевые материалы для производства стекла и стеклоизделий условно делят на две группы: основные и вспомогательные

Основные материалы содержат оксиды, образующие основу стекла и определяющие его свойства. Данными оксидами являются: оксиды щелочных металлов, оксиды кальция, магния, алюминия, бора, бария, цинка, свинца и циркония. Вспомогательные материалы представляют собой вещества, которые вводятся для изменения характеристик стекла и ускорения процесса стекловарения (красители, обесцвечиватели, глушители, окислители и восстановители, ускорители варки) [3].

1.4 Обработка сырьевых компонентов для производства стекла

В зависимости от вида и состояния исходных материалов их подвергают различным видам обработки и подготовки (рисунок 1).



Рисунок 1– Схема предварительной обработки сырьевых компонентов для производства стекла [4]

1.5 Процесс стекловарения

Сам процесс стекловарения подразделяют на пять этапов: силикатообразование, стеклообразование, осветление (дегазация), гомогенизация (усреднение), студка (охлаждение) [5].

Разделение процесса стекловарения на пять этапов достаточно условно. В промышленных условиях отдельные этапы накладываются друг на друга и разделить их даже во времени сложно и не всегда возможно. Но в то же время любой ограниченно малый объем шихты обязательно проходит все пять стадий стекловарения.

1.6 Формование стекла

Сам процесс формования стекольных изделий состоит из преобразования тягучей стекломассы в конечное изделие с заданными свойствами [6]. Этого можно добиться, используя внешние силы к выбранному объекту формования, после чего изделие охлаждают, и оно затвердевает.

1.7 Типы стекловаренный печей

В стекольной промышленности используются печи двух типов, которые отличаются между собой характеристиками теплового режима и технологического процесса (таблица 2).

Таблица 2 – Типы стекловаренных печей [7]

Тип печи	Режим работы	Расход топлива, т/сут	Расход тепла, МДж/кг стекломассы	КПД, %
Горшковые	периодический	6–30	20–40	6–8
Ванные	непрерывный, периодический	30–300	8–15	50–80

Если необходимо изготовить стекло, которое будет отличаться хорошей гомогенностью и крайне высокой прозрачностью (например, стекла, используемые в оптических приборах), то стоит использовать горшковые печи. Более совершенным устройством являются ванные печи непрерывного действия.

1.8 Стеклобой

Уделено особое внимание переработке стекла. Отходы стекла (*стеклобой*) могут иметь самое разное происхождение — стеклянные бутылки, разбитые листовые стекла, стекловолокно, брак при производстве зеркального стекла [8]. Проблема сбора и последующей переработки вторичного сырья становится одной из наиболее актуальных для российской экономики.

2 Расчетная часть

2.1 Объект исследования. Характеристика опасного производственного объекта

В качестве изучаемого объект выбран Саратовский институт стекла. Основная продукция-полированное стекло, получаемое методом непрерывного формирования. Технологический цикл непрерывный.

2.2 Методология оценки риска, исходные данные и ограничения для определения показателей степени риска чрезвычайной ситуации

При оценке риска аварий, связанных с повреждением трубопровода использовались методы выделения опасных веществ, методы расчета и модели аварийных процессов.

При оценке риска в исследуемых областях строились все возможные сценарии аварий, которые вызваны всеми возможными событиями запуска (включая оценки ожидаемой частоты событий запуска и оценки потерь, вызванных всеми вариантами, несчастный случай).

Используемый методологический подход предполагал возможность использования разных инструментов (статистика, метод дерева отказов и т. д.) Для идентификации и количественной оценки всех путей (сценариев) для возникновения начальных событий.

2.3 Результаты оценки чрезвычайных ситуаций

2.3.1 Определение типовых сценариев возможных аварий

Исходя из анализа возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий и основываясь на физических свойствах нефтепродуктов и природного газа, конструктивных особенностях оборудования, определены типовые сценарии возможных аварий. В качестве таковых рассмотрены сценарии, сопровождающиеся формированием полей поражающих факторов с риском нанесения экологического, материального и социального ущерба.

2.3.2. Оценка количества опасного вещества, участвующего в аварии

Объем утечки $V_{\text{порыв}}$, соответствующий периоду времени с возникновения аварийной ситуации до момента закрытия отсекающих задвижек газопровода, производится по формуле:

$$V_{\text{порыв}} = G \cdot T_{\text{обнар}} / \rho ,$$

где G – расход газа в соответствии с технологическим режимом, т/мин; $T_{\text{обнар}}$ – суммарное время, затраченное на обнаружение утечки и закрытие кранов, ч (10 минут); ρ – плотность опасного вещества, т/м³ [9].

Данные о количестве опасных веществ, участвующих в аварии для рассматриваемых сценариев, приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Количество опасного вещества, участвующего в аварии

№ сценария	Тип аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, участвующего в аварии	
			в аварии, т	в создании поражающих факторов, т
<i>Группа «А». Разгерметизация газопровода</i>				
А-1	Разгерметизация газопровода в помещении ГРП	ударная волна	0,0056	0,0054
А-2	Разгерметизация газопровода в помещении цеха №1	ударная волна	0,449	0,446
А-3	Разгерметизация газопровода в помещении составного цеха	ударная волна	0,042	0,038
А-4	Разгерметизация газопровода в помещении котельной	ударная волна	0,830	0,830
А-5	Разгерметизация газопровода в помещении цеха №10	ударная волна	0,120	0,105
А-6	Разгерметизация газопровода на территории предприятия вне помещения	загазованность территории	0,221	0,221

2.3.3. Расчет зон действия поражающих факторов

Для оценки опасностей, возникающих на исследуемом объекте в условия чрезвычайной ситуации, были рассчитаны параметры, характеризующие масштабы последствий (зоны полного или частичного разрушения, возможные человеческие поражения и потери).

Избыточное давление ударной волны ΔP , кПа, определяется по следующей формуле:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{R} + \frac{3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{R^2} + \frac{5 \cdot m_{\text{пр}}}{R^3} \right),$$

где P_0 – начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

R – расстояние от центра взрыва газовой смеси, м;

$m_{\text{пр}}$ – масса выброшенного природного газа при аварии, кг [10].

Для оценки энергии, выделяемой при взрыве применяют тротильный эквивалент. В общем виде масса парогазовых веществ, участвующих во взрыве, определяется по формуле:

$$m' = m \cdot z,$$

где m – общая масса газа, кг;

z – коэффициент участия парогазового вещества во взрыве ($z = 0,5$).

Тротильный эквивалент взрыва рассчитывается по формуле (кг):

$$W = \frac{0,4 \cdot q'}{0,9 \cdot q_{\text{T}}} \cdot m',$$

где q' – удельная теплота сгорания метана, кДж/кг (55690 кДж/кг);

q_{T} – удельная энергия взрыва топлива, кДж/кг (4520 кДж/кг);

m' – масса горючего газа, содержащегося в газоздушном облаке, кг.

Размеры зоны (радиус $R_{\text{НКПР}}$ и высота $Z_{\text{НКПР}}$) рассчитываются, учитывая ограничивающие области концентраций, которые превышают нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{\text{НКПР}}$ [11].

Радиус $R_{\text{НКПР}}$, м, находится по формуле:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33},$$

где $m_{\text{Г}}$ – масса газа, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг;

$\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа (берется расчетная температура и атмосферное давление), кг/м³ (0,72 кг/м³);

$C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего газа, % (об.) (по метану 4,4 %).

Высота зоны $Z_{\text{НКПР}}$, м, рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33},$$

Результаты расчёта зон действия поражающих факторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта зон действия поражающего фактора взрыва в помещении

Взрыв природного газа в помещении					
Параметр	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Методики ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ и СП 12.13130-2009					
Кратность воздухообмена, ч ⁻¹	1,14	0,04	1,26	0,15	1,72
Полный объем помещения, м ³	105	29610	11910	990	8731
Свободный объем помещения, м ³	84	23690	9531	792	6985
Производительность вытяжной вентиляции, м ³ /ч	—	—	—	—	15000
Время аварийного выброса, с	12	300	300	300	300
Масса аварийного выброса, кг	5,6	449	42	830	120
Масса ГВС в облаке (при работающей вентиляции), кг	5,4	446	38	830	105
Размеры зоны, ограниченной НКПР, м	7×5×3	70×47×9	74×23×7	20×10,8×4,5	52×23×7,3
Максимальное избыточное давление при сгорании ГВС в помещении, ΔP _{max} , кПа	122,4	35	7,4	618	27,8
Здание теряет взрывоустойчивость ¹⁾	Да	Да	Нет	Да	Да
Степень разрушения здания ²⁾	Полная	Полная	Слабая	Полная	Средняя

2.3.4 Определение частоты и условной вероятности возникновения аварий и построение «дерева событий»

Частота аварий с учетом конструктивных особенностей оборудования, вида хранимого продукта, отраслевой принадлежности и срока эксплуатации, приведена в таблице 5.

Таблица 5 - Частоты основных событий, приводящих к аварии на исследуемом объекте

№ сценария	Тип аварии	Вероятность реализации, год ⁻¹
A-1	Разгерметизация газопровода в помещении ГРП	1,4×10 ⁻⁵
A-2	Разгерметизация газопровода в помещении цеха №1	9,6×10 ⁻⁵

Продолжение таблицы 5

А-3	Разгерметизация газопровода в помещении составного цеха	$7,0 \times 10^{-6}$
А-4	Разгерметизация газопровода в помещении котельной	$1,58 \times 10^{-5}$
А-5	Разгерметизация газопровода в помещении цеха №10	$2,46 \times 10^{-5}$
А-6	Разгерметизация газопровода на территории предприятия вне помещения	$8,76 \times 10^{-5}$

Условные вероятности, характеризующие последовательность дальнейшего развития аварийной ситуации на ОАО «Саратовский институт стекла» для рассматриваемых сценариев, определялись с использованием метода построения дерева событий, рисунок 2

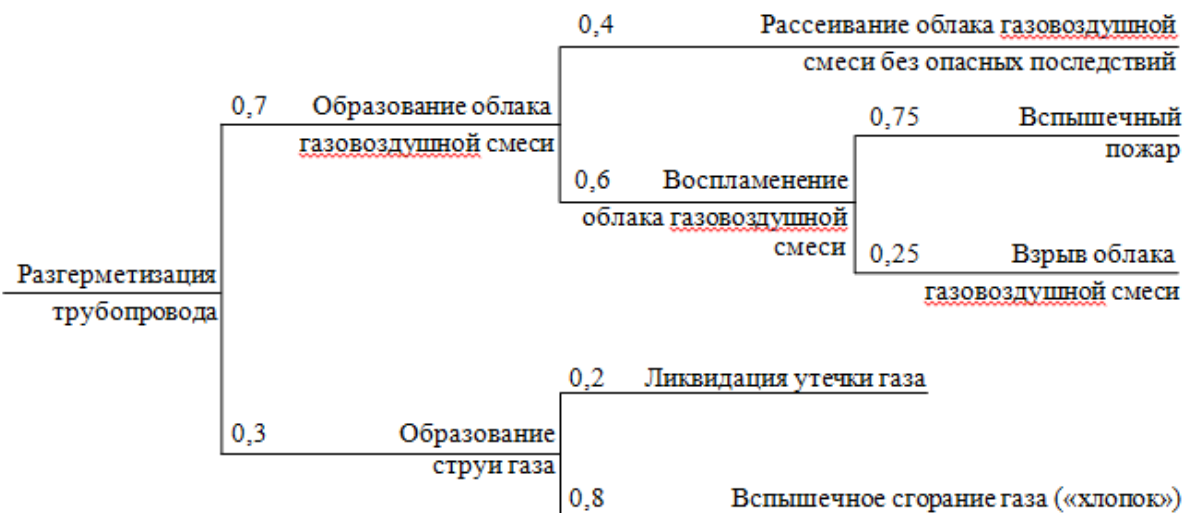


Рисунок 2 – Дерево событий по группе сценариев А

Частоты возникновения и развития сценариев аварий на ОАО «Саратовский институт стекла» с учётом приведенных выше данных и на основе анализа дерева событий представлены в таблице 6

Таблица 6 – Частоты возникновения аварий на исследуемом объекте

Сценарии		Частота реализации, год ⁻¹
Группа «А». Разгерметизация газопровода	А-1	$1,47 \times 10^{-6}$
	А-2	$1,0 \times 10^{-5}$
	А-3	$7,35 \times 10^{-7}$
	А-4	$1,67 \times 10^{-6}$
	А-5	$2,58 \times 10^{-6}$
	А-6	$2,45 \times 10^{-5}$

2.3.5 Определение показателей риска

Выполнена оценка возможного числа пострадавших и возможного ущерба на территории ОАО «Саратовский институт стекла» и прилегающей к ней территории при реализации групп сценариев А. Результаты оценки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты оценки возможного числа пострадавших и возможного ущерба

№ сценария	Частота реализации сценария, год ⁻¹	Кол-во рискующих, чел.	Количество, чел.		Материальный ущерб, тыс. руб.	Ожидаемый социальный ущерб в денежном эквиваленте, руб./год	Ожидаемый материальный ущерб, руб./год
			Погибших	Раненых			
А-1	$1,47 \times 10^{-6}$	—	—	—	450	—	0,66
А-2	$1,0 \times 10^{-5}$	84	35	7	7378,3	848,75	73,78
А-3	$7,35 \times 10^{-7}$	14	—	1	390,4	1,47	0,29
А-4	$1,67 \times 10^{-6}$	3	3	—	190,34	10,15	0,32
А-5	$2,58 \times 10^{-6}$	10	2	1	780,87	15,61	2,01
А-6	$2,45 \times 10^{-5}$	—	—	—	0,4	—	0,0098

ВЫВОДЫ

- Рассмотрены и изучены различные виды продукции стекольной промышленности Российской Федерации.

- Подробно разобран процесс стекловарения и его отдельные этапы, изучены схемы и принципы работы различных видов стекловаренных печей: горшковых и ваннных. Приведен подробный разбор выбора параметров стекловаренных печей в зависимости от вида получаемой стекольной продукции.

- Произведен анализ возможных причин возникновения и развития аварийных ситуаций с учетом отказов и неполадок оборудования, оценена их вероятность проявления с наиболее тяжелыми последствиями на ОАО «Саратовский институт стекла».

- Найдена величина коллективного риска для персонала ОАО «Саратовский институт стекла», расчеты картирования индивидуального риска показали, что вероятность поражения населения и производственного персонала других организаций пренебрежимо мала и значительно ниже приемлемого уровня риска 10^{-9} год⁻¹.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник. Наилучшие доступные технологии в производстве стекла. Москва: Стандартиформ, 2015. 804 с.
2. Строганова, Е. Е. Производство стекла / Е. Е. Строганова, К. А. Щелчков // Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий. – Москва, Санкт-Петербург : Центр экологической промышленной политики, 2019. – С. 419-454.
3. Жерновая, Н.Ф. Физико-химические основы технологии стекла и стеклокристаллических материалов: учебно-практическое пособие / Н. Ф. Жерновая, В. И. Онищук, Н. И. Минько. – Белгород: изд-во БегГТАСМ, 2001. – 101 с.
4. Папко, Л. Ф. Химическая технология стекла и ситаллов : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов» / Л. Ф. Папко, М. В. Дяденко. – Минск : БГТУ, 2017 – 150 с.
5. Сулименко, Л. М. Общая технология силикатов: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 336 с.
6. Баранова-Шишкова, Л. И. Техногенное воздействие производства хрусталя и стекла / Л. И. Баранова-Шишкова, Е. А. Звонарева, К. С. Симпольская // Актуальные вопросы современной науки : Сборник статей по материалам XIII международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Томск, 19 июня 2018 года. Том Часть 1. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 182-186.
7. Кличова, Ш. А. Особенности современных стекловаренных печей / Ш. А. Кличова // Вестник науки. 2023. №10 (67).
8. Шишакина, О. А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов / О. А. Шишакина, А. А.

Паламарчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 4. – С. 198-203.

9. СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».

10. Шебеко, А. Ю. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / А.Ю. Шебеко. М.: ВНИИПО, 2015. – 230 с.

11. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3 кн. Кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / под общ. ред. С. К. Шойгу. М.: ЗАО «Папирус», 1998 г. 166 с.

12. Кокс Д., Хинкли Д. Теоретическая статистика: Пер. с англ. М.: Мир, 1978 г. 560 с.