

Моделирование и прогноз вероятности аварии при хранении больших объемов СПГ

Разделы доклада:

- 1. Общие принципы исследования процесса возникновения аварий с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево».**
- 2. Обоснование актуальности и уточнение характеристик исследуемого объекта .**
- 3. Построение «дерева происшествия».**
- 4. Системный анализ «дерева происшествия» при помощи ПК АРБИТР.**
- 5. Обоснование мероприятий по снижению ожидаемого среднего ущерба**

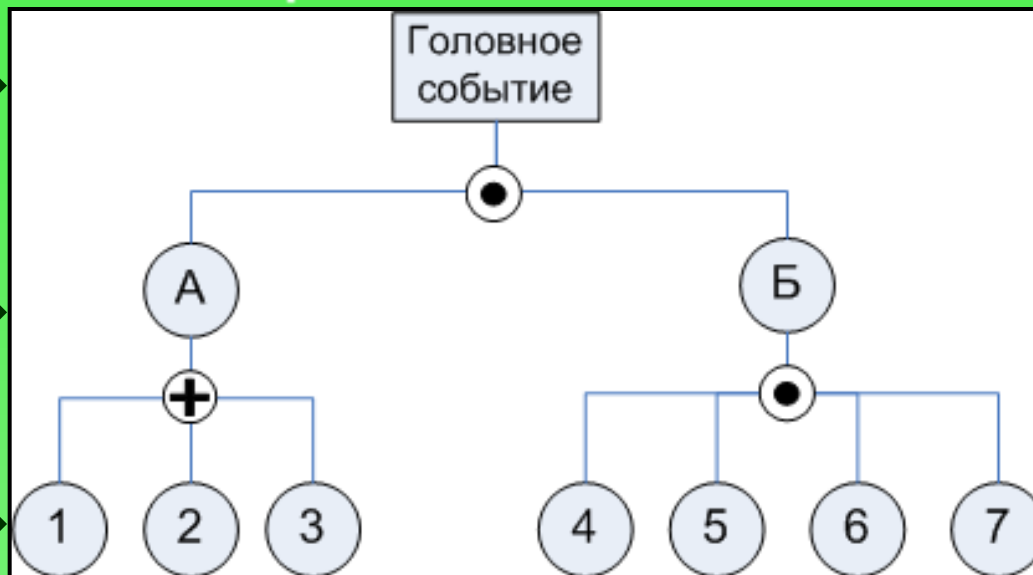
**Епишкин Евгений Викторович ,
студ. МАТИ – РГТУ им. К.Э. Циолковского.
djoss210@mail.ru, 8-9268720475 моб.**

1. Общие принципы исследования процесса возникновения аварий с помощью диаграмм причинно-следственных связей типа «дерево происшествия»

Исследуемое событие

Промежуточные предпосылки

Исходные предпосылки



Предпосылки происшествия
выявляются дедуктивно-
аксиоматическим методом

Количественный анализ «дерева происшествия»:

1. Объединенные логическим условием "и" n предпосылок заменяют одним событием с вероятностью появления - P_K (конъюнкция - $\wedge$ $\oplus$), равной:

$$P_K = P_1 P_2 P_3 = P_A .$$

2. Соединенные логическим условием "или" m предпосылок заменяют одним событием с вероятностью P_D (дизъюнкция - $\vee$ $\odot$), равной:

$$P_D = 1 - (1 - P_4)(1 - P_5) \dots (1 - P_7) = P_B .$$

2.1 Обоснование актуальности исследования



- Строительство новых заводов (в том числе в России – Сахалин 2, проектирование Штокмановского ГКМ)
- Рост рабочих объемов резервуаров для хранения СПГ
- Рост мирового потребления СПГ растет на 10 % в год (газопроводного лишь на 2,4%)
- К 2030 году на долю СПГ придется уже 60%, что будет соответствовать 18-20% в общем объеме потребляемого на Земном шаре природного газа.

- Возможность реализации большого количества СПГ в любую точку мира
- Отсутствие многокилометровых газопроводов
- Высокая рентабельность заводов СПГ



2.2 Крупные аварии на хранилищах СПГ

21 августа
1971 г.,

Ла Специя, Италия

По оценкам экспертов объем утечки паров СПГ из резервуара составил около 2000 тонн.



10 февраля 1973 г., Статен Айленд, США
В результате пожара погибли сорок человек и три человека пострадали.

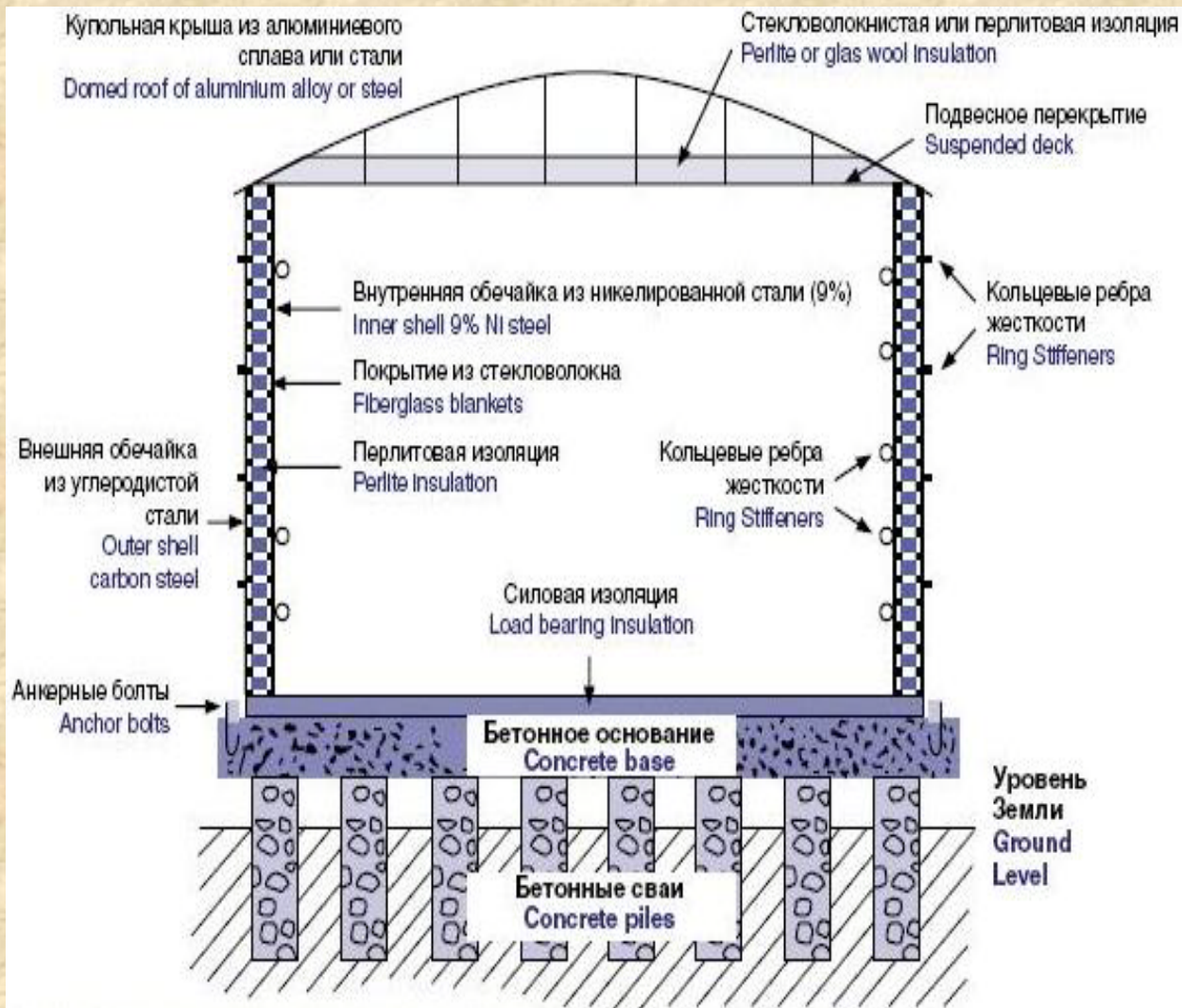


20 октября 1944 года,

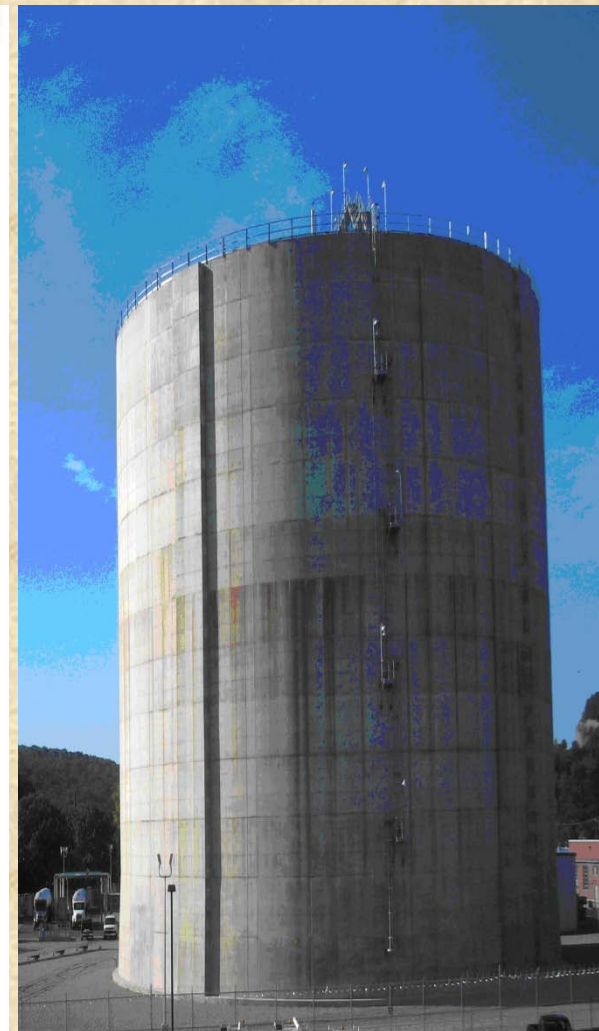
г.Кливленд, шт. Огайо, США

В результате аварии погибло 128 человек, и около 225 получили ранения. Пострадали завод и прилегающая часть города.

2.3 Схематическое изображение конструкции резервуара



Не показаны: Трубная обвязка для налива и слива, насосы, измерительное оборудование, смотровые люки, защита от гидроудара и дефлекторы
 Not Shown: Loading and unloading pipework, pumps, measuring equipment, inspection manholes, surge and splash plates



2.4 Основные параметры хранилища

Наименование параметра	Значения параметров
Параметры резервуара	
Диаметр резервуара:	
внутренний	38 м
внешний	40 м
Высота резервуара	
внутренний	74 м
внешний	77 м
Объем резервуара СПГ	160 000 м ³
Параметры хранения	
Температура хранения	-160 С
Давление хранения	2...5 кПа (изб.)

3.1 Построение «дерева происшествия»

Анализ основных
опасностей при
эксплуатации
хранилищ

Моделирование
процесса возникновения
аварии

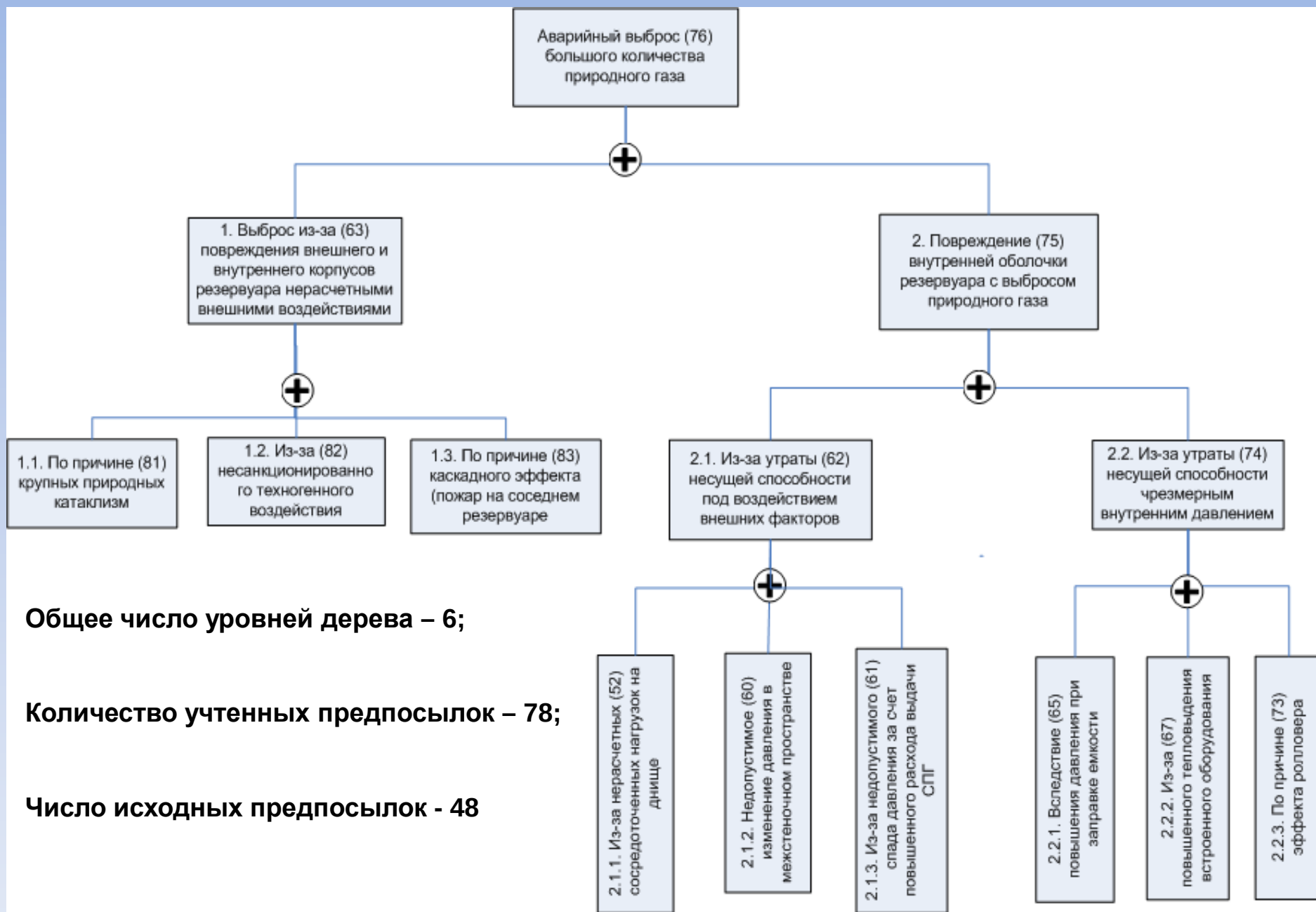
Анализ систем
обеспечения
безопасности

Анализ процессов
протекающих при
хранении СПГ

Детальный анализ
конструкции
резервуара

Учитываемые факторы и этапы моделирования

3.2 Моделируемое событие и предпосылки верхних уровней



3.3 Исходные предпосылки «дерева происхождения»

№	Описание происшествия	Вероятность события, 1/год
1	Сейсмическое воздействие	$1 \cdot 10^{-5}$
2	Падение метеорита	$1 \cdot 10^{-6}$
3	Аэродинамическое воздействие	$1 \cdot 10^{-6}$
4	Гидродинамическое воздействие	$1 \cdot 10^{-5}$
5	Падение летательного аппарата	$2 \cdot 10^{-5}$
6	Применение конденсированного взрывчатого вещества	$3 \cdot 10^{-4}$
7	Критический тепловой поток со стороны соседнего резервуара	$3 \cdot 10^{-3}$
8	Отказ тепловых датчиков	$5,6 \cdot 10^{-2}$
9	Отказ устройств управления системы орошения резервуара	$1 \cdot 10^{-3}$
10	Отказ системы подачи воды	$2 \cdot 10^{-3}$
11	Возникновение малой утечки СПГ из-за негерметичности сварных швов днища	$1 \cdot 10^{-3}$
12	Пассивная защита днища от разгерметизации плохо выполнена	$2 \cdot 10^{-2}$
13	Внезапное образование трещин в фундаменте	$3 \cdot 10^{-2}$
14	Заполнение трещин фундамента влагой	$1 \cdot 10^{-1}$
15	Отказ системы подогрева грунта	$4 \cdot 10^{-3}$
16	Сейсмическое воздействие способное повредить внутренний резервуар	$1 \cdot 10^{-4}$
17	Отказ датчиков фиксирующих давление в резервуаре	$8,5 \cdot 10^{-2}$
18	Отказ управляющих устройств системы предотвращения уменьшения давления	$3,1 \cdot 10^{-3}$
19	Отказ системы подачи азота в резервуар	$1 \cdot 10^{-2}$
20	Резкое увеличение атмосферного давления	$1 \cdot 10^{-2}$
21	Отказ датчиков фиксирующих давление в резервуаре	$8,5 \cdot 10^{-2}$
22	Отказ управляющих устройств системы предотвращения увеличения давления	$3,1 \cdot 10^{-3}$
23	Отказ клапана отвода газа в обратное использование	$4 \cdot 10^{-3}$
24	Отказ датчиков фиксирующих давление в резервуаре	$8,5 \cdot 10^{-2}$

3.4 Исходные предпосылки «дерева происшествия»

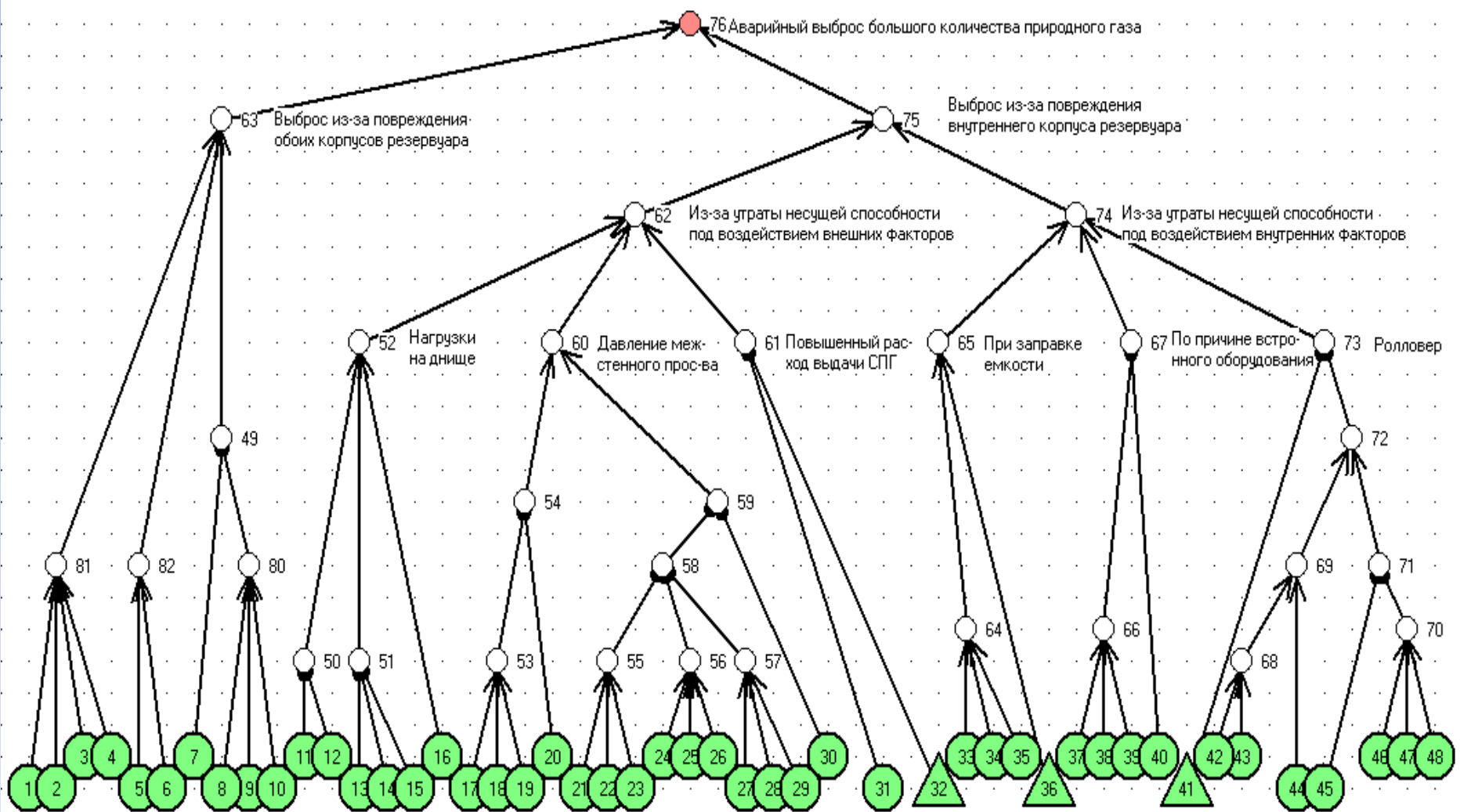
№	Описание происшествия	Вероятность события, 1/год
25	Отказ управляющих устройств системы предотвращения увеличения давления	3,1*10-3
26	Отказ клапана отвода газа на факел	4*10-3
27	Отказ датчиков фиксирующих давление в резервуаре	8,5*10-2
28	Отказ управляющих устройств системы предотвращения увеличения давления	3,1*10-3
29	Отказ клапана сброса газа в атмосферу	3*10-3
30	Резкое уменьшение атмосферного давления	1*10-2
31	Повышенный расход выдачи СПГ насосом	3,1*10-3
32	Отказ системы предупреждения уменьшения давления	экв.
33	Отказ датчиков уровня СПГ	8,8*10-2
34	Отказ управляющих устройств системы предотвращения перелива СПГ	3,1*10-3
35	Отказ автоматического выключателя насоса	1,8*10-2
36	Отказ системы предупреждения увеличения давления	экв.
37	Отказ датчиков МТЗ	8,8*10-2
38	Отказ управляющих устройств системы защиты от перегрева оборудования	1,8*10-3
39	Отказ устройств отключения электроэнергии	3,1*10-3
40	Замыкание ТВЧ	3*10-3
41	Отказ системы предупреждения увеличения давления	экв.
42	Отказ датчиков фиксирующих температуру СПГ	8,9*10-2
43	Отказ управляющих устройств системы предотвращения ролловера	2,4*10-3
44	Невыполнение команды системы предотвращения ролловера	2*10-2
45	Возникновение явления ролловера	2,1*10-2
46	Отказ датчиков фиксирующих температуру СПГ	8,0*10-2
47	Отказ управляющих устройств системы предотвращения ролловера	2,4*10-3
48	Отказ насоса системы предотвращения ролловера	8,3*10-2

4.1 Базовые обозначения в ПК «АРБИТР»

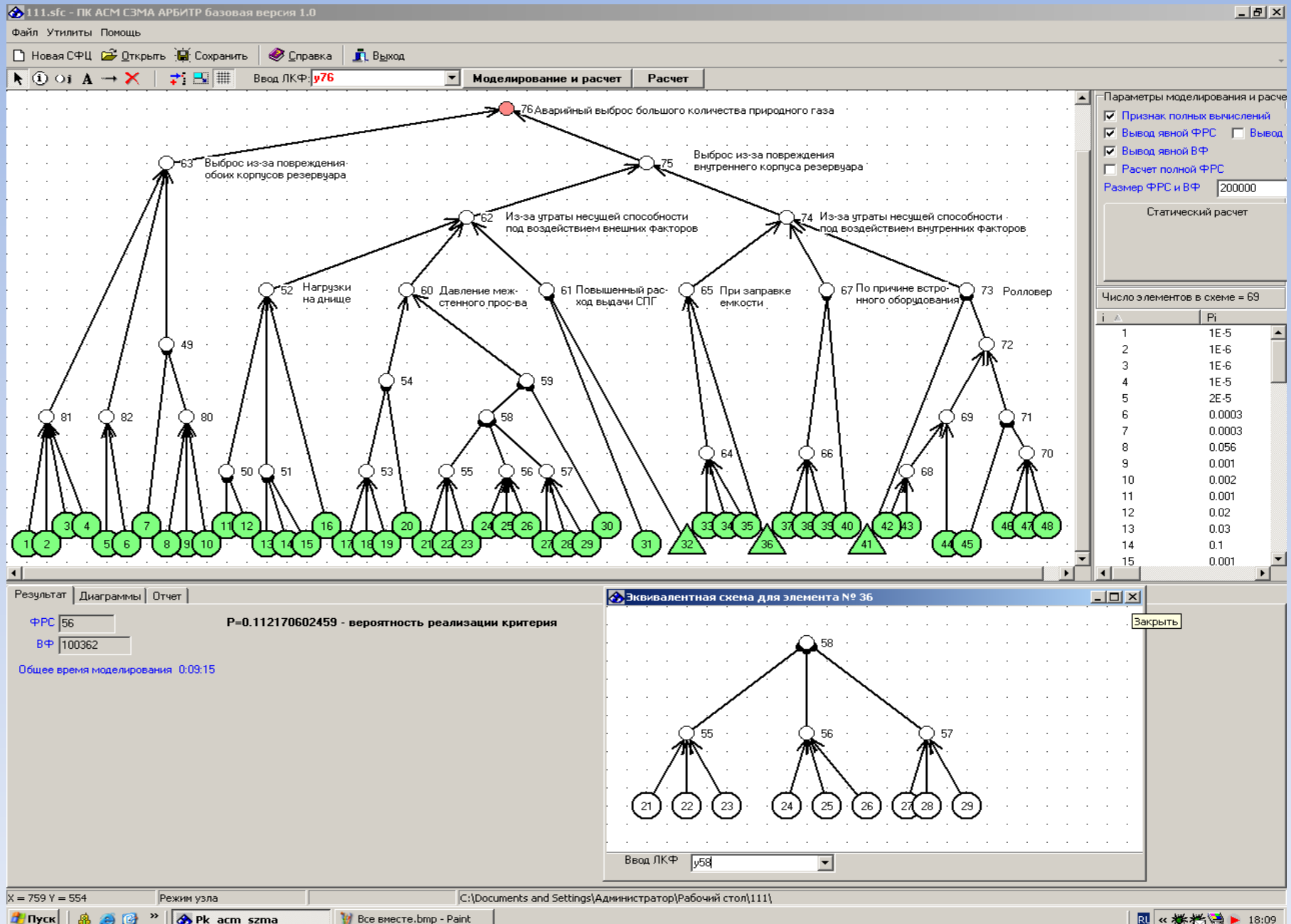
Для построения имеющегося дерева происшествия в программном комплексе «АРБИТР» используется окно ввода схем функциональной целостности (СФЦ). Во время ввода и редактирования СФЦ в ПК используются следующие основные графические объекты:

- функциональная вершина, которая на графе СФЦ представляет элементы системы (исходные предпосылки);
- фиктивная вершина, используется для представления промежуточных предпосылок и головного события дерева;
- соединительное ребро, которое представляет в СФЦ логические связи и отношения между элементами и подсистемами (конъюнкция, дизъюнкция, инверсия);
- эквивалентированная функциональная вершина, которая представляет в основном графе СФЦ подсистему, состав элементов и структура которой описываются с помощью отдельного подграфа СФЦ второго уровня;
- пояснительный текст, с помощью которого в СФЦ системы представляются различные заголовки, комментарии и пояснения.

4.2 Представление дерева происхождения в виде СФЦ



4.2 Расчет вероятности реализации головного события



4.3 Диаграммы значимостей исходных предпосылок



№	Описание происшествия
1	Сейсмическое воздействие
2	Падение метеорита
3	Аэродинамическое воздействие
4	Гидродинамическое воздействие
5	Падение летательного аппарата
6	Применение конденсированного взрывчатого вещества
16	Сейсмическое воздействие способное повредить внутренний резервуар
33	Отказ датчиков уровня СПГ
34	Отказ управляющих устройств системы предотвращения перелива СПГ
35	Отказ насоса
36	Отказ системы предупреждения увеличения давления

Вероятность аварии с
большим выбросом
природного газа – 0,11217

Ожидаемый средний
ущерб от аварии –
 $156,7 \cdot 10^6$ \$

5.1 Обоснование мероприятий по снижению среднего ожидаемого ущерба

№ предпосылки	4	5	33	34
Наименование предпосылки	Гидродинамическое воздействие	Падение летательного аппарата	Отказ датчиков уровня	Отказ управляющих устройств системы защиты от перелива
Исходная вероятность предпосылки	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Мероприятия	Установка волнореза	Установка ЗРК	Резервирование	Резервирование
Вероятность предпосылки после мероприятий	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$7,744 \cdot 10^{-3}$	$9,61 \cdot 10^{-6}$
Вероятность головного события после мероприятий	0,11216	0,11216	0,03400	0,10942
Затраты на мероприятия, \$	330000	40000	7000	30000
Изменение вероятности головного события	0,00001	0,00001	0,07817	0,00275
Изменение среднего ожидаемого ущерба, \$	1567	1567	$12,25 \cdot 10^6$	430945
Эффективность	210,6	25,5	$5,71 \cdot 10^{-8}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$

5.2 Оценка результатов применения наиболее экономически выгодных мероприятий



Вероятность аварии с выбросом большого количества природного газа после комплексного применения экономически обоснованных мероприятий – 0,03125

Снижение ожидаемого среднего ущерба от аварии – $12,681 \cdot 10^6$ \$



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ
РАД ОТВЕТИТЬ НА ВАШИ
ВОПРОСЫ