

***Факторы неопределенности анализа
риска аварий нефтегазовых опасных
производственных объектов. Влияние
перетоков от смежного оборудования и
запорной/отсекающих устройств на
расчет массы выброса опасных
веществ***

Швыряев А.А.

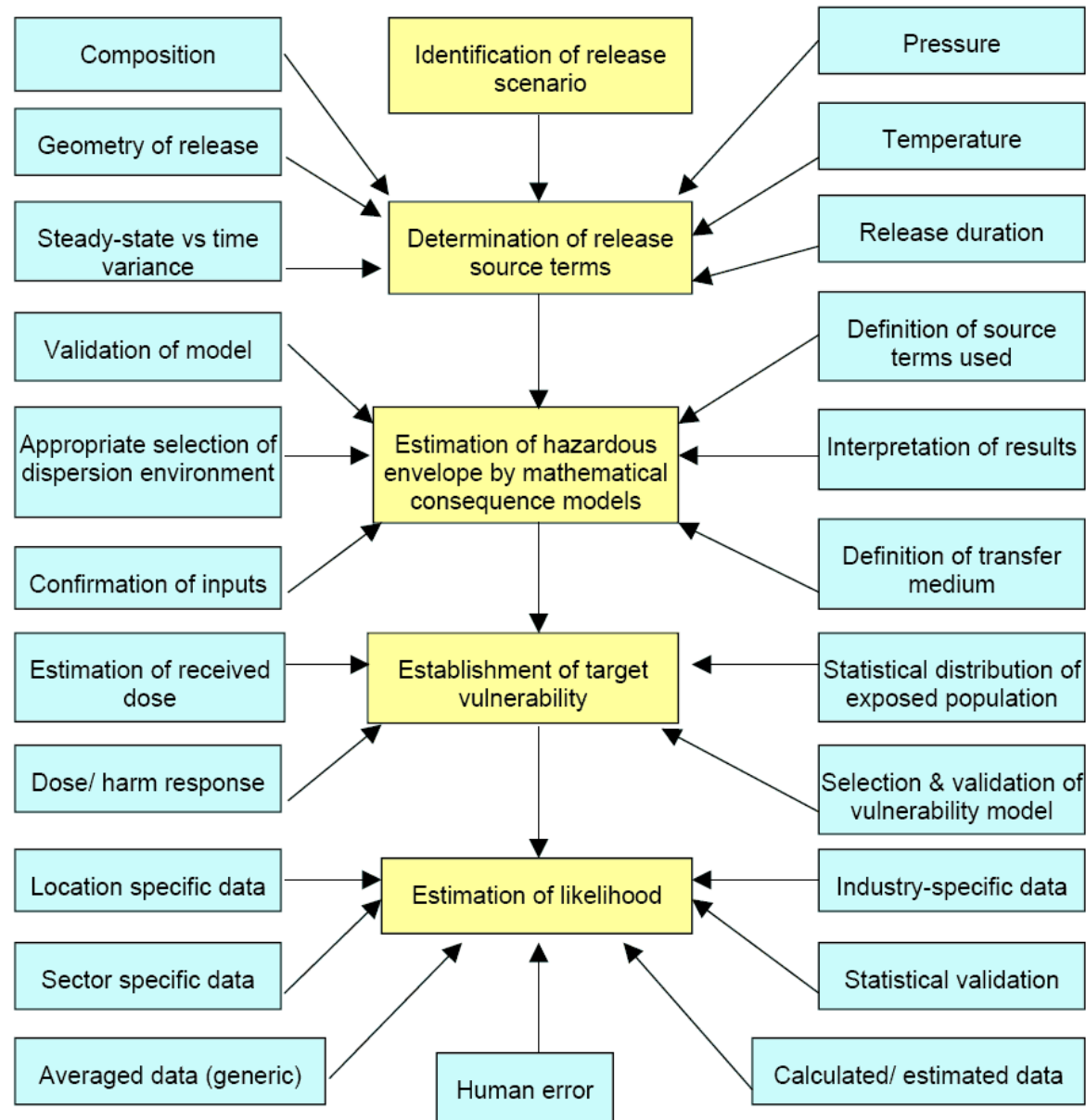
(МГУ им. М.В.Ломоносова, Химический ф-т)

ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»

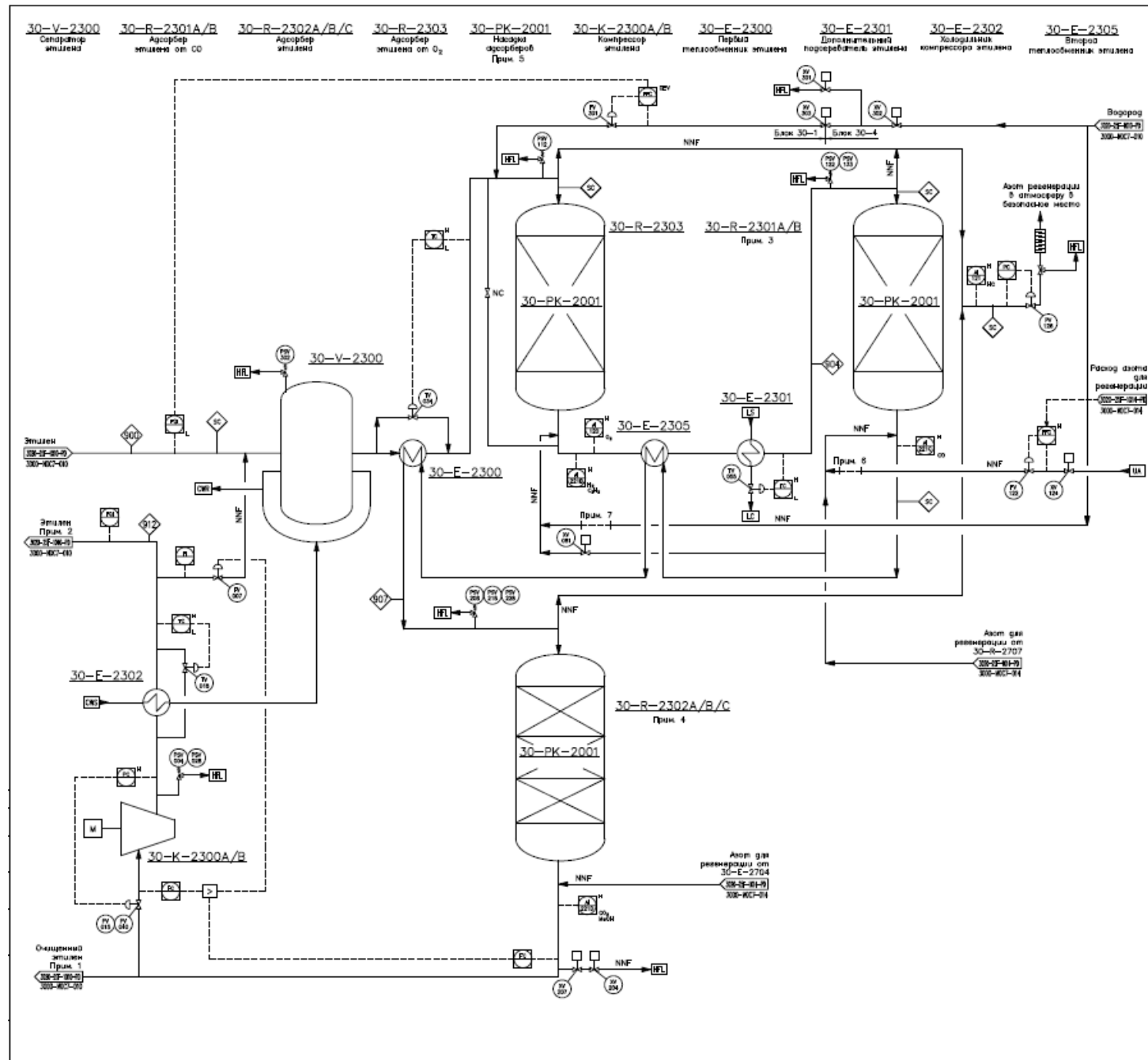
Существует множество неопределенностей, связанных с оценкой риска. Понимание неопределенностей и вызывающих их причин необходимо для эффективной интерпретации значений риска. Анализ неопределенностей, связанных с используемыми данными, методами и моделями, применяемыми для оценки ожидаемого риска, играет существенную роль. Анализ неопределенностей предусматривает определение изменений и неточностей в результатах моделирования, которые являются следствием отклонения параметров и предположений, применяемых при построении модели. Областью, тесно связанной с анализом неопределенностей, является анализ чувствительности. Анализ чувствительности подразумевает определение изменений в реакции модели на отклонения отдельных параметров модели. Оценка неопределенности состоит из преобразования неопределенности критических параметров модели в неопределенность результатов в соответствии с моделью риска. Требования к полноте и точности оценки риска должны быть сформулированы настолько полно, насколько это возможно. Там, где это возможно, должны быть выявлены источники неопределенности. Это относится как к **неопределенностям данных**, так и к **неопределенностям модели**. Должны быть точно определены те параметры, к которым чувствителен анализ.

Guideline for the Treatment of Uncertainty in Risk-Informed Applications:
Applications Guide. EPRI, Palo Alto, CA: 1013491. Final Report, October 2006

- неопределенность параметров
- неопределенность моделей
- неопределенность знаний



Некоторые источники неопределенности при анализе риска
HSE Information sheet Guidance on Risk Assessment for Offshore Installations
Offshore Information Sheet No. 3/2006



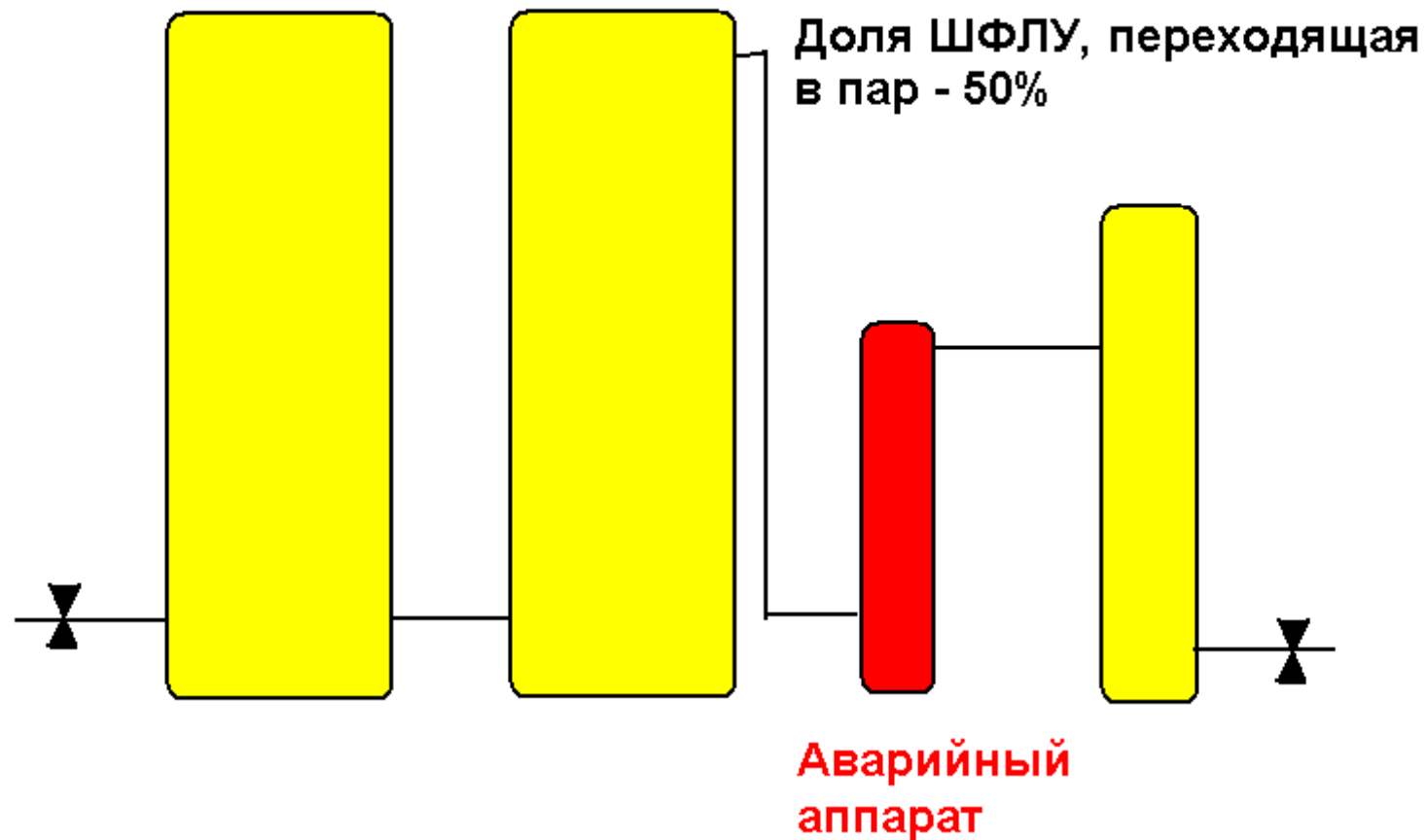
Технологический блок – совокупность аппаратов, выполняющих заданную технологическую функцию, при аварии блок изолируется автоматическими быстродействующими запорными и (или) отсекающими устройствами (1 категория взрывоопасности – 12 с, 2 – 120 с).

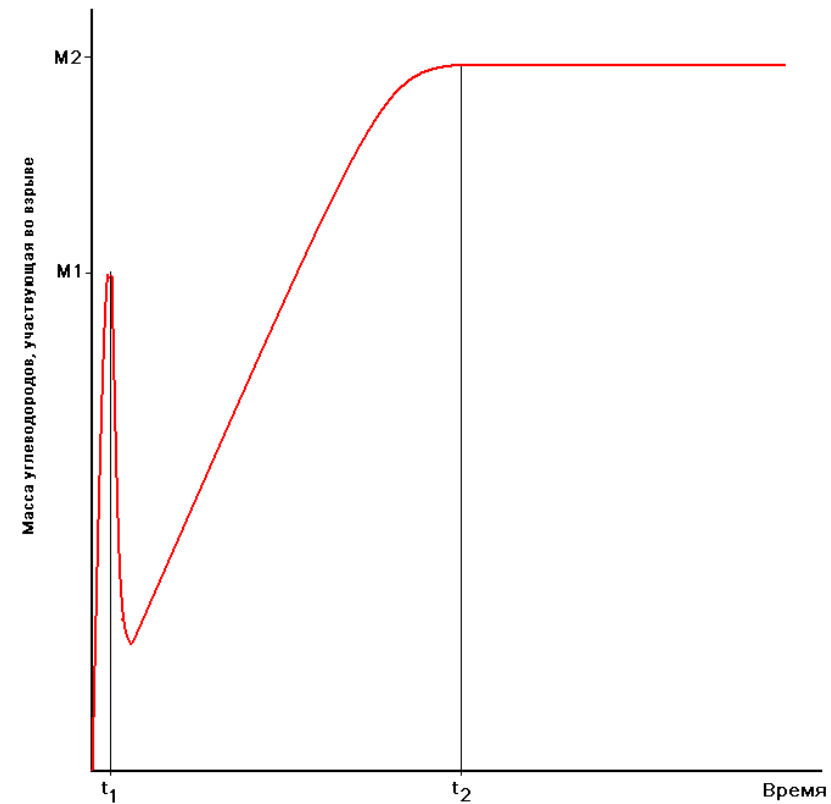
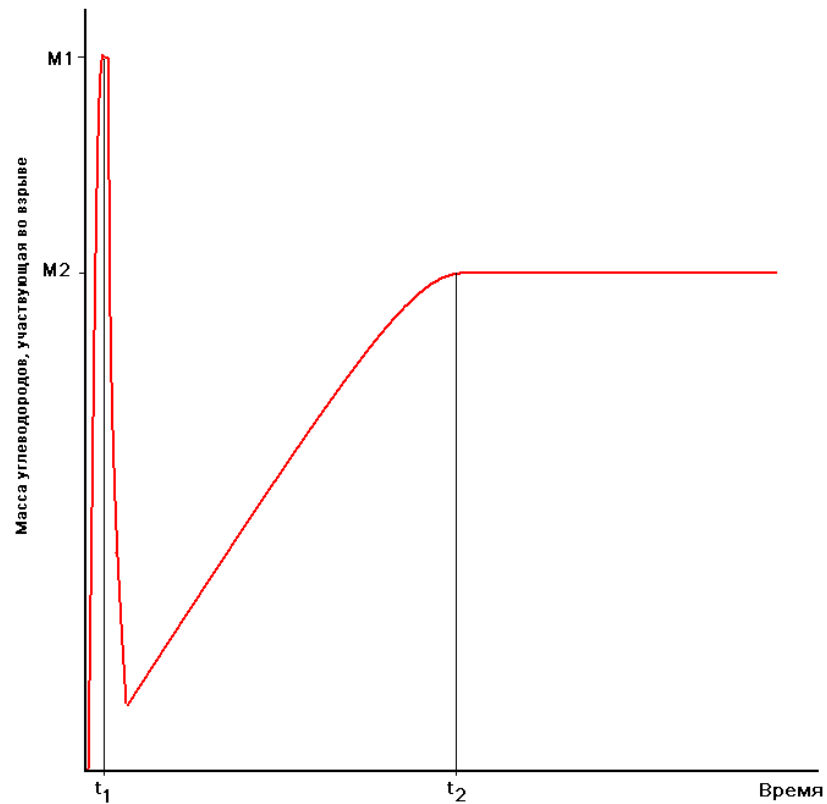
Рассматриваемый вариант аварийного блока

Масса ШФЛУ в блоке - 100 т

Масса ШФЛУ в аварийном аппарате - 3 т

Начальная скорость истечения - 100 кг/с





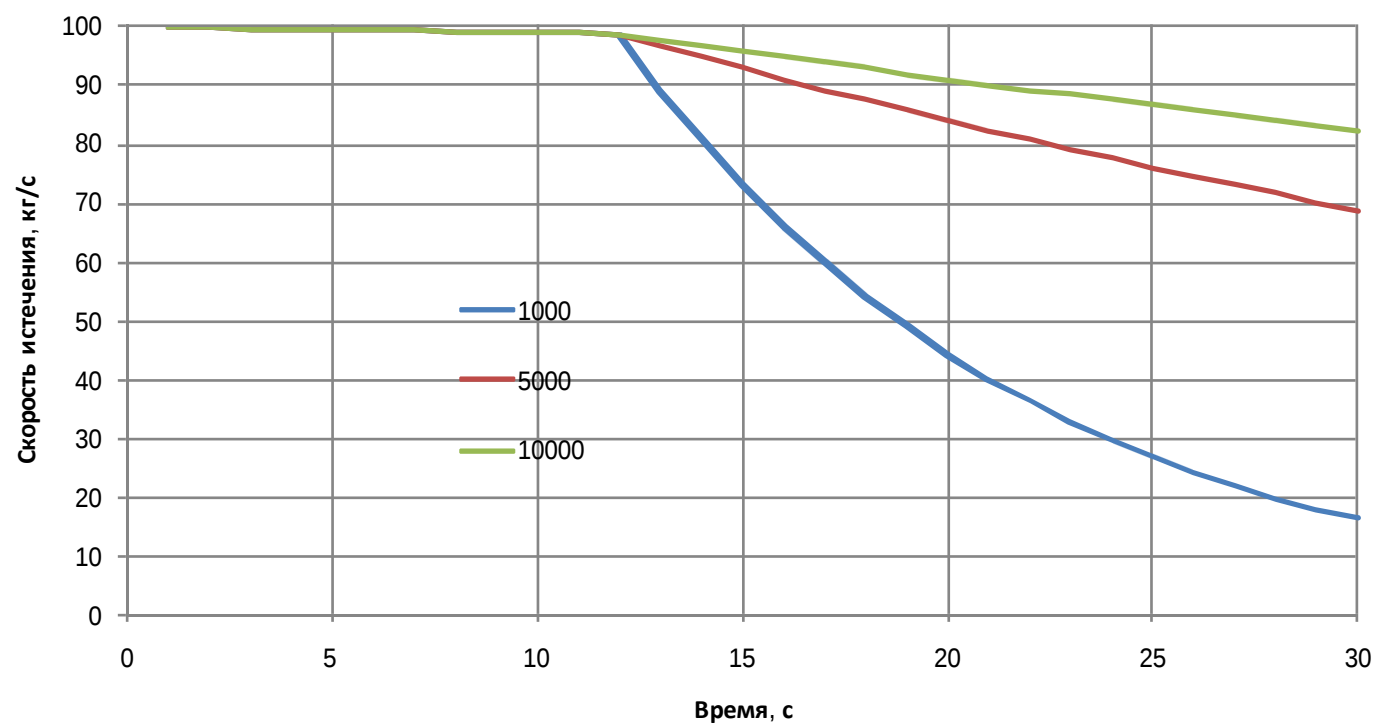
Варианты динамики изменения взрывоопасной массы при сценарии полного разрушения аппарата

Формирование расчетного сценария для оценки последствий взрыва

Метеоусловия		Выброс 50 кг/с			Суммарный			Выброс 1500 кг		
Класс устойчивости атм.	U, м/с	-X, м	+X, м	Мпр, кг	-X, м	+X, м	Мрас, кг	-X, м	+X, м	Ммг, кг
F	1	0	124	4404	0	124	4404	79	107	475
F	2	0	100	1896	0	100	1896	54	100	464
E	2	0	75	998	0	75	998	39	90	478
D	1	0	92	1993	0	92	1993	56	96	439
D	2	0	72	748	0	72	748	31	90	462
D	5	0	51	200	10	94	439	10	94	439
D	10	0	43	80	6	108	463	6	108	463
C	2	0	62	651	0	62	651	31	84	452
C	5	0	45	175	10	87	460	10	87	460
B	1	0	63	1275	0	63	1275	49	82	464
B	2	0	48	463	2	48	463	28	75	430

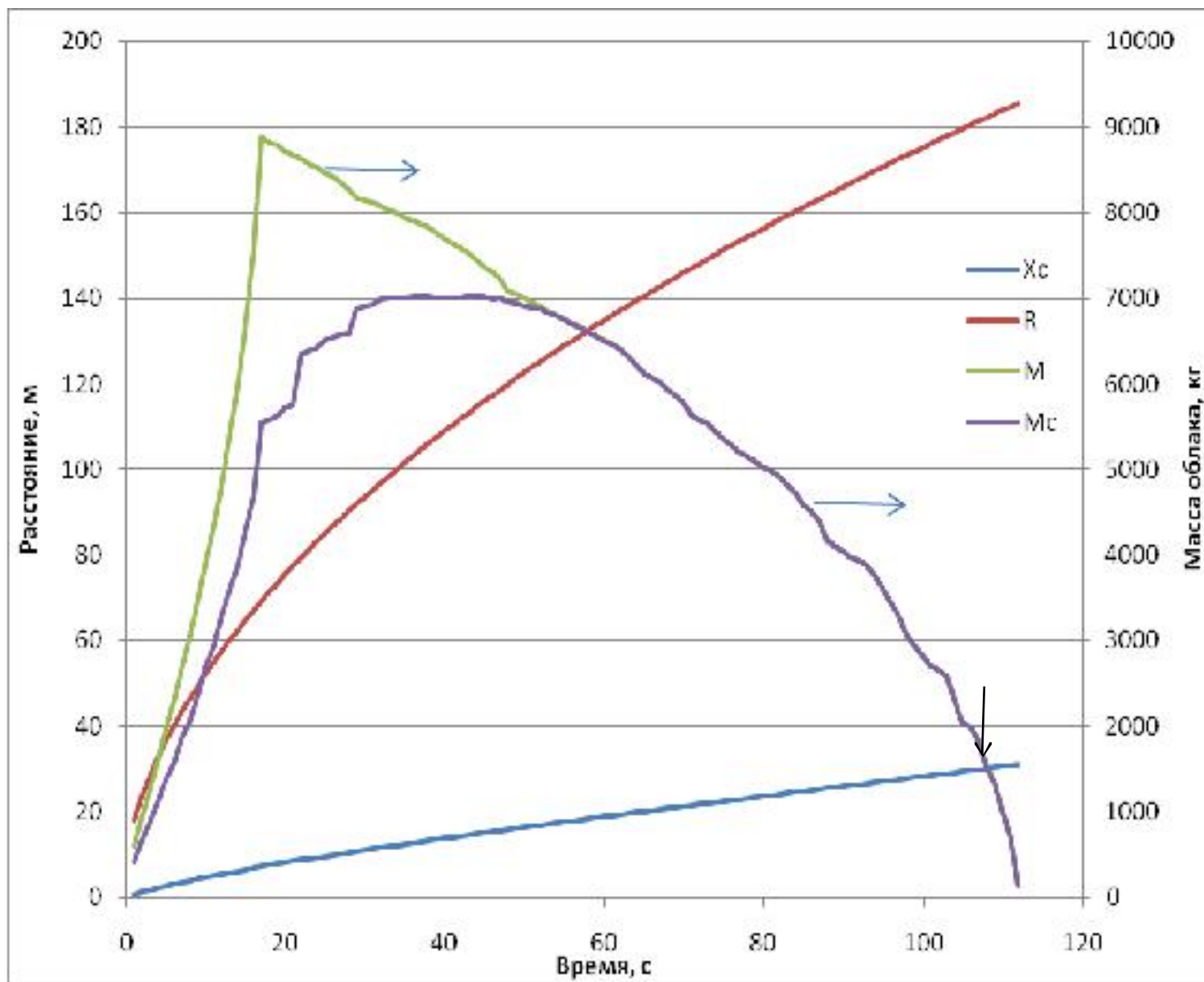
Зависимость $Q_{\text{МГ}}$, $Q_{\text{ПВ}}$, $Q_{\text{ИД}}$ от расхода истекающего продукта

G, кг/с	$Q_{\text{МГ}}$	$Q_{\text{ПВ}}$	$Q_{\text{ИД}}$
Малый (<1)	0,005	0,005	0,080
Средний (1-50)	0,035	0,036	0,240
Большой (>50)	0,150	0,176	0,600
Полный разрыв	0,200	0,240	0,600

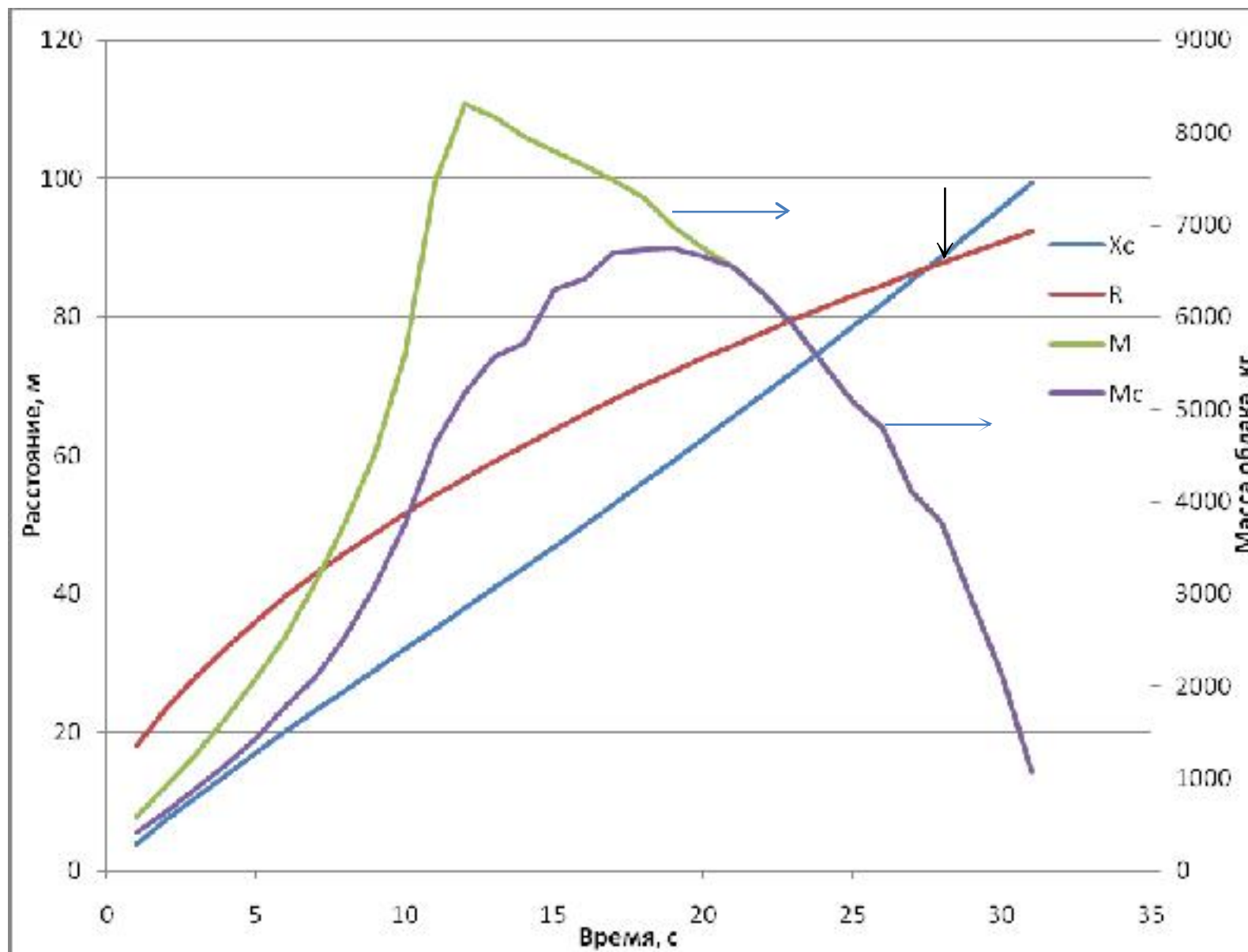


Скорость истечения в зависимости от массы в блоке на 12 сек.

$$Q = Q_0 \cdot \exp(-Q_0 / M_{\text{блок}} \cdot t)$$



Изменение характеристик при дрейфе облака ТВС (10 тонн пропана) при метеоусловиях F1. X_c – смещение центра облака ТВС, R – радиус облака, M – масса облака, M_c – скорректированная масса облака. Стрелка показывает X_{cm} .



Изменение характеристик при дрейфе облака ТВС (10 тонн пропана) при метеоусловиях D5. X_c – смещение центра облака ТВС, R – радиус облака, M – масса облака, M_c – скорректированная масса облака. Стрелка показывает X_{cm} .

Общий алгоритм учета притока ОВ из смежных аппаратов и трубопроводов при аварийной разгерметизации блока

Предположения:

1. Аварийная разгерметизация происходит при мгновенном разрушении технологического оборудования. При этом считается, что меры и технические средства противоаварийной защиты сработают штатно и произойдет отключение аварийного блока за время $t_{\text{блок}}$, определяемого категорией технологического блока.
 2. Технические средства противоаварийной защиты сработают штатно и произойдет перенаправление потоков ОВ на факел.
 3. $t_{\text{блок}}$ определен в ФНП ОПВБ
 4. Считается, что парогазовая фаза из разрушенного оборудования расширяется адиабатически не смешиваясь с воздухом (консервативный вариант).
 5. Выброс парогазовой фазы происходит под давлением. По этой причине рассеяние примеси в атмосфере будет определяться моделью струевого выброса, которая позволяет рассчитать распределение концентрации в пространстве.
- $M_g(Q_{\text{пгф}})$ – это масса струевого облака между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости для струевого истечения газа со скоростью $Q_{\text{пгф}}$. Эта масса не зависит от состояния атмосферы и скорости ветра.
6. Толщина слоя разлива жидкости не более 50 мм.

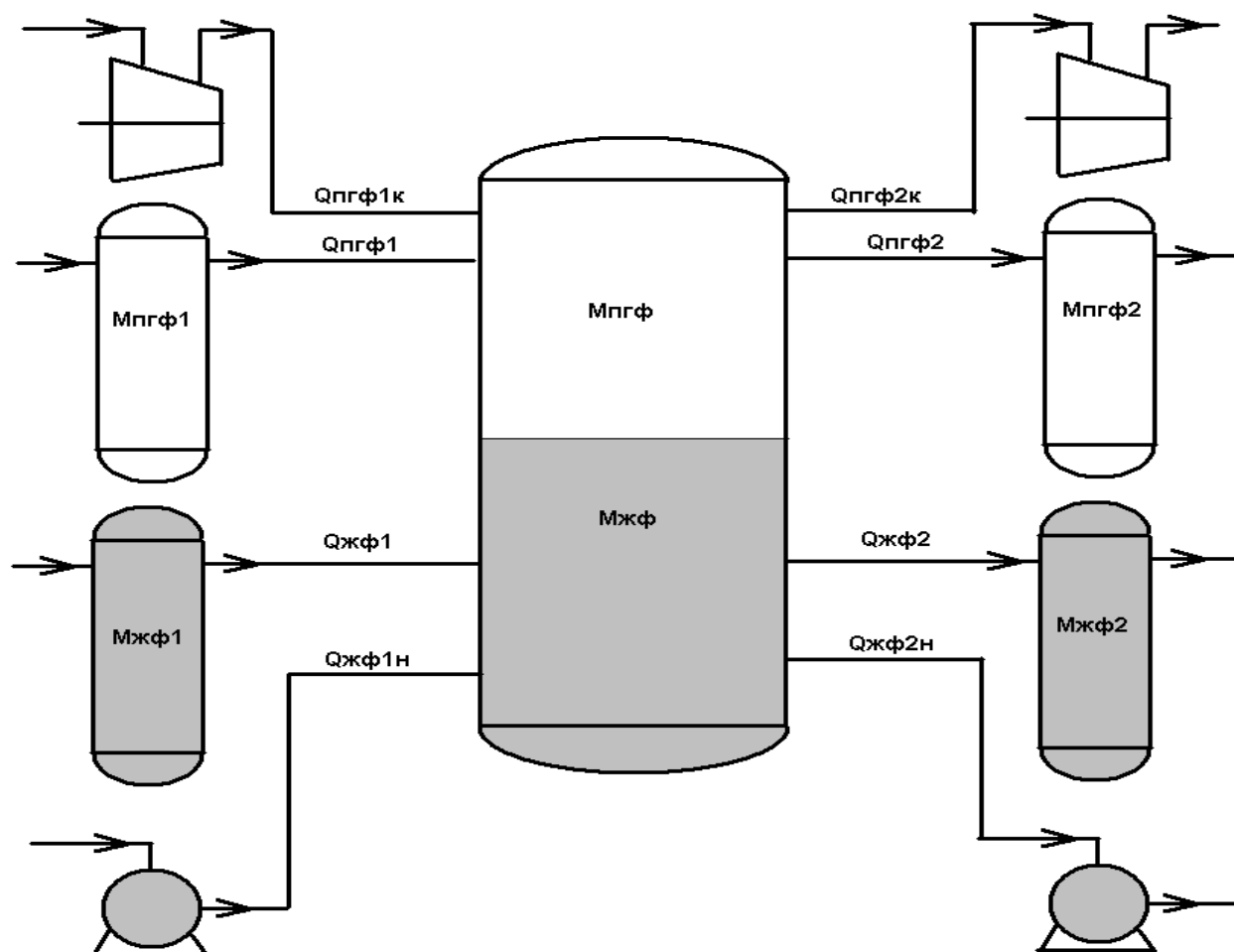


Схема связей аварийного оборудования. 1 – оборудование со стороны входящего потока; 2 - оборудование со стороны выходящего потока при нормальной работе оборудования.

Аварийное оборудование по центру связано через трубопроводы с другим оборудованием вверх и вниз по технологическому потоку при нормальной работе оборудования. При разрушении оборудования ОВ поступает в зону оборудования как со стороны входящего, так и выходящего потоков.

Первичное облако ОВ разрушенного оборудования (РО) состоит из парогазовой фазы (пгф) Мпгф и паров жидкой фазы (жф), образовавшихся за счет термодинамического перегрева.

$$M_{\text{ПО}} = M_{\text{пгф}} + \eta_o * M_{\text{жф}} + M_1 + M_2 + M_{\text{исп}}$$

где

Мпгф – масса ПГФ в оборудовании

Мжф – масса ЖФ в аппарате

η_o – доля ЖФ из аппарата переходящая в пар (C_p берется как средняя между T_r и $T_{\text{кип}}$)

М1 – масса ОВ, поступающая из трубопроводов входящих в оборудование

М2 – масса ОВ, поступающая из трубопроводов выходящих из оборудования

Мисп - масса ОВ, испарившееся из лужи разлития за время $t_{\text{арб}}$.

$t_{\text{арб}}$ – время, за которое учитывается поступление ОВ в первичное облако.

$t_{\text{арб}} = \text{MIN}(t_{\text{блок}}, t_{\text{мах}})$, $t_{\text{мах}}$ – время достижение максимального количества взрывоопасной массы в облаке для класса устойчивости атмосферы «D» и скорости ветра – 2 м/с.

Ориентировочно $t_{\text{мах}} = 5 * (M_{\text{по}}, \text{ в тоннах})^{0,292}$

Масса M1. ПГФ может поступать из трубопровода, связанного со всей системой, в которой содержится Мпгф1 ОВ, или из трубопровода, связанного с компрессором.

При этом следует определить Qпгф в зависимости от варианта истечения.

Для определения Qпгф1 рассчитывается модель истечения из трубопровода, связанного с буферной емкостью, содержащей Мпгф1 ОВ при физических параметрах (давление, температура), соответствующих рабочим параметрам разрушенного оборудования.

Поскольку зависимость потока аварийного истечения существенно нелинейна, то Qпгф1 берется, как среднее значение потока за время $T_{арб}$.

M1 определяется как

$$M1 = M_g(Q_{пгф1})$$

где $M_g(Q_{пгф})$ – это функция массы струевого облака между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости для струевого истечения газа со скоростью Qпгф.

Если M1 больше Мпгф1, то $M1 = M_{пгф1}$.

В случае, когда Qпгф1 оценить сложно, но известен нормальный технологический расход ОВ через входящий трубопровод ($Q_{инпгф}$), допускается оценивать Qпгф1 как

$$Q_{пгф1} = 5 * Q_{инпгф}$$

Если ПГФ поступает из трубопровода, связанного с компрессором, то $Q_{пгф1} = Q_{пгф}$ и определяется как максимальный поток, который может обеспечить компрессор с учетом выброса ОВ в атмосферу практически без гидродинамического сопротивления. Если данную характеристику определить не представляется возможным, то консервативно Qпгф1 определяется как

$$Q_{пгф1} = 2 * Q_{инпгфк}$$

где $Q_{инпгфк}$ - технологический расход ОВ через входящий трубопровод от компрессора.

ЖФ поступать из трубопровода, связанного со всей системой, в которой содержится Мжф1 ОВ, или из трубопровода, связанного с насосом. При этом следует определить $Q_{жф}$ в зависимости от варианта истечения.

Для определения $Q_{жф1}$ рассчитывается модель истечения из трубопровода длиной до 30 м, связанного с буферной емкостью, содержащей Мжф1 ОВ при физических параметрах (давление, температура) соответствующих рабочим параметрам разрушенного оборудования. Для СУГ давление следует оценивать как давление насыщенных паров СУГ при рабочей температуре. Поскольку зависимость потока аварийного истечения существенно нелинейна, то $Q_{жф1}$ берется, как среднее значение потока за время $T_{арб}$. $M1$ определяется как

$$M1 = \eta_1 * Q_{жф1} * T_{арб}$$

где η_1 – доля ЖФ из перетока переходящая в пар (C_p берется для T_p)

Если $M1$ больше $\eta_1 * M_{жф1}$, то $M1 = \eta_1 * M_{жф1}$.

В случае, когда $Q_{жф1}$ оценить сложно, но известен нормальный технологический расход ОВ через входящий трубопровод ($Q_{inжф}$), допускается оценивать $Q_{жф1}$ как

$$Q_{жф1} = 5 * Q_{inжф}$$

Если ЖФ поступает из трубопровода, связанного с насосом, то $Q_{жф1} = Q_{жф1н}$ определяется как максимальный поток, который может обеспечить насос с учетом выброса ОВ в атмосферу практически без гидродинамического сопротивления (длина трубопровода не более 30 м).

Если данную характеристику определить не представляется возможным, то консервативно $Q_{жф1}$ определяется как

$$Q_{жф1} = 2 * Q_{inжфн}$$

где $Q_{inжфн}$ - технологический расход ОВ через входящий трубопровод от насоса.

Если в разрушенное оборудование поступают одновременно и ПГФ и пары ЖФ, то результат суммируется.

Масса M2

ПГФ может поступать из трубопровода, связанного со всей системой, в которой содержится Мпгф2 ОВ, или из трубопровода, связанного с компрессором.

При этом следует определить Qпгф в зависимости от варианта истечения.

Для определения Qпгф2 рассчитывается модель истечения из трубопровода, связанного с буферной емкостью, содержащей Мпгф2 ОВ при физических параметрах (давление, температура), соответствующих рабочим параметрам разрушенного оборудования.

Поскольку зависимость потока аварийного истечения существенно нелинейна, то Qпгф2 берется, как среднее значение потока за время $T_{арб}$.

M2 определяется как

$$M2 = Mг(Qпгф2)$$

где $Mг(Qпгф)$ – это функция массы струевого облака между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости для струевого истечения газа со скоростью Qпгф.

Если M2 больше Мпгф2, то $M2 = Мпгф2$.

В случае, когда Qпгф2 оценить сложно, но известен нормальный технологический расход ОВ через выходящий трубопровод ($Q_{outпгф}$), допускается оценивать Qпгф2 как

$$Qпгф2 = 5 * Q_{outпгф}$$

Если ПГФ поступает из трубопровода, связанного с компрессором, то перетоком можно пренебречь, поскольку предполагается, что сработает обратный клапан компрессора, недопускающий обратный поток.

Масса M2

ЖФ поступать из трубопровода, связанного со всей системой, в которой содержится Мжф2 ОВ, или из трубопровода, связанного с насосом. При этом следует определить Qжф в зависимости от варианта истечения.

Для определения Qжф2 рассчитывается модель истечения из трубопровода длиной до 30 м, связанного с буферной емкостью, содержащей Мжф2 ОВ при физических параметрах (давление, температура) соответствующих рабочим параметрам разрушенного оборудования. Для СУГ давление следует оценивать как давление насыщенных паров СУГ при рабочей температуре.

Поскольку зависимость потока аварийного истечения существенно нелинейна, то Qжф2 берется, как среднее значение потока за время $T_{арб}$.

M2 определяется как

$$M2 = \eta_2 * Q_{жф2} * T_{арб}$$

где η_2 – доля ЖФ из перетока переходящая в пар (Ср берется для Tr)

Для разрушенного оборудования можно принять, что $\eta_2 = \eta_1$.

Если M2 больше $\eta_2 * M_{жф2}$, то $M2 = \eta_2 * M_{жф2}$.

В случае, когда Qжф2 оценить сложно, но известен нормальный технологический расход ОВ через входящий трубопровод ($Q_{outжф}$), допускается оценивать Qжф2 как

$$Q_{жф2} = 5 * Q_{outжф}$$

Если ЖФ поступает из трубопровода, связанного с насосом, то M2 определяется как масса ЛВ в трубопроводе (длина трубопровода не более 30 м), перешедшая в пар.

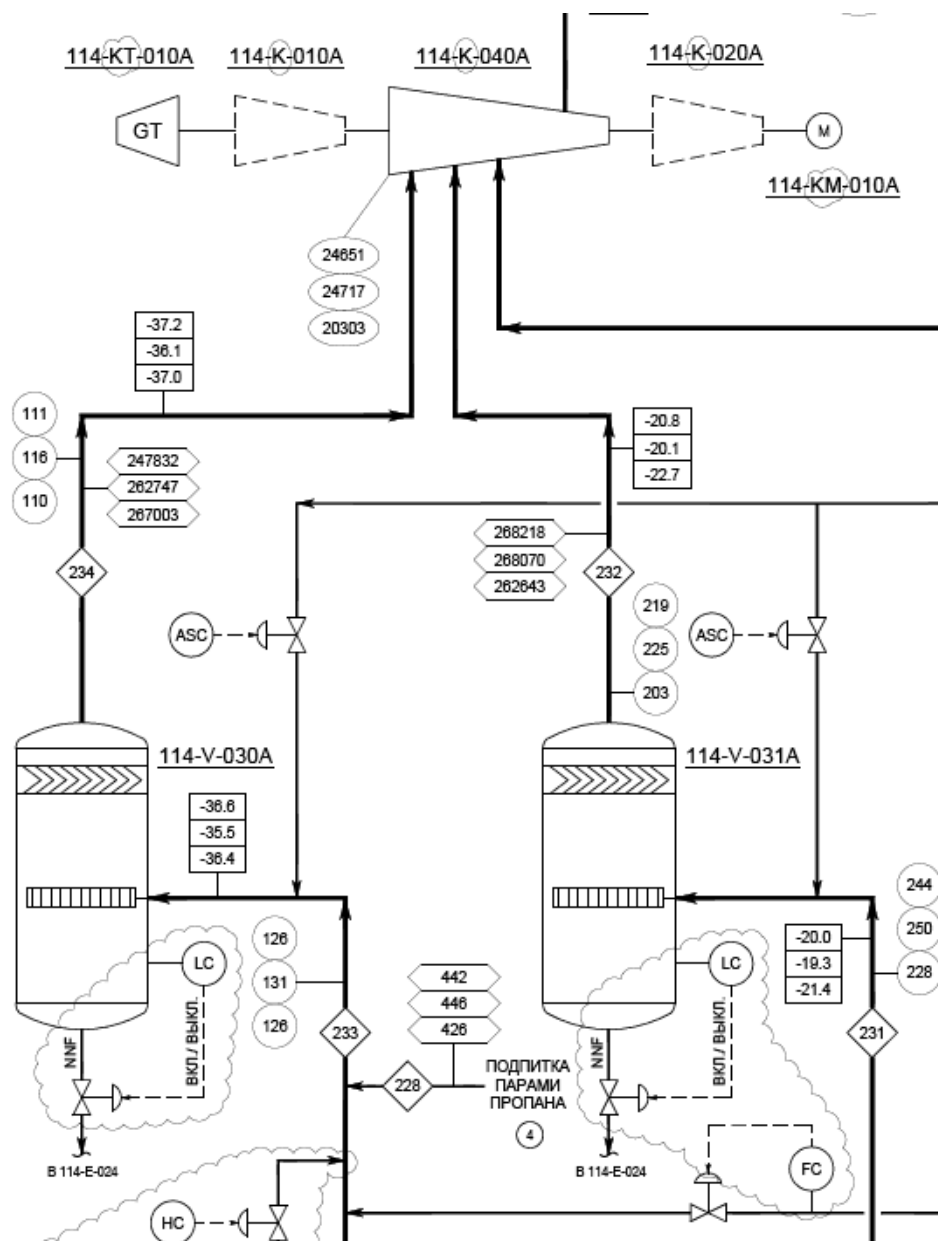
Если в разрушенное оборудование поступают одновременно и ПГФ и пары ЖФ, то результат суммируется.

Определение массы, испарившейся из лужи разлития за время $\tau_{арб}$ (Мисп).

Для оценки Мисп суммируется все ОВ в виде жидкости при температуре кипения поступившей в лужу разлития из разрушенного оборудования и входящих и выходящих трубопроводов за исключением ОВ перешедшего а пар. Далее считается, что слой жидкости не превышает 50 мм. Из этого предположения определяется площадь разлития. Если площадь на технологической площадке превышает 1000 м², то принимается расной 1000 м². В случае парков площадь оценивается по площади обвалования. Зная площадь и тип грунта рассчитывается динамика испарения СУГ с поверхности (Qисп(t)).

$$\text{Мисп} = \int_0^{\tau_{арб}} Q_{исп}(t) * dt$$

Допускается принимать температуру грунта равной температуре воздуха при расчете рассеяния. Температуру воздуха и поверхности принимают консервативно равной средней температуре наиболее жаркого месяца.



Мгновенное разрушение аппарата V-031 с образованием облака ТВС
Аппарат сепарирует газообразный пропан от его жидкой фазы

Газ: Dвх=1020 мм; Dвых=1020 мм

Жидкость: в основном пропан
Dвых=250 мм

Mжф=2741 кг

Mгф=168 кг

P=0,24 Мпа

Tr=-20 C

tau реагирования= 12 с

Расход Qгаз=217 кг/с

расход Qжф=75 кг/с (из матбаланса)

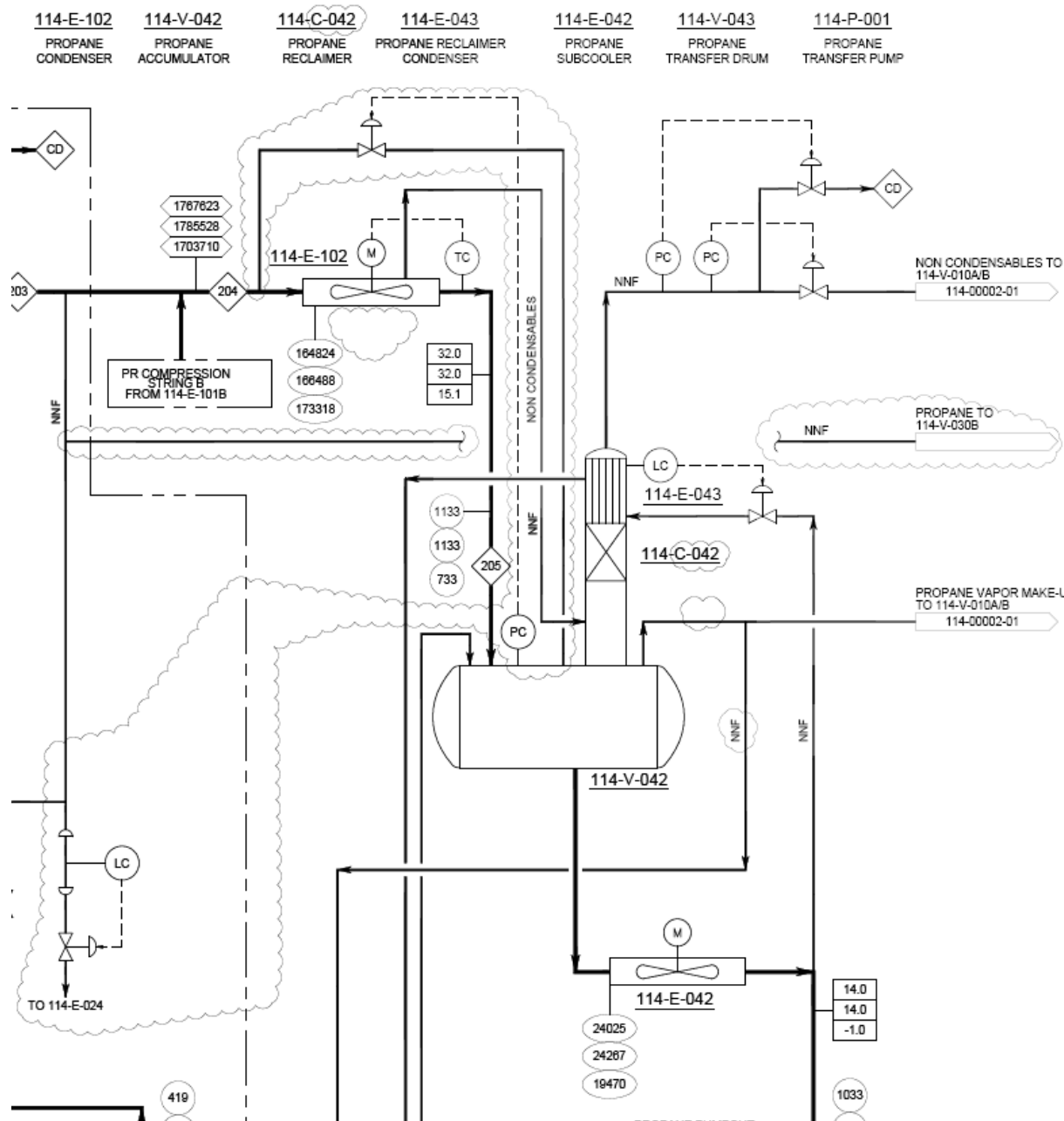
доля ЖФ в пар $\eta=0.114$

средняя скорость испарения за 12 с

Qисп = 45 кг/с

$M_{по} = M_{гф} + \eta_o * M_{жф} + M_1 + M_2 + M_{исп} =$
 $168 + 0,14 * 2741 + \{M_{г}(5 * 217) = 16725\} + 0 +$
 $0 + 0,14 * (2 * 75) * 12 + 12 * 45 = 18070$

Поскольку основной вклад газовый,
То рассматривается эквивалентный
Расход газа 1143 кг/с (а не 1085).



V-042 – сборник пропана
ЖФ

Dвх=900 мм

Dвых=900 мм

Мжф=38037 кг

Мгф=309 кг

P=1,13 Мпа

Tr=32 оС

tau реагирования= 12 с

расход Qж=491 кг/с

доля ЖФ в пар $\eta_1=0.4$

доля ЖФ в пар $\eta_2=0.47$

средняя скорость

испарения за 12 с

Qисп =170 кг/с

Мпо=309+0,4*38037+0+

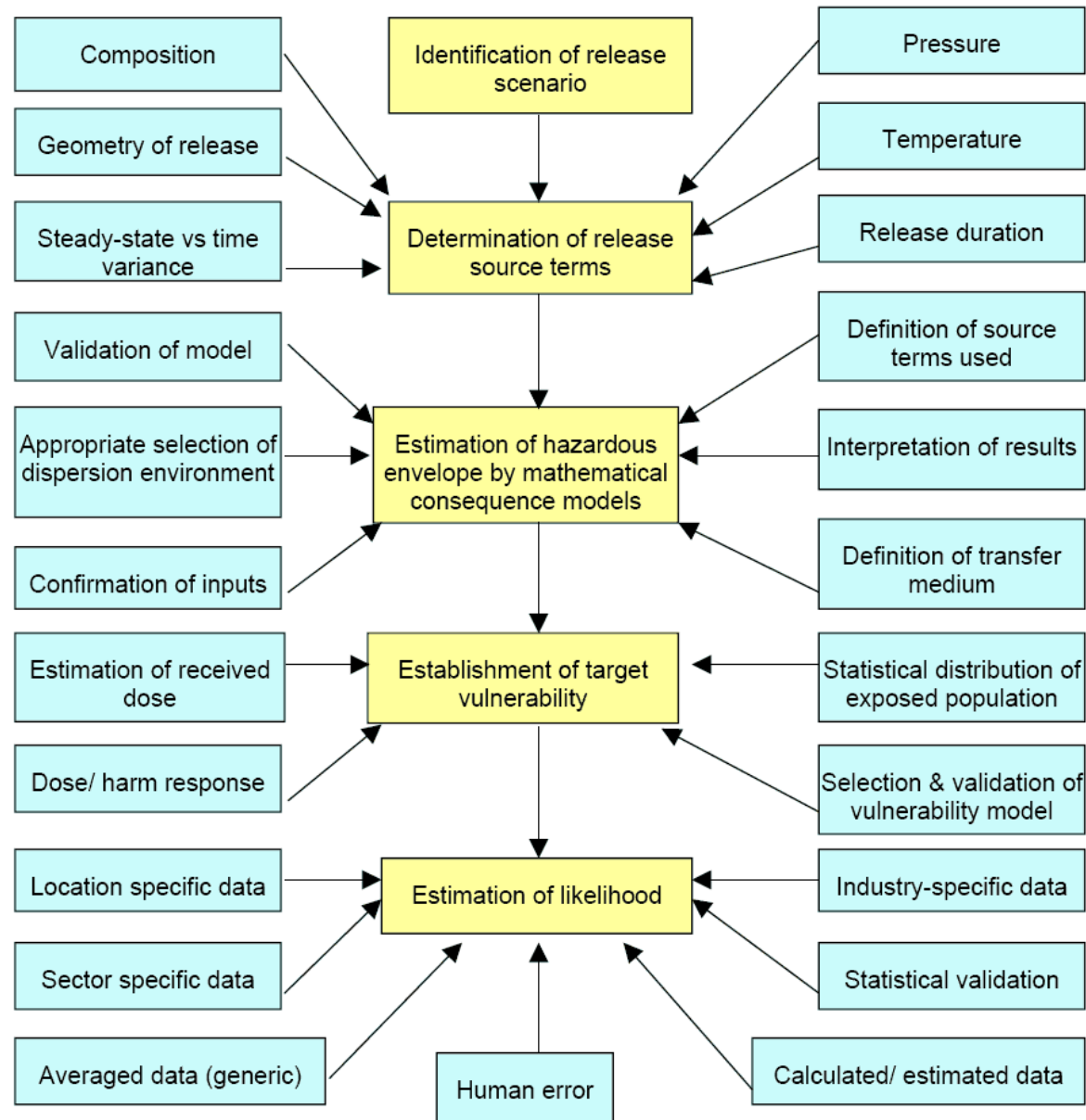
12*0,47*2*491+0+

12*0,47*5*491+0+12*170=

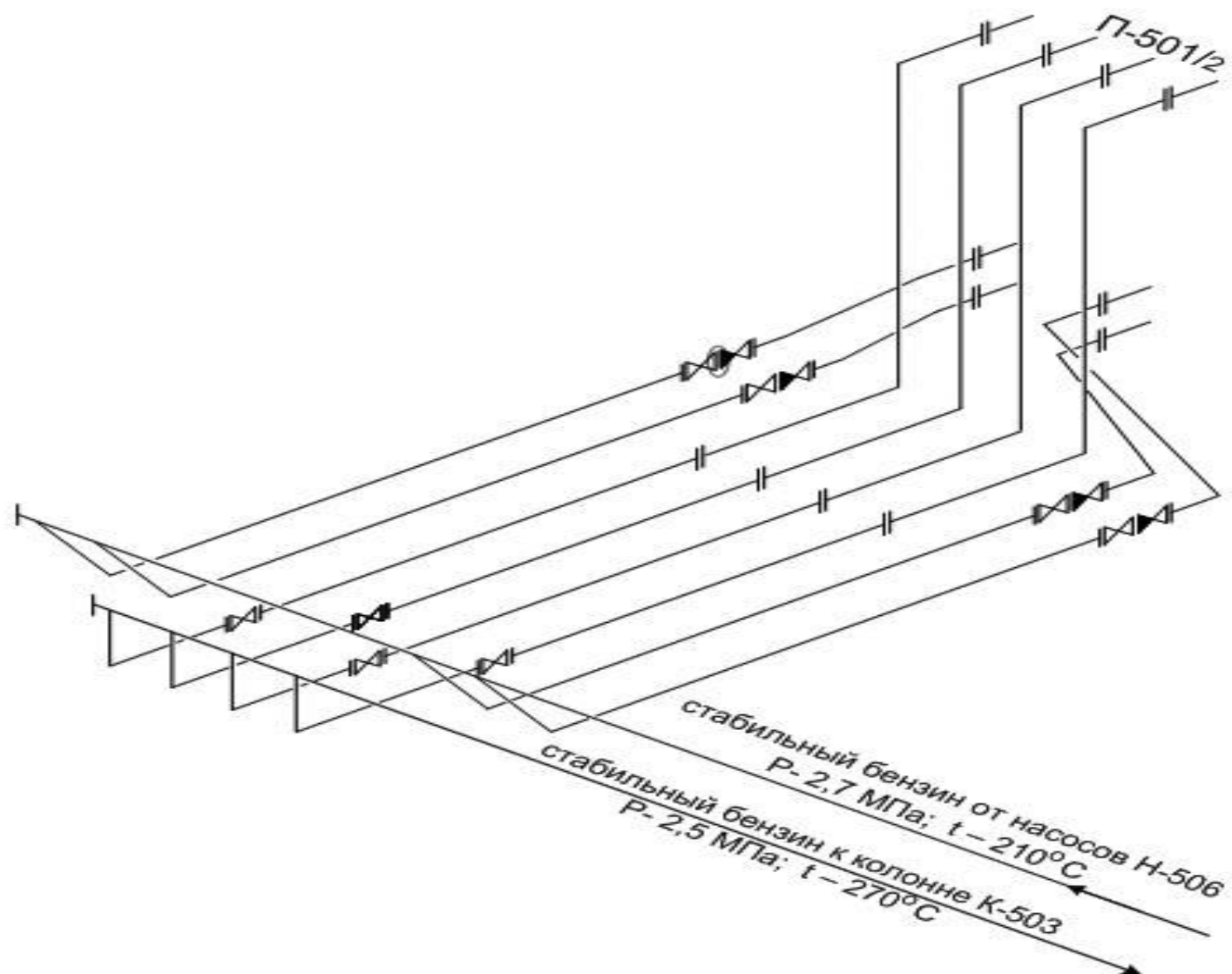
36948 кг

Поскольку Мжф2=13000кг,

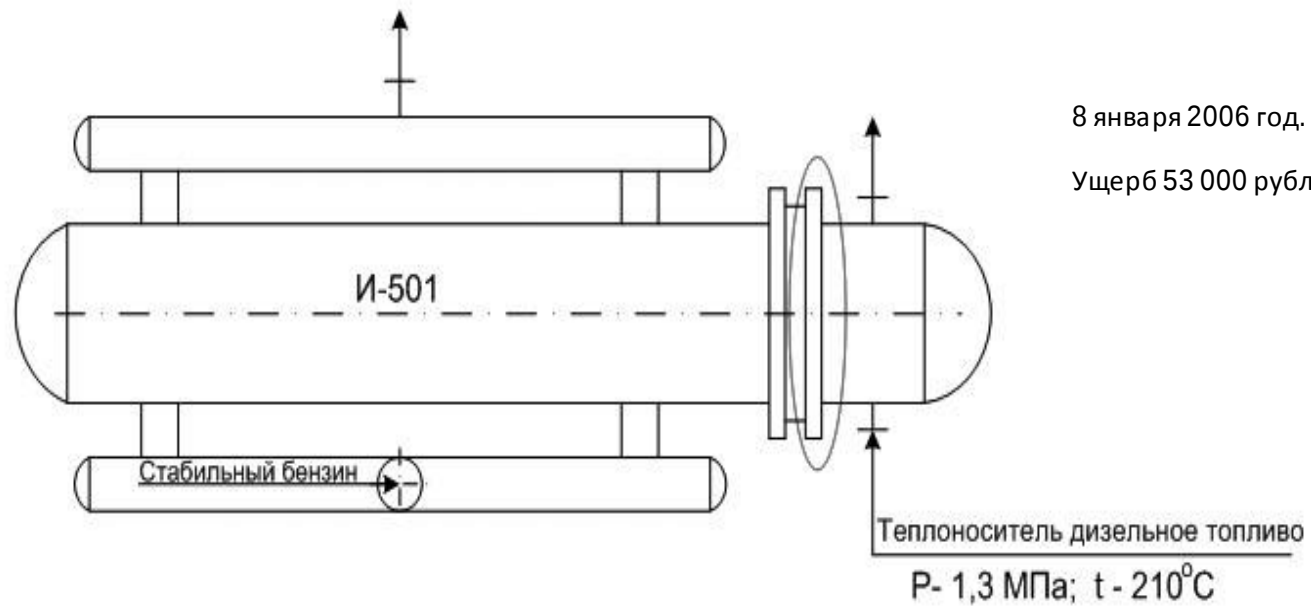
Мпо=29212 кг



Некоторые источники неопределенности при анализе риска
HSE Information sheet Guidance on Risk Assessment for Offshore Installations
Offshore Information Sheet No. 3/2006



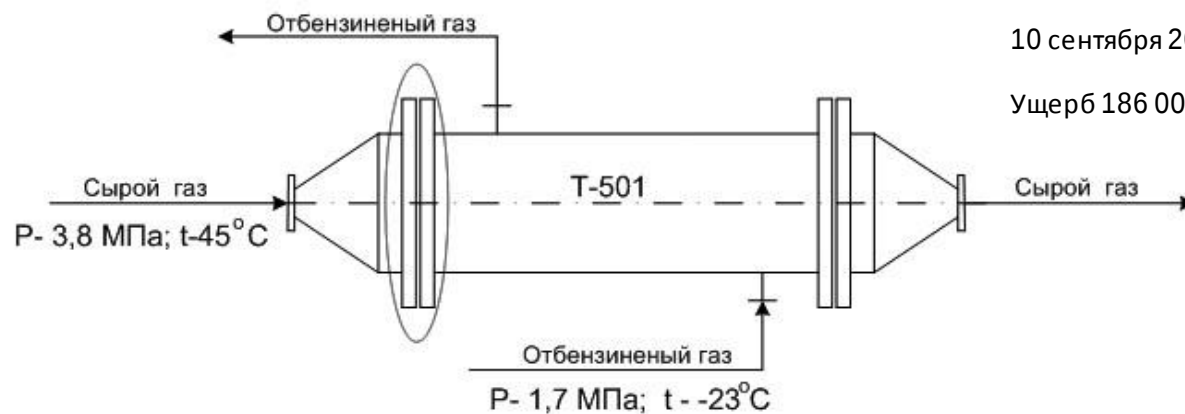
18.11.2004 г. 19 час. 45 мин. разгерметизация фланцевого соединения Ду 150 мм с последующим возгоранием. Простой всех установок 2 часа 25 минут, простой установки № 2 - 5 часов 12 минут, простой установки № 1 - 54 часа 15 минут. Косвенный ущерб 690300 руб, недовыработка ШФЛУ – 280 тн, недоприем газа на переработку 1300 тыс. м³



8 января 2006 год.

Ущерб 53 000 рублей.

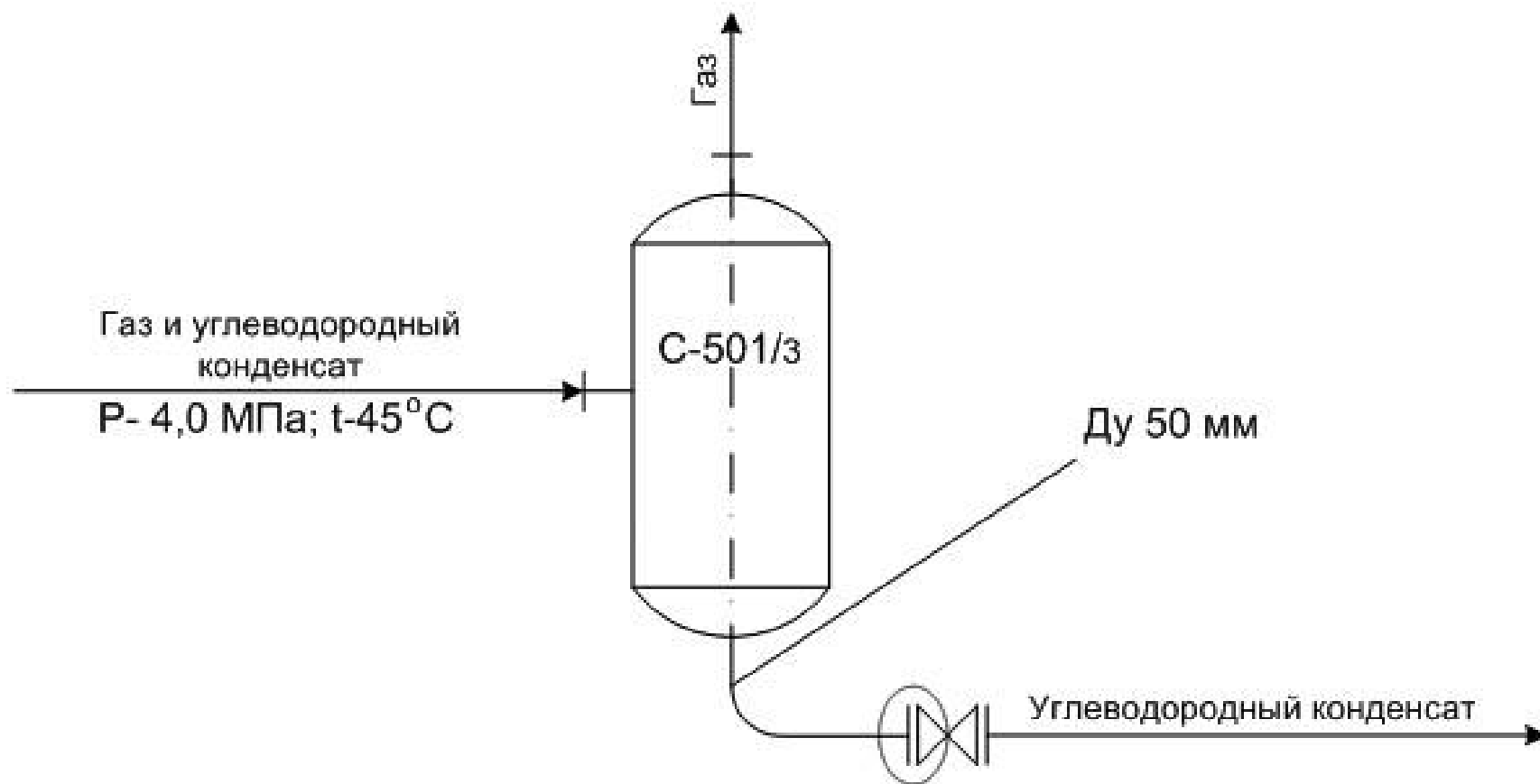
Разгерметизация фланцевого соединения трубного пучка и крышки испарителя И-501 Ду 800 мм, выброс теплоносителя на площадку



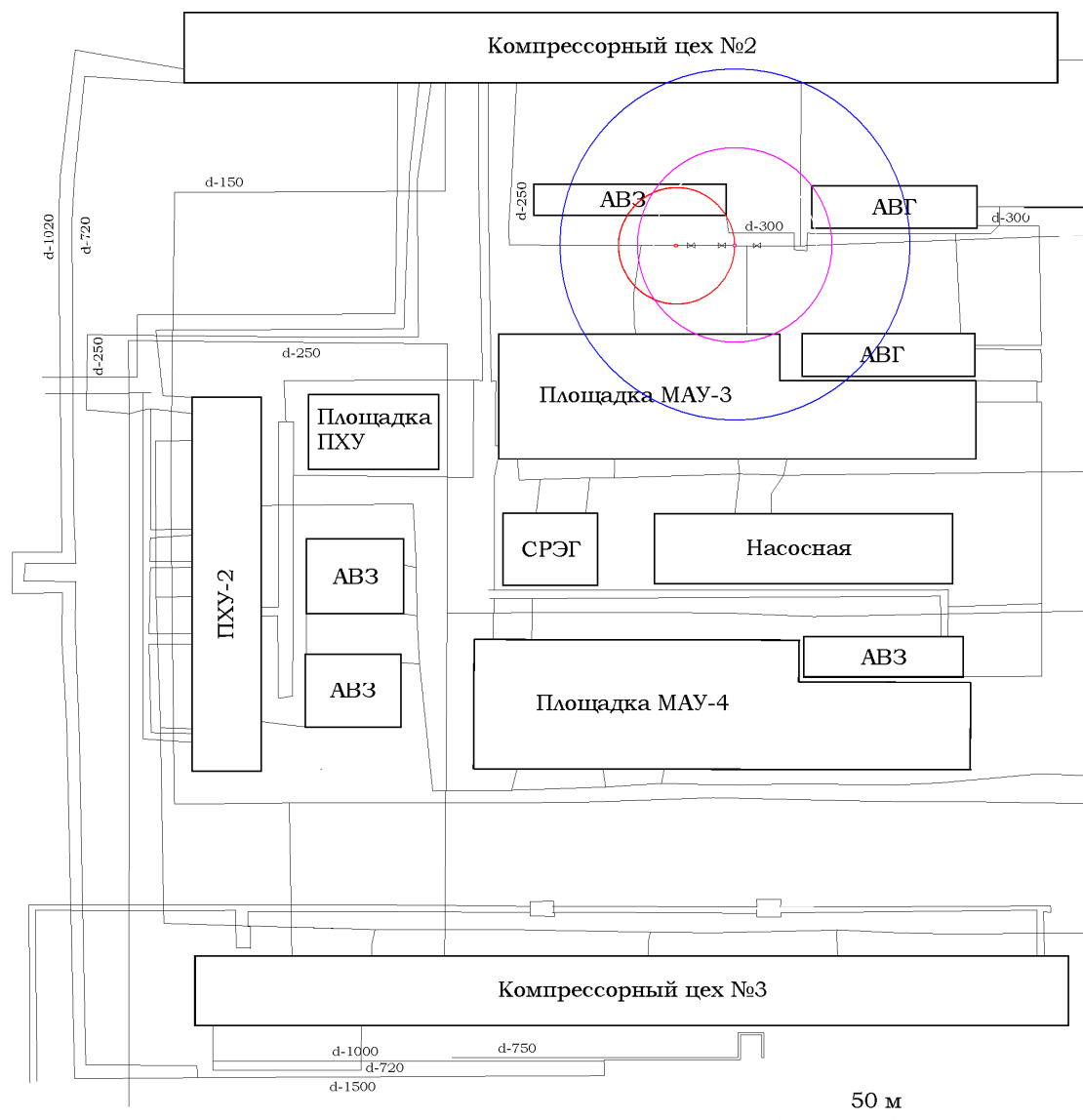
10 сентября 2002 год.

Ущерб 186 000 рублей.

Разгерметизация фланцевого соединения крышки и корпуса жесткого кожухотрубчатого теплообменника Т-501 Ду 800 мм

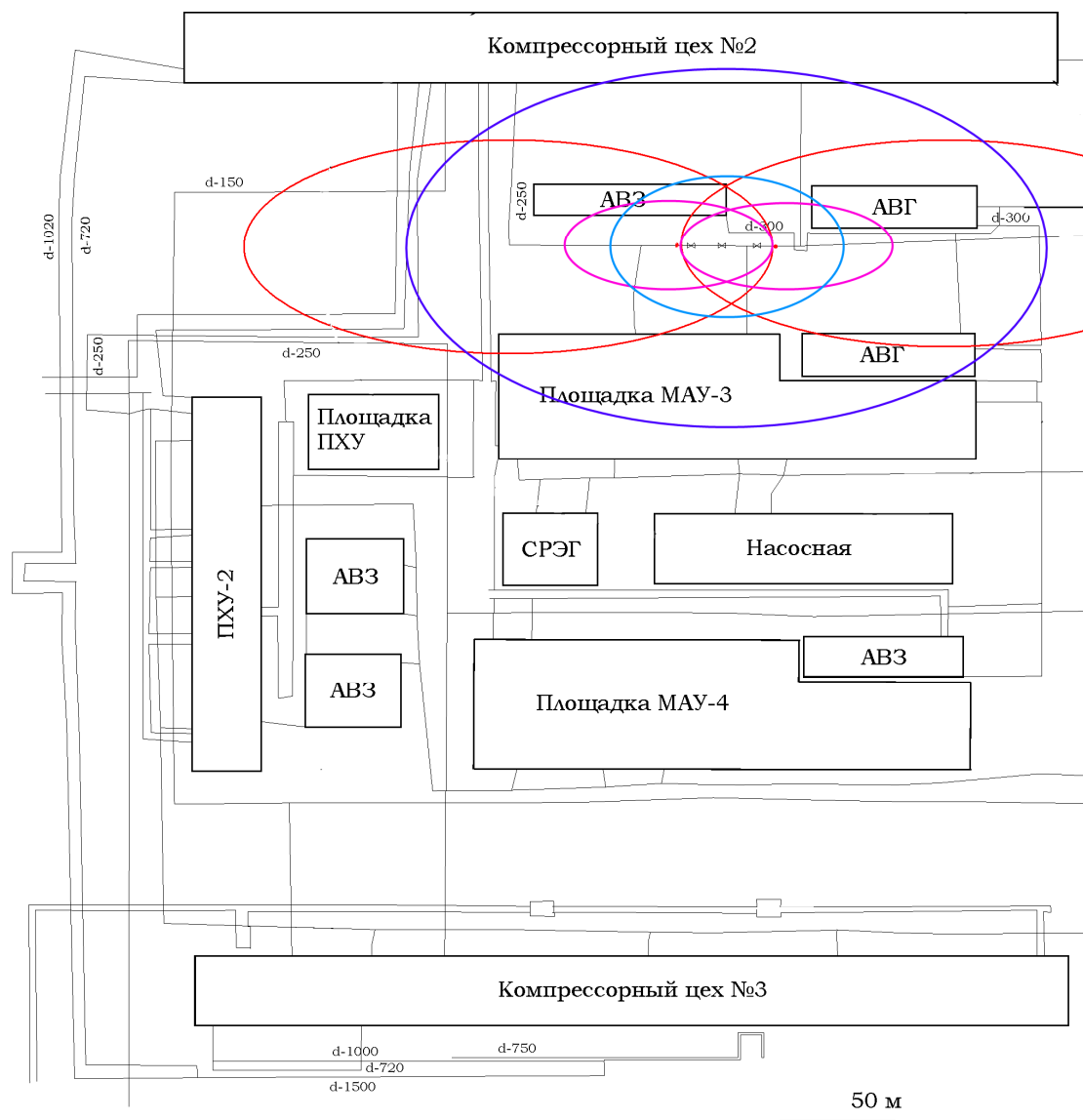


Разгерметизация фланцевого соединения Ду 50 мм на штуцере вывода углеводородного конденсата из газосепаратора C-501/3



18 октября в 6 часов 57 минут на участке технологического трубопровода подачи сырого компримированного газа (нефтяной попутный газ) от КС-2 и КС-3 на МАУ-3, 4, в результате порыва на спуске с эстакады, произошел хлопок, с последующим разрушением этого же трубопровода на участке у сепараторов С-501 КС № 2. В результате наружная территория оказалась загазованной и примерно через 10 секунд произошел объемный взрыв газовой смеси. От воздействия взрыва и горящего газа произошло загорание отдельного технологического оборудования МАУ-3.

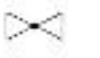
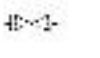
Авария на Нижневартковском газоперерабатывающем заводе 18 октября 1999 года на Нижневартковском ГПЗ ОАО «Сибнефтегазпереработка» на трубопроводе подачи сырого газа с КС-2, 3 на МАУ-3, 4.

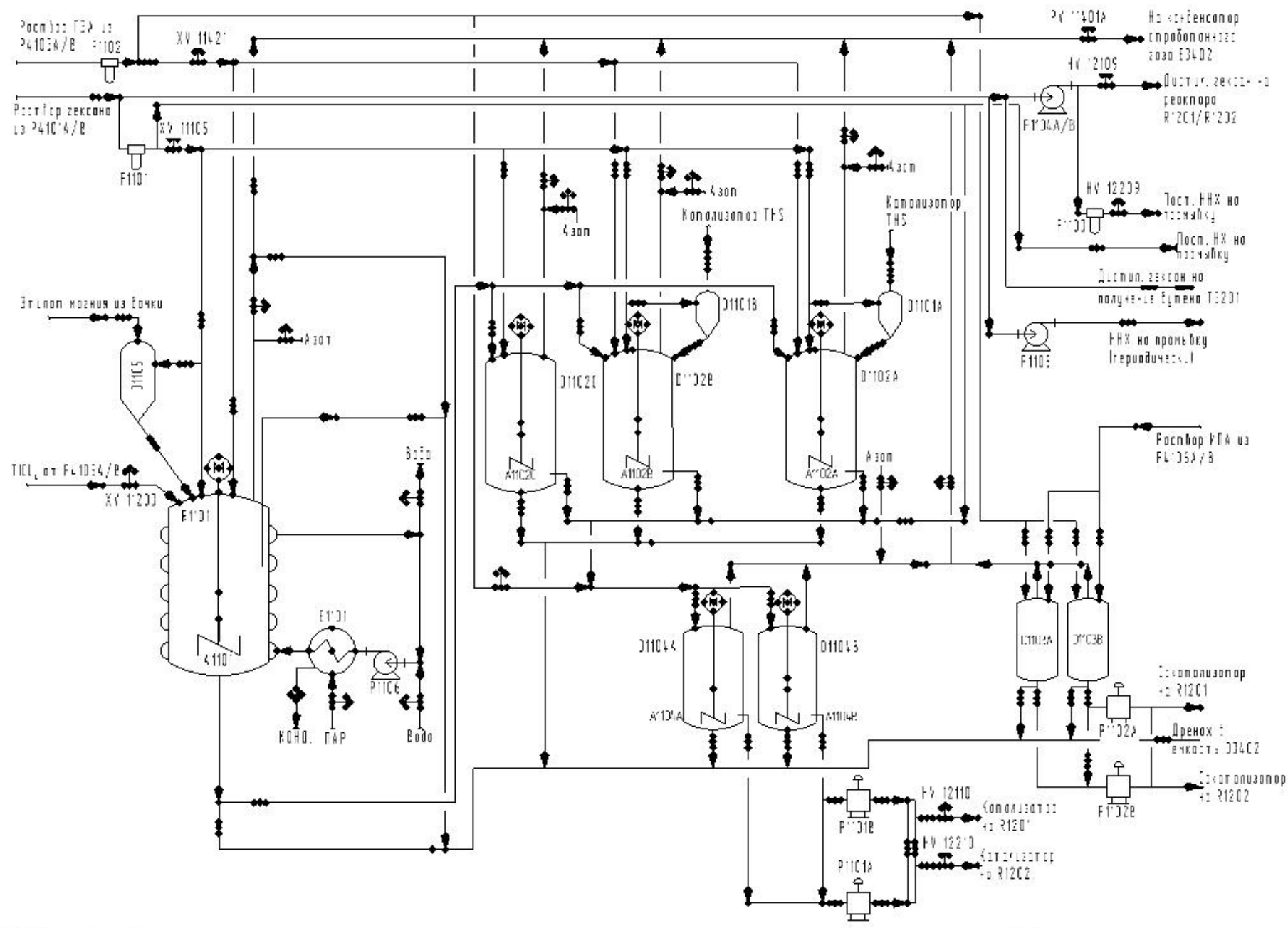


Площадка МАУ-3 была охвачена огнем продолжительное время, достаточно чтобы газовые патрубки установки (Ду100) прогрелись до температуры около 450-500°C, что могло привести к их разрушению (аппараты. 502 и 503). Разрушение аппаратов на площадке МАУ-3 привело к дальнейшей эскалации пожара с горение ЖФЛУ. Загорание предохранительных клапанов на площадке ПХУ связано с тем, что пропановая фракция при нагреве выше 56°C переходит во флюидообразное состояние с давлением более 1,65 МПа. А поскольку система холодильного контура замкнутая

это привело к срабатыванию предохранительных клапанов. Выброс пропана загорелся в виду близости источников зажигания, что привело к дальнейшей эскалации пожара.

Прямой ущерб составил 275976 рублей. Косвенный ущерб - 355700 рублей.

Обозначение по DIN	Обозначение по ГОСТ	Расшифровка обозначения
		Шаровый запорный вентиль с пневматическим приводом (нормально открыт)
		Шаровый запорный вентиль с пневматическим приводом (нормально закрыт)
		Регулирующий вентиль с маховиком (нормально открыт)
		Регулирующий вентиль с маховиком (нормально закрыт)
		Дисковый затвор с пневматическим приводом (нормально закрыт)
		Дисковый затвор с пневматическим приводом (нормально открыт)
		Мембранный запорный вентиль (нормально открыт)
		Мембранный запорный вентиль (нормально закрыт)
		Запорный вентиль (нормально открыт)
		Фланцы
		Фланцевое соединение



На реальном заводе арматуры и фланцев около 10-15 тыс. единиц.

При этом практически никто это в оценке риска не учитывает.

1. Нет информации
2. Можно оценить по технологическим схемам.
3. Трудно отделить те, которые влияют на безопасность, от тех, которые используются периодически для сбросных операций или отбора проб.
4. Иногда трудно получить информацию по технологическим трубопроводам.

Зависимость частоты утечек (на фланцевое соединение/год) от диаметра фланца

Диапазон размера отверстия, мм	2" (~50 мм)	6" (~150 мм)	12" (~300 мм)	18" (~450 мм)	24" (~600 мм)	36" (~900 мм)
от 1 до 3	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
от 3 до 10	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$
от 10 до 50	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
от 50 до 150	0,00	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-6}$
>150	0,00	0,00	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$
Всего	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$

Зависимость частоты утечек (на задвижку/год) от диаметра задвижки с ручным приводом

Диапазон размера отверстия, мм	2" (~50 мм)	6" (~150 мм)	12" (~300 мм)	18" (~450 мм)	24" (~600 мм)	36" (~900 мм)
от 1 до 3	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
от 3 до 10	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$
от 10 до 50	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
от 50 до 150	0,00	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$
>150	0,00	0,00	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Всего	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$

Зависимость частоты утечек (на задвижку/год) от диаметра задвижки с приводом

Диапазон размера отверстия, мм	2" (~50 мм)	6" (~150 мм)	12" (~300 мм)	18" (~450 мм)	24" (~600 мм)	36" (~900 мм)
от 1 до 3	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
от 3 до 10	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
от 10 до 50	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$
от 50 до 150	0,00	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
>150	0,00	0,00	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Всего	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$

Частоты утечек из соединительных устройств измерительных приборов (на устройство/год); диаметр от 10 до 50 мм

Диапазон размера отверстия, мм	Все утечки	Утечки из полностью загруженного оборудования	Утечки из частично загруженного оборудования	Утечки из незагруженного оборудования
от 1 до 3	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$
от 3 до 10	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$
от 10 до 50	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$
Всего	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$

СТО ГАЗПРОМ 2-2.3-351-2009 для крановых узлов - $1,5 \cdot 10^{-5}$

В среднем, если считать на все трубопроводы предприятия, включая трубопроводы эстакад для межблочного транспорта, то на 1 один крановый узел приходится 20 – 80 м тр-дов.

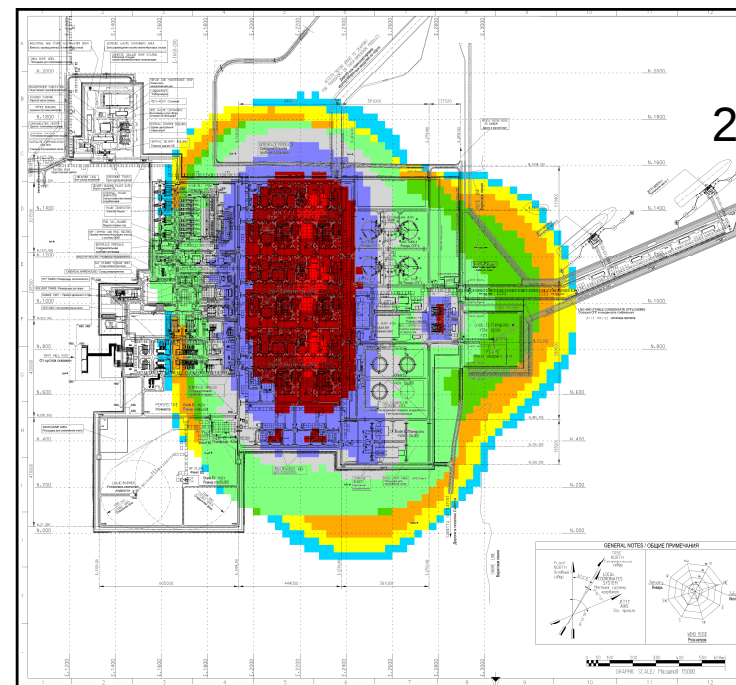
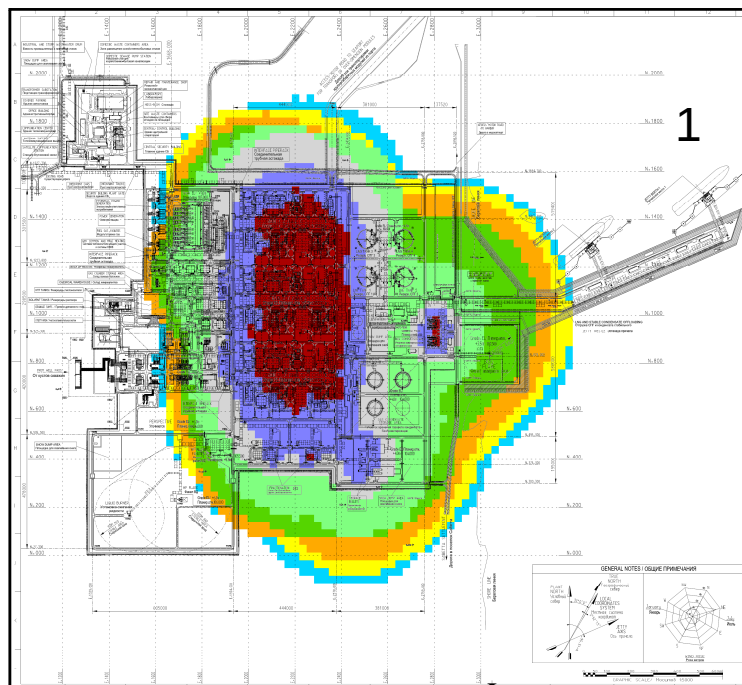
Если относить только к трубопроводам на площадках (без межплощадочных эстакад), то на 1 один крановый узел приходится 3 – 15 м тр-дов.

Поскольку крановые узлы по сценариям аналогичны авариям на трубопроводах, то можно оценить во сколько раз следует увеличить частоту трубопроводов для учета влияния крановых узлов.

Если на 1 крановый узел приходится 5 м трубы, то
 $150E-7/5*1E-7 = 30$ (т.е. в 30 раз)

Если на 1 крановый узел приходится 15 м трубы, то
 $150*1E-7/15E-7=10$ (т.е. в 10 раз)

При условии, что частота разрыва трубопровода $1E-7$ на 1 м в год.



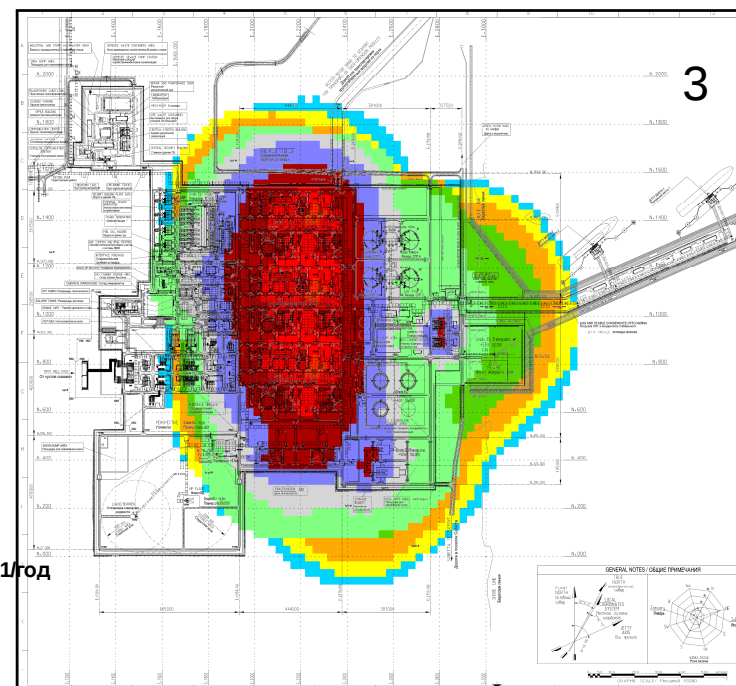
Территориальное распределение риска достижения ударной волной 28 кПа при авариях на установках объекта со взрывом облака ТВС. 1 – базовый вариант, 2 – частота аварий на площадочных трубопроводах увеличена в 10 раз, 3 - частота аварий на площадочных трубопроводах увеличена в 30 раз.

$$R1:R2:R3 = 1:1,8:3,6$$



3-1*10⁻⁴ 10-3*10⁻⁵ 3-1*10⁻⁵ 10-3*10⁻⁶ 3-1*10⁻⁶ 10-3*10⁻⁷ 3-1*10⁻⁷ 10-3*10⁻⁸ 3-1*10⁻⁸ 10-3*10⁻⁹ 3-1*10⁻⁹

1/год



Количество аварий и отказов на различных типах технологических устройств (ТНО)

Компоненты	Число происшествий	%
1.Трубопроводы	256	14,8
2.Шланги (гибкие)	28	1,6
3.Погрузочно-разгрузочные системы, стендеры	41	2,3
4.Фильтры	81	4,7
5.Фланцы	42	2,4
6.Насосы	90	5,2
7.Компрессоры	69	3,9
8.Хранилища	86	5,0
9.Сосуды под давлением	38	2,2
10.Теплообменники	88	5,1
11.Реакторы	58	3,3
12.Печи	48	2,8
13.Сосуды общего назначения	42	2,4
14.Паровые котлы	40	2,3
15.Колонны	20	1,2
16.Факелы	26	1,5
17.Клапаны общего назначения	95	5,5
18.Клапаны безопасности	24	1,4
19.Электрические устройства	31	1,8
20.Дежурные горелки	15	0,9
21.Дымовые трубы	13	0,7
22.Прочие	208	12,0
23.Неизвестные	95	17,0
Всего	1734	100,0

Около 28%
и 40% (1-21)

Учитывать крановые узлы
трудно, но нужно