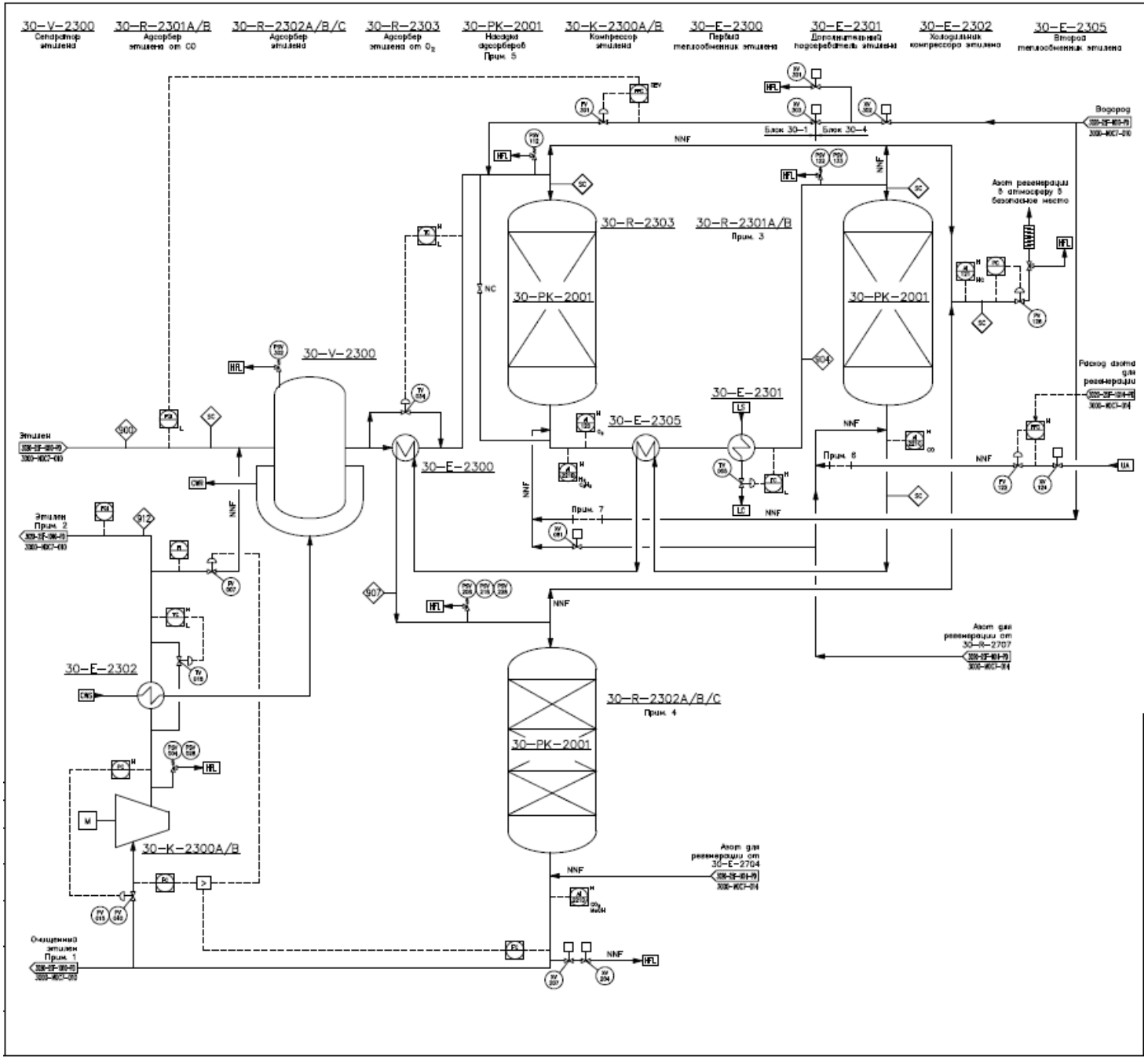
ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ ПРИ ВЫБРОСАХ ШФЛУ

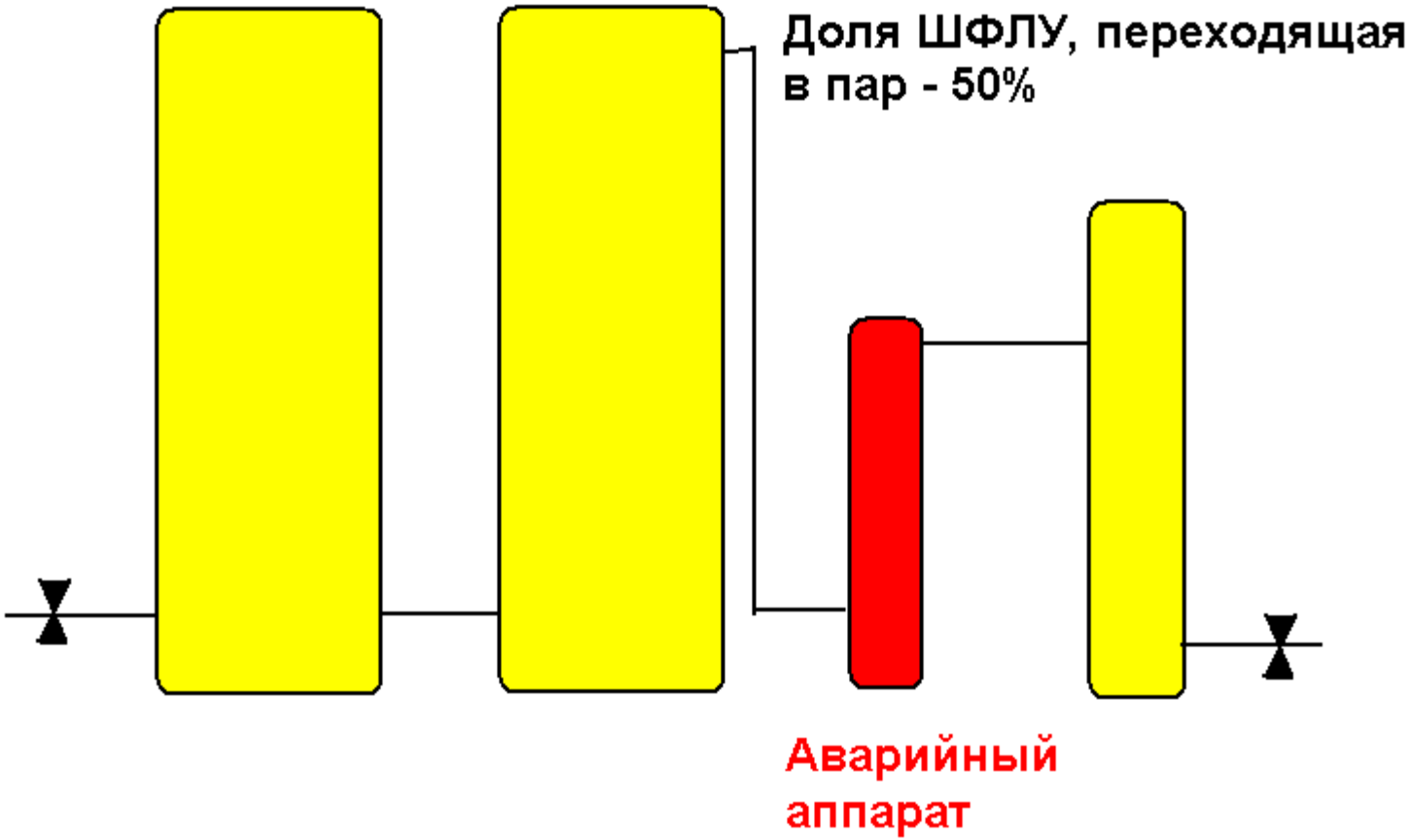
Швыряев А.А.
(МГУ им. М.В.Ломоносова, Химический ф-т)



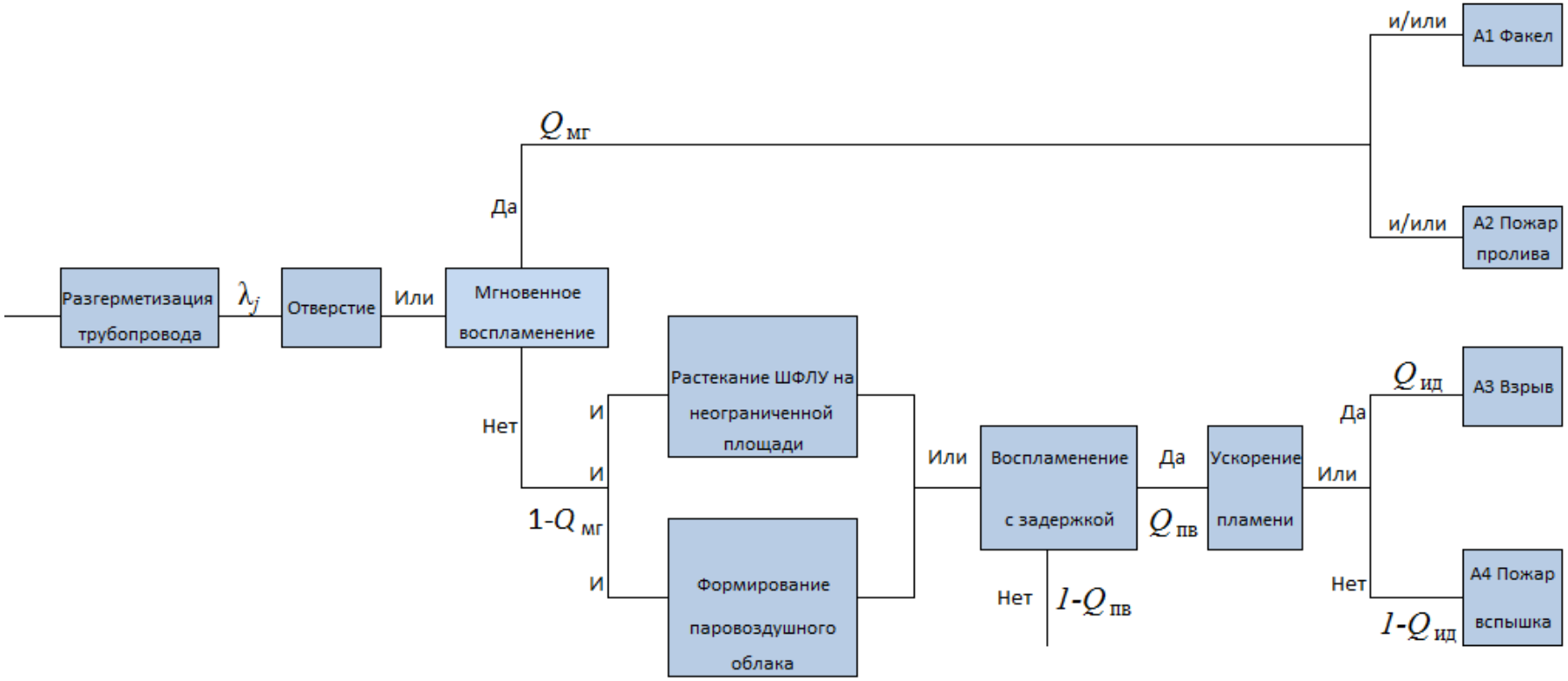
Технологический блок – совокупность аппаратов, выполняющих заданную технологическую функцию, при аварии блок изолируется автоматическими быстродействующими запорными и (или) отсекающими устройствами (1 категория взрывоопасности – 12 с, 2 – 120 с).

Рассматриваемый вариант аварийного блока

Масса ШФЛУ в блоке - 100 т
Масса ШФЛУ в аварийном аппарате - 3 т
Начальная скорость истечения - 100 кг/с



Типовое «дерево событий»



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

G, кг/с	$Q_{МГ}$	$Q_{ПВ}$	$Q_{ИД}$
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

Оценка сценария «пожар пролива»

Вариант 1. Полное разрушение аппарата – 3 т ШФЛУ, из них 1,5 т пар.
Площадь разлива 1,5 т – 60 м2 при толщине слоя 5 см. R=4.4 м
Радиус 50% поражения от пожара пролива – 5 м
Вопрос? Что будет с испарившемся ШФЛУ (1,5 т)?
Пусть сгорает как огненный шар – R90% - 16 м.
Вариант 2. Горение разливающегося ШФЛУ, поступающего из смежных аппаратов.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * b}}$$

Определяется из равенства скорости выгорания (b) скорости поступления вещества в зону пожара (Q)
D=26 м при скорости поступления жидкости 50 кг/с + пар 50 кг/с.
Радиус зоны поражения – 18 м с учетом горения паровой фазы.

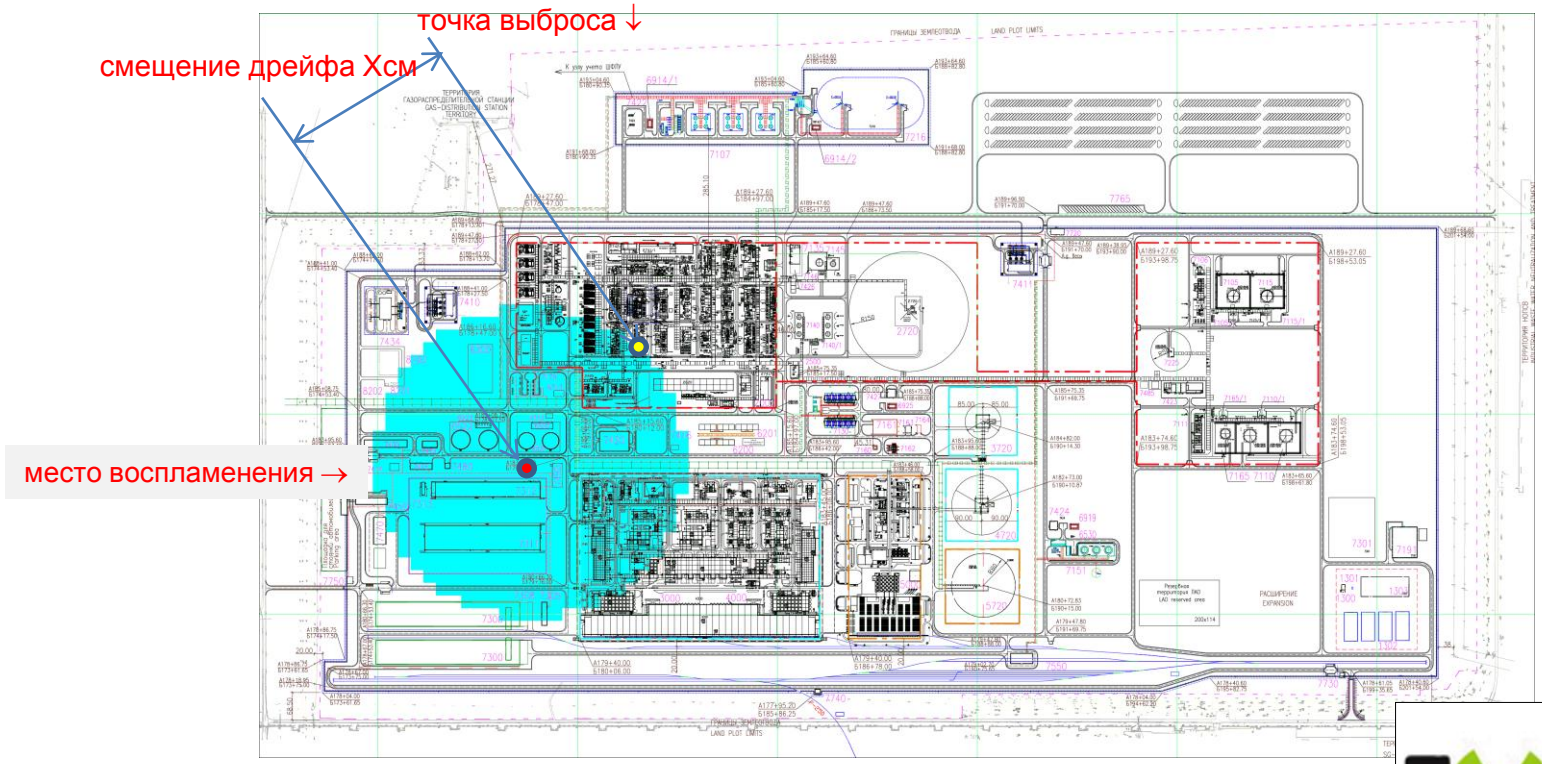
Различие в 16 раз

G, кг/с	$Q_{МГ}$
Малый (<1)	0,005
Средний (1-50)	0,035
Большой (>50)	0,150
Полный разрыв	0,200

Оценка сценария «взрыв облака ТВС»

ФНП ОПВБ указывает на необходимость учета дрейфа облаков ТВС

Зона действия ударной волны ΔР=35 кПа при аварии с полным разрушением колонны установки пиролиза с дрейфом и взрывом облака ТВС



Расчет по ТОКСИ+risk.

Масса облака ТВС (пропан/ пропилен), участвующая во взрыве – **78** т .

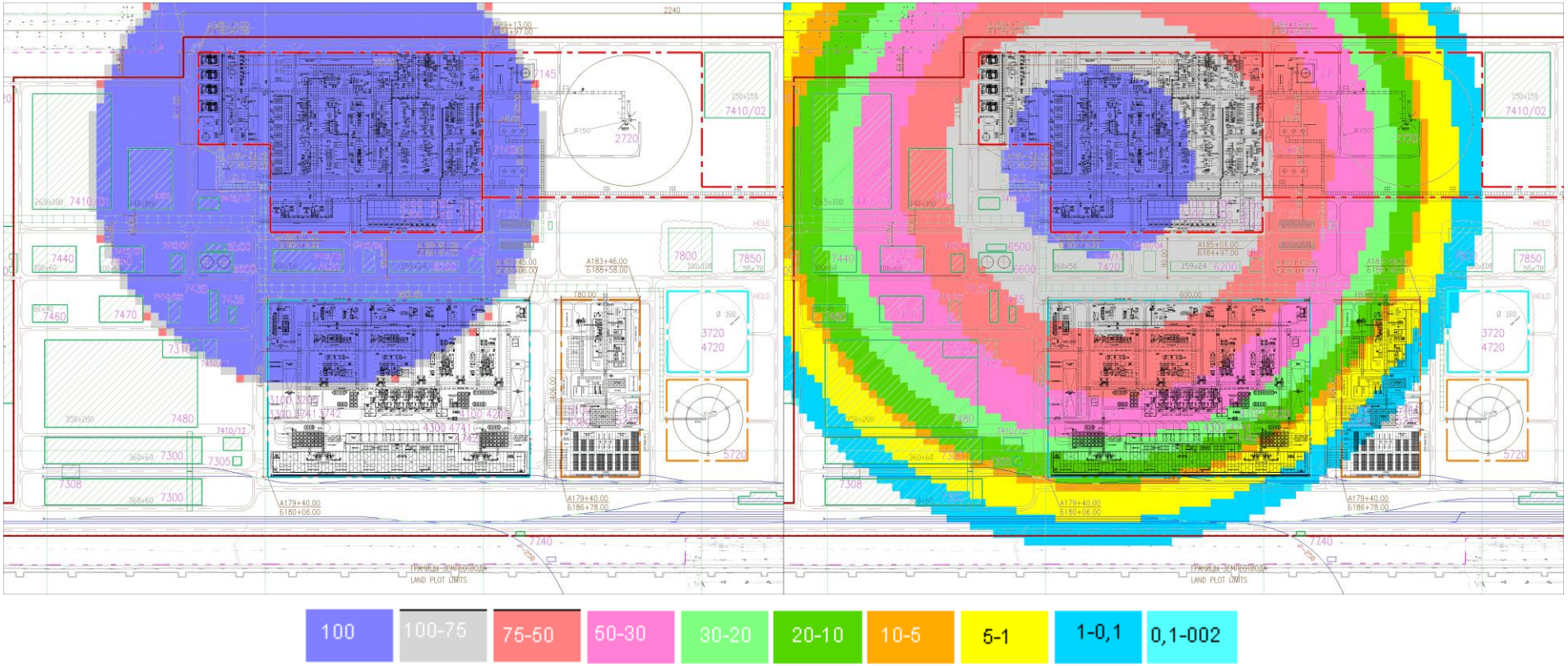
Метеоусловия: ветер северо-восточный 5 м/с, класс устойчивости атмосферы – **D**.

Смещение центра облака ТВС от источника выброса **Хсм = 307 м**

Вероятностное поле поражения

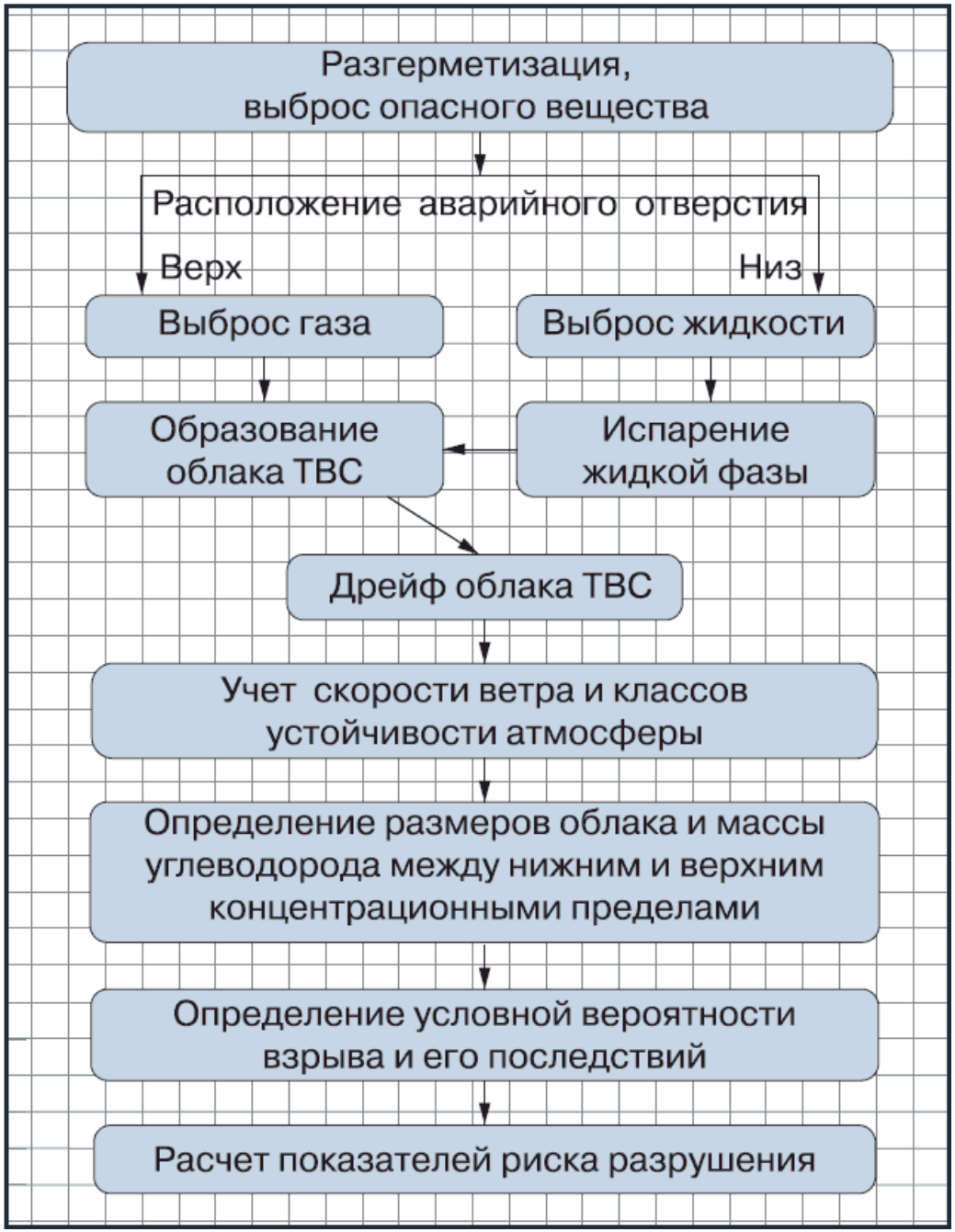
Без учета дрейфа

С учетом дрейфа



Территориальное распределение вероятности достижения ударной волной (ΔР=28 кПа) при авариях по сценарию Спр, происходящего с частотой 1 в год, с учетом дрейфа облака.

Необходимые данные
-Частота данного типа аварии
-Вероятность последующего зажигания облака ТВС
-Роза ветров с градацией по скоростям ветра
-Распределение классов устойчивости атмосферы по скоростям ветра
-Масса облака ТВС, участвующая во взрыве
- Центр массы облака ТВС (точка инициирования взрыва)

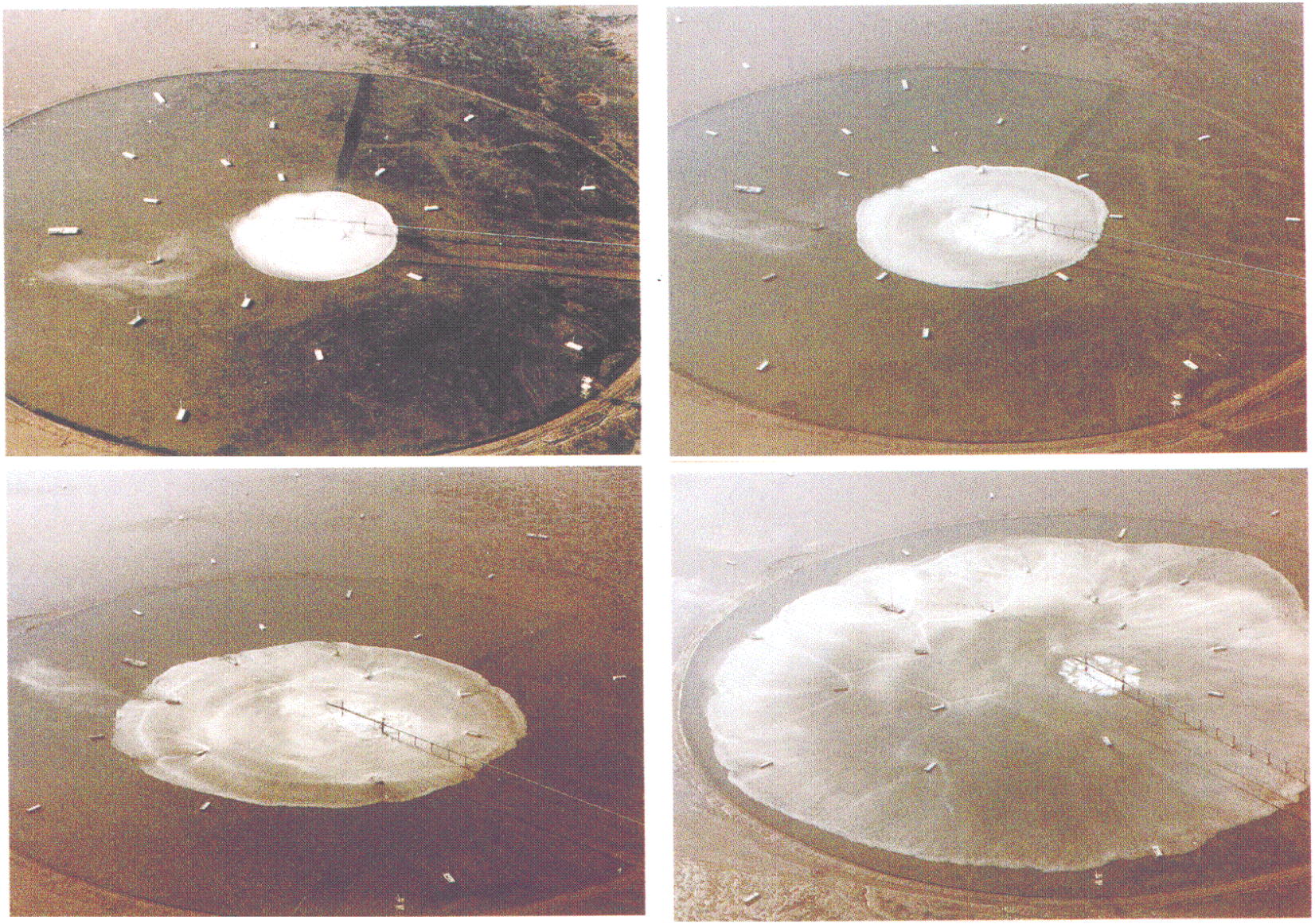


Относительная среднегодовая повторяемость (условная статистическая вероятность реализации) Скоростей ветра по географическим направлениям (в %).

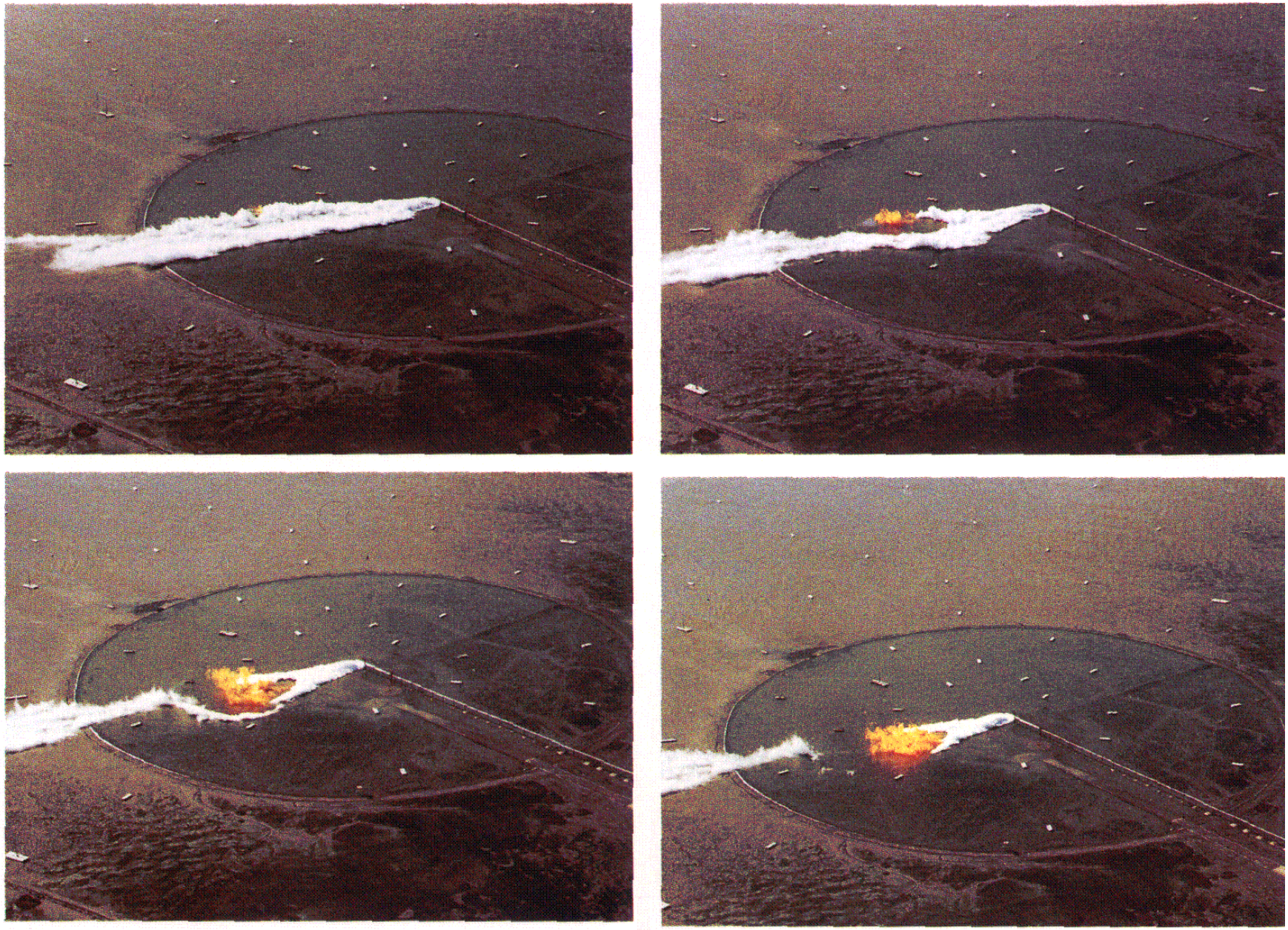
U,м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Σ
1.-2.	2.30	3.14	4.46	2.88	18.61	1.71	4.83	2.26	40.19
2.-4.	8.79	7.64	8.26	8.96	4.09	2.08	9.84	5.76	55.42
5.-9.	0.78	0.25	0.33	0.50	0.15	0.21	1.10	0.84	4.14
10.-13.	0.01	0.02	0.00	0.01	0.07	0.00	0.12	0.01	0.25
Σ	11.88	11.05	13.05	12.35	22.92	4.00	15.88	8.87	100

Относительная частота реализации в % классов устойчивости атмосферы для различных скоростей ветра в разрезе года.

U,м/с	Класс A	Класс B	Класс C	Класс D	Класс E	Класс F
1-2	0	43.807	0	6.8625	0	49.331
2-5	0	23.862	25.538	15.075	12.932	22.5925
5-10	0	0	28.566	71.434	0	0
>10	0	0	0	100	0	0



Последовательность формирования облака тяжелого газа при штиле



Последовательные фазы развития взрывного процесса

Хс=(Хмах+Хмин)/2

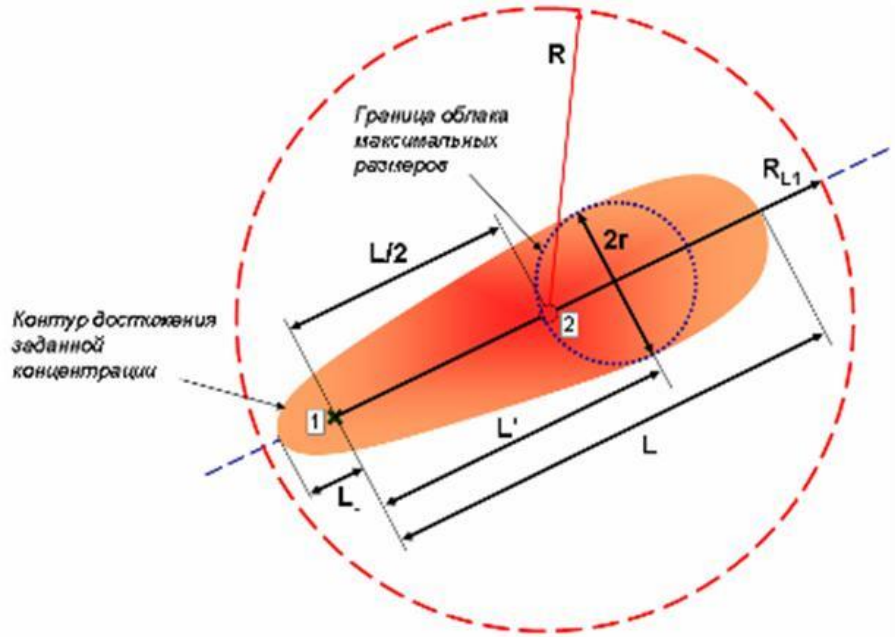


Схема распространения первичного и вторичного облаков ТВС при аварийном выбросе вскипающих жидкостей

Обозначения: 1 – источник выброса опасного вещества; 2 – источник инициирования взрывного превращения; L – максимальная дальность дрейфа облака ТВС в направлении ветра; L- – максимальное расстояние распространения облака ТВС в направлении против ветра; L' – расстояние от места выброса, на котором достигается максимальная ширина облака; r – полуширина облака ТВС; R – граница зоны избыточного давления при взрыве ТВС; R_{L1} – максимальный размер (от источника выброса) зоны поражения при взрыве с учетом дрейфа облака ТВС.

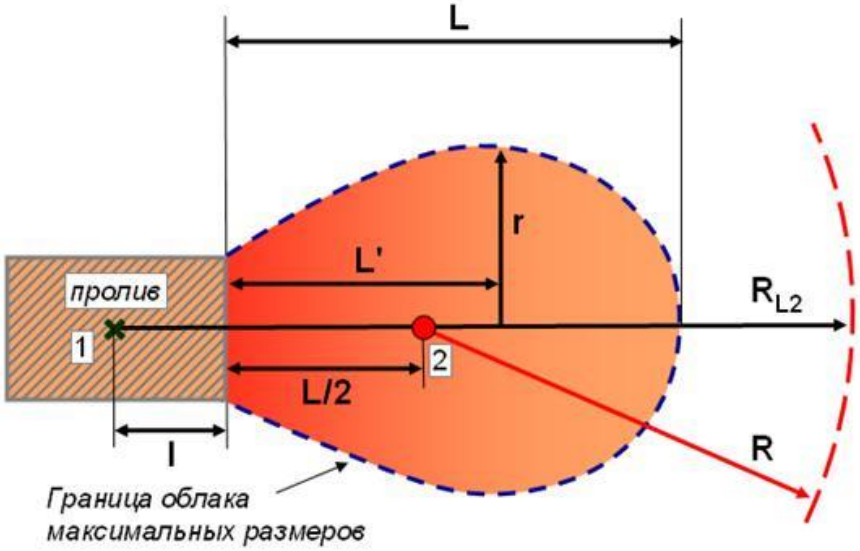
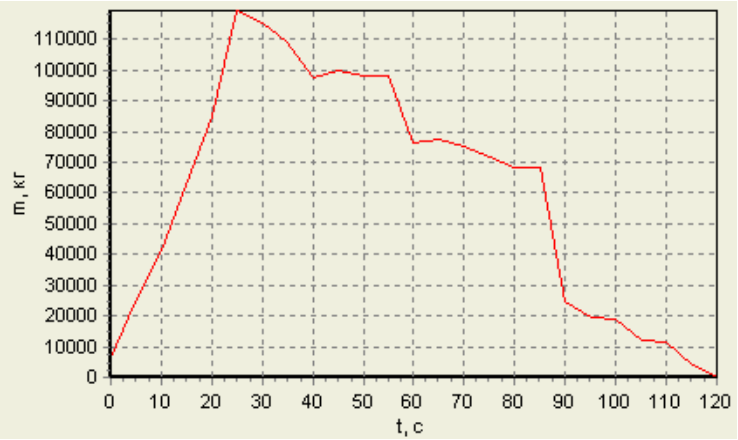


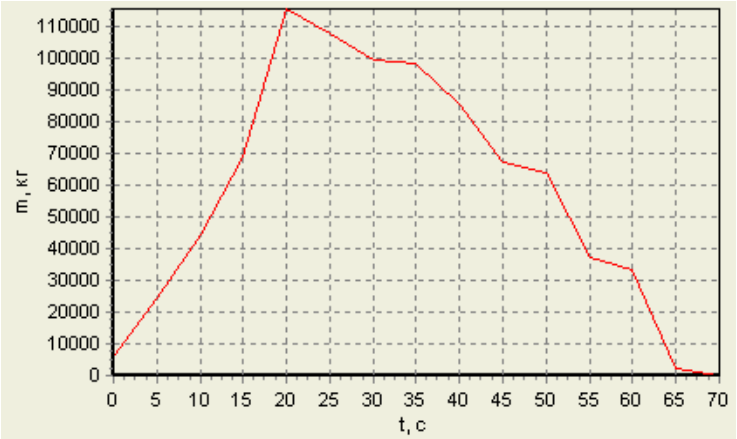
Схема распространения вторичного облака ТВС при аварийном выбросе и испарении из пролива стабильных жидкостей

Обозначения: 1 – источник выброса опасного вещества; 2 – источник инициирования ТВС; 3 – пролив; L – максимальная дальность дрейфа облака ТВС в направлении ветра; l – размер пролива в направлении ветра; L' – расстояние, на котором достигается максимальная ширина облака; r – полуширина облака ТВС; R – граница зоны избыточного давления при взрыве ТВС; R_{L2} – максимальный размер зоны поражения при взрыве с учетом дрейфа облака ТВС (от источника выброса).

Мгновенный выброс 380 т С3Н6



D2



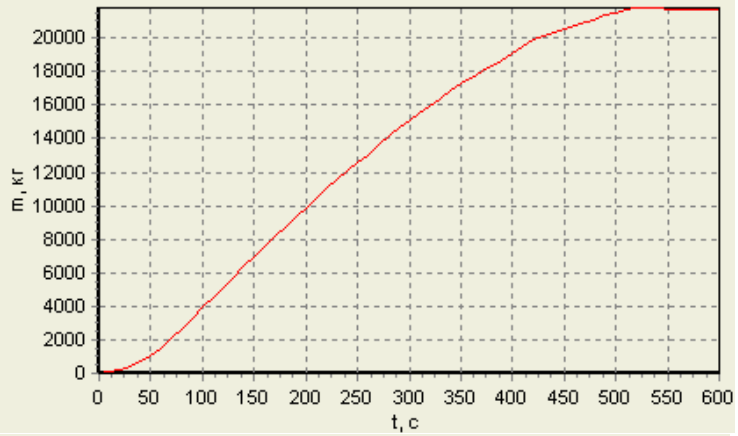
D5

Pappas J.A. Venting of large-scale volumes. Proceedings from the Control and Prevention of Gas Explosion, Oyes/IBC, December 1983.

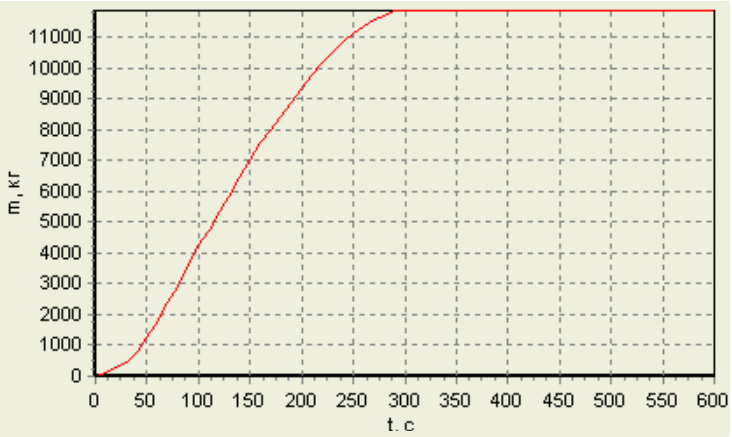
Правило 1/3.

ФНП z=0,1

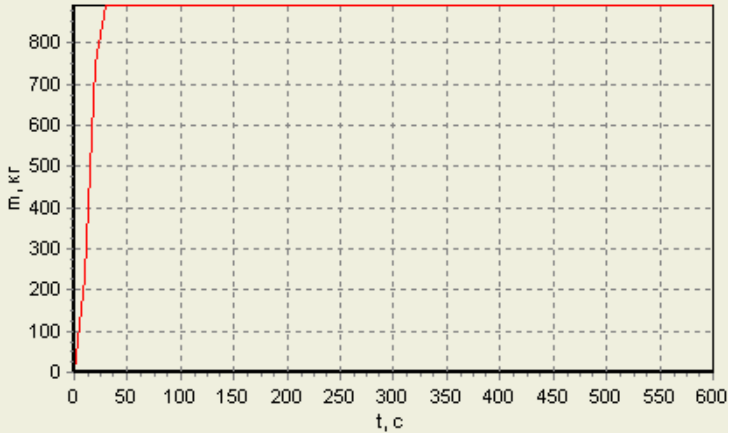
Продолжительный выброс 190 кг/с



F1

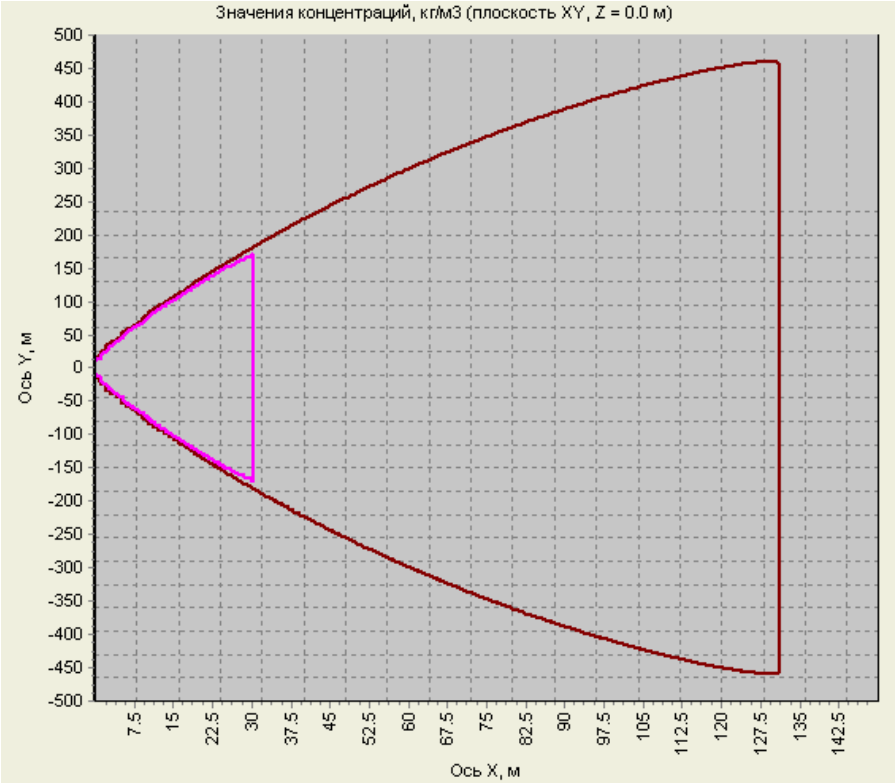


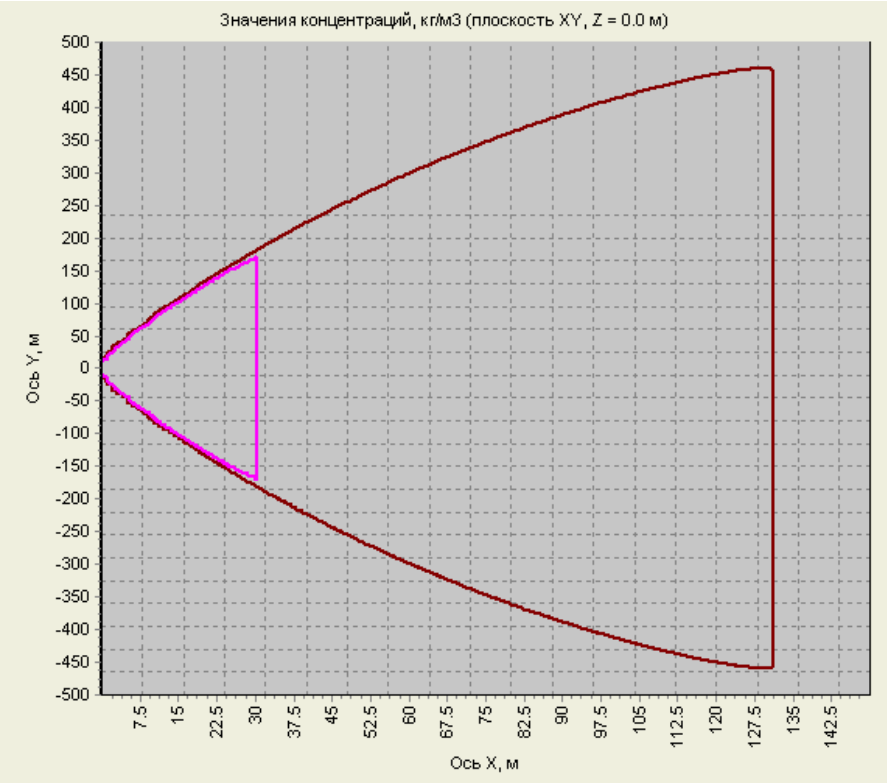
E2

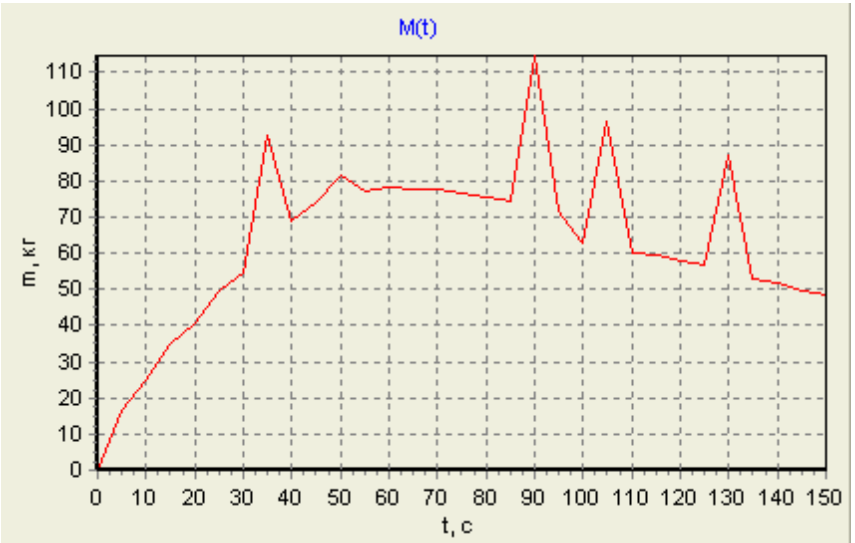


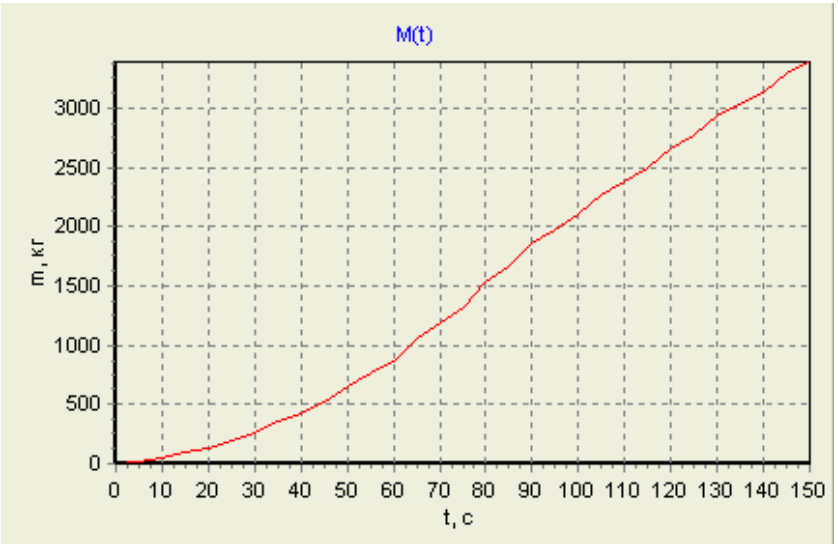
D5

D1 100 кг/с 3 сек 300 сек







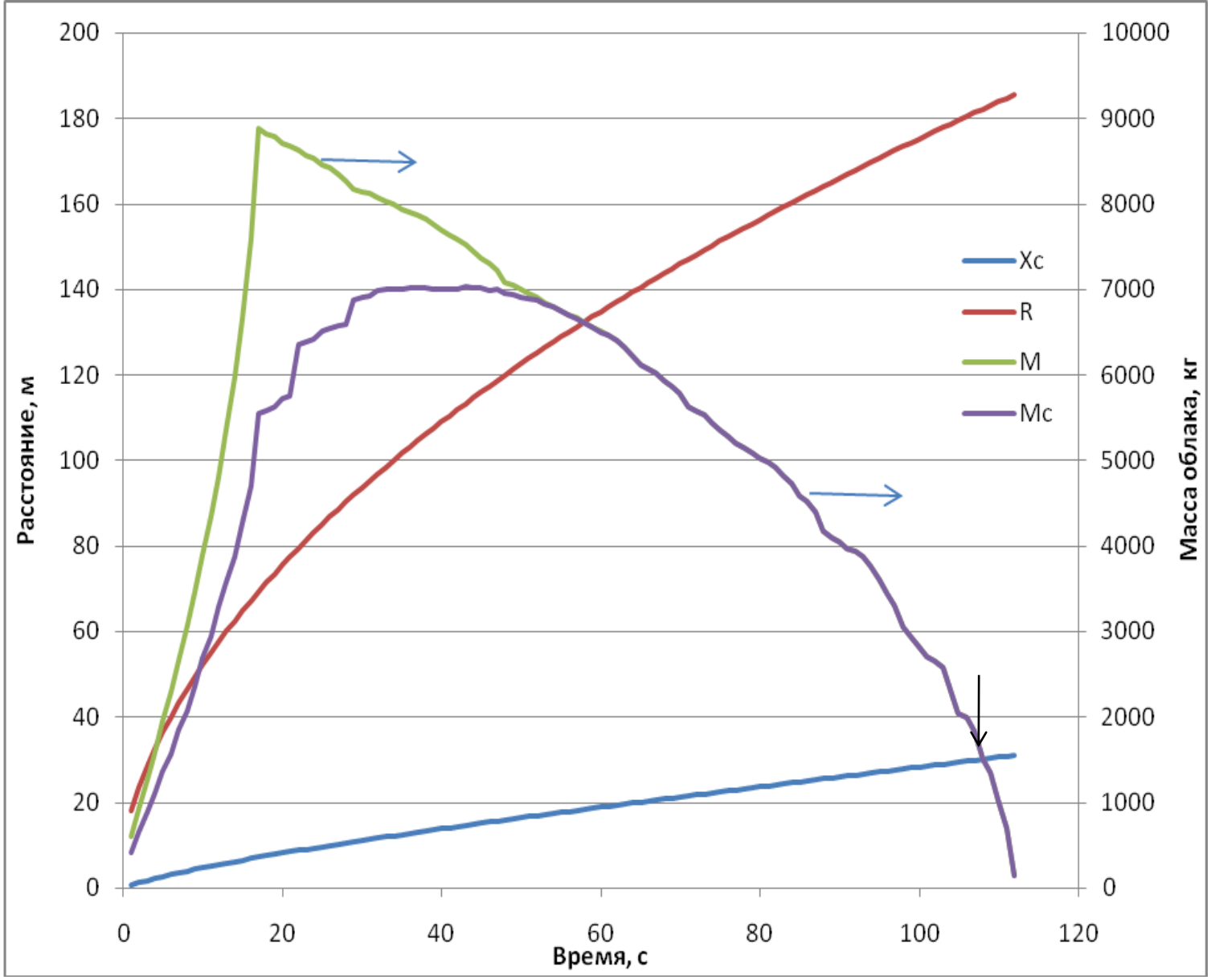


Для мгновенного выброса из следа облака по критерию Снкпв определяется -Хмах,+Хмах, Н/2мах,Х(Н/2мах). Центр облака ТВС помещается в точку по оси дрейфа Хсм=((-Хмах)+(+Хмах))/2.

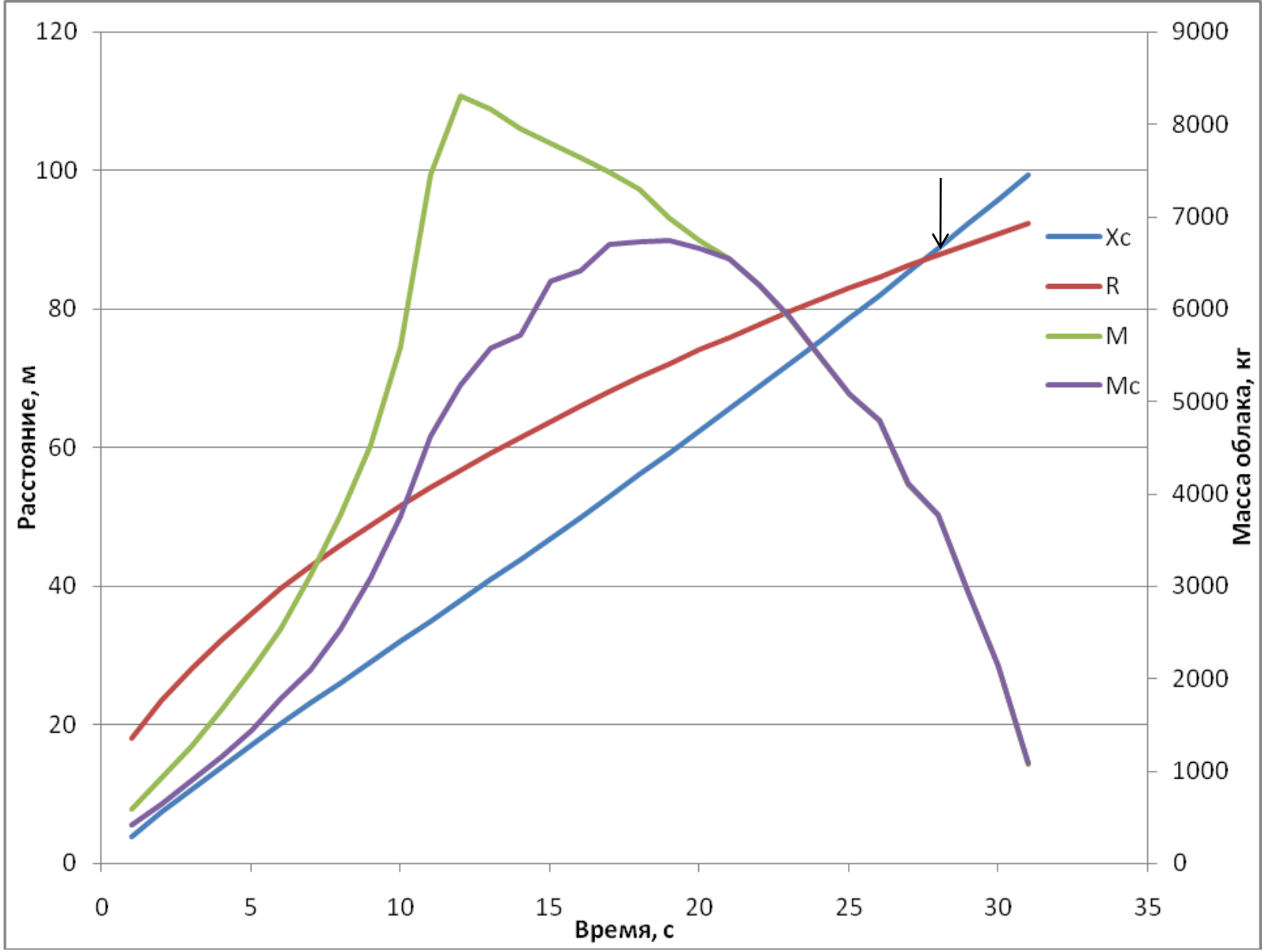
Расчет по ТОКСИ3 дает для выброса 10 тонн пропана в виде газа при температуре -42°С при параметрах по умолчанию для шероховатости 1.3 м (центры больших поселков) следующие параметры дрейфа:

	F1	D5
-Хмах	-154 м	-20 м
+Хмах	215 м	192 м
Н/2мах	185 м	92 м
Х(Н/2мах)	31 м	97 м
Хсм	30,5 м	86 м

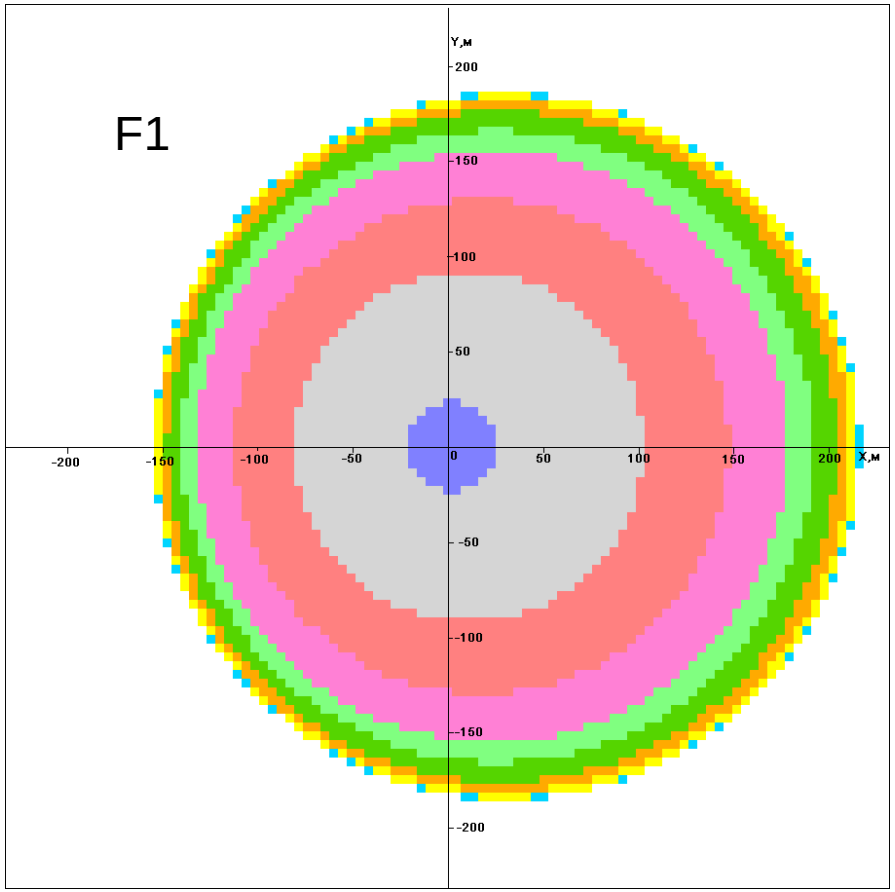
Рассчитаем массу (М) в различные моменты существования облака, находящуюся между Снкпв и Свкпв. А также массу скорректированную с условием методики последствий взрыва ТВС с учетом уравнения №1 методики, где масса участвующая во взрыве определяется как Мс=М*Сстехиомерия/С при условии, С> Сстехиомерия, но меньше или равна Свкпв.

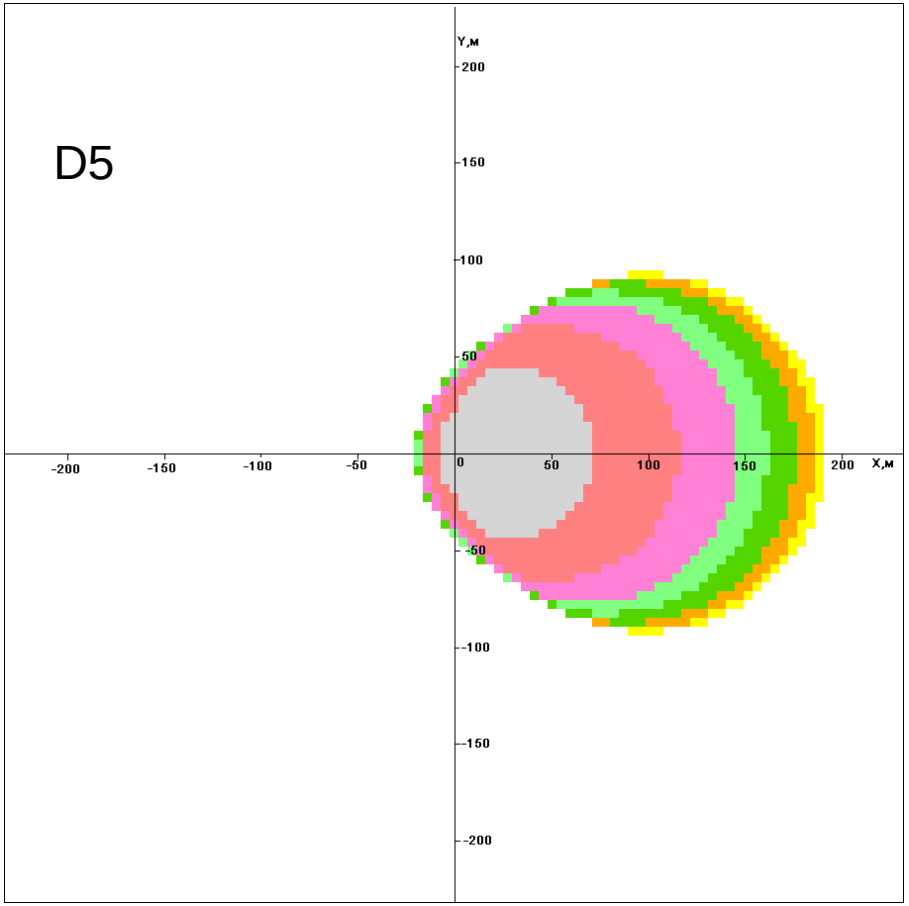


Изменение характеристик при дрейфе облака ТВС (10 тонн пропана) при метеоусловиях F1. Xc – смещение центра облака ТВС, R – радиус облака, M – масса облака, Mc – скорректированная масса облака. Стрелка показывает Xcм.



Изменение характеристик при дрейфе облака ТВС (10 тонн пропана) при метеоусловиях D5. Xc – смещение центра облака ТВС, R – радиус облака, M – масса облака, Mc – скорректированная масса облака. Стрелка показывает Xcм

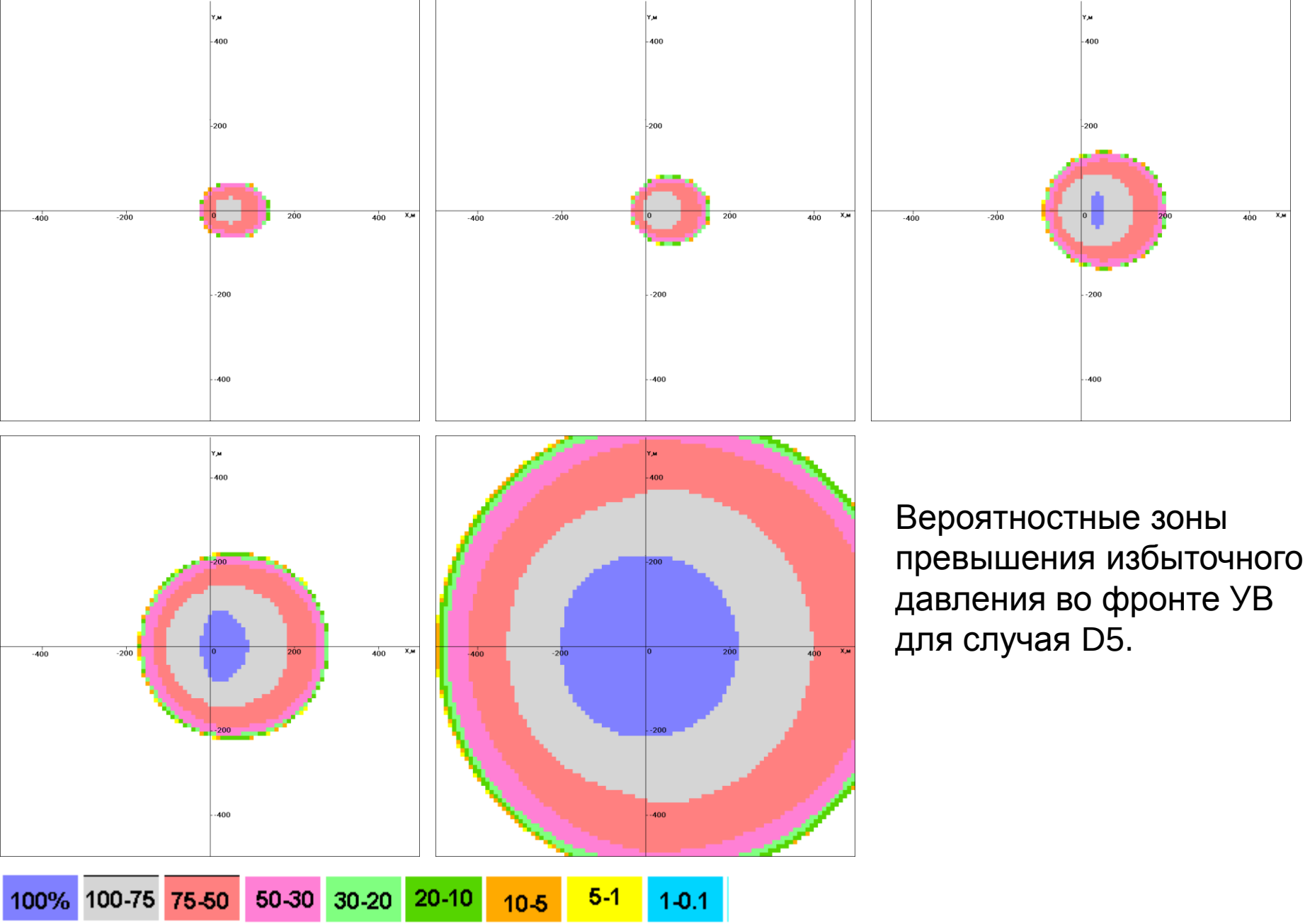




100%	100-75	75-50	50-30	30-20	20-10	10-5	5-1	1-0.1

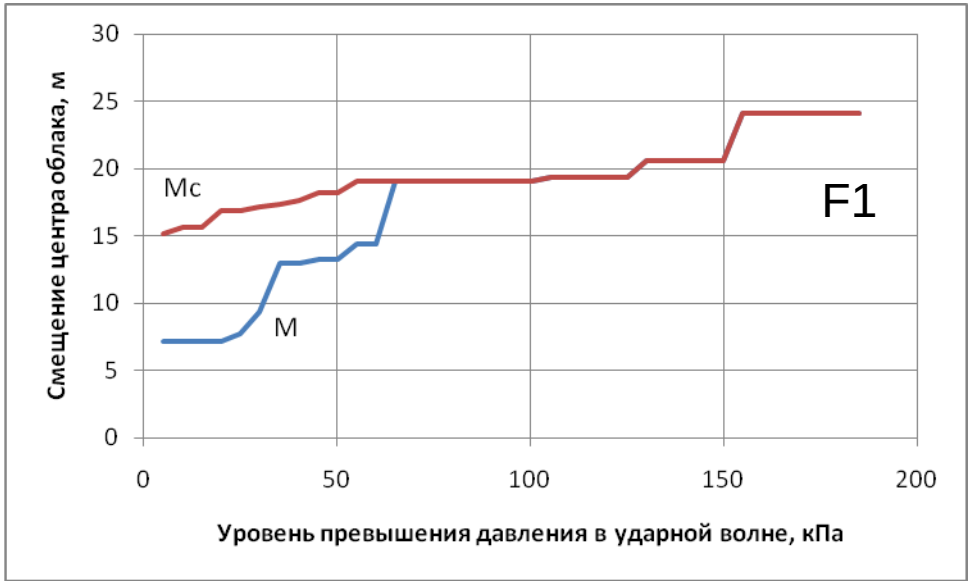
Процент от времени существования облака ТВС, %

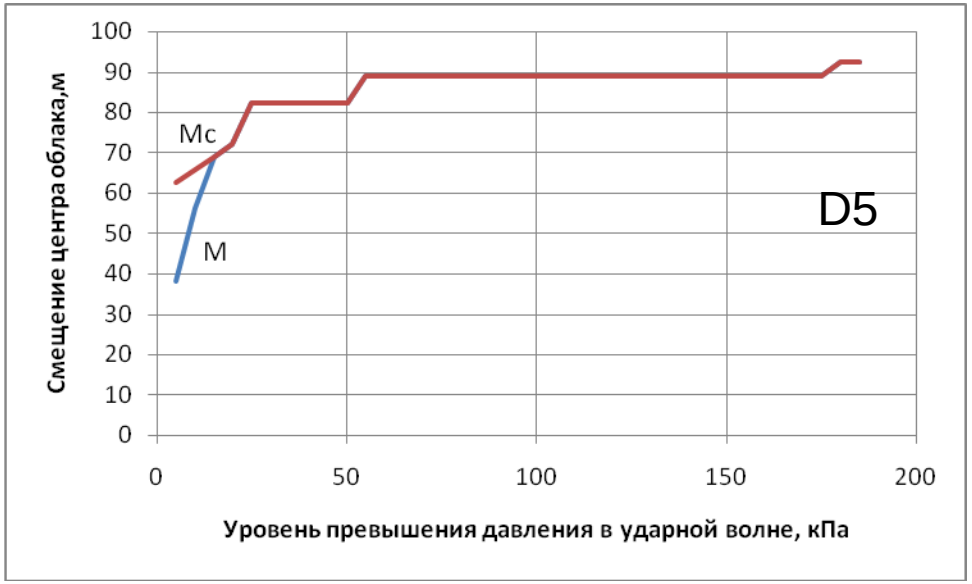
Вероятность существования взрывоопасного облака за время его существования в различных точка территории в пределах следа облака



Вероятностные зоны превышения избыточного давления во фронте УВ для случая D5.

Вероятность превышения избыточного давления во фронте УВ, %





Зависимость Хсм, при котором наблюдается максимально удаленный по оси дрейфа негативный эффект превышения давления во фронте ударной волны.

С повышением значения давления во фронте УВ, Хсм увеличивается. При этом для F1 его значение несколько ниже 30,5 м (примерно на 6 м), а для D5 – соответствует избыточному давлению во фронте ~55 кПа.

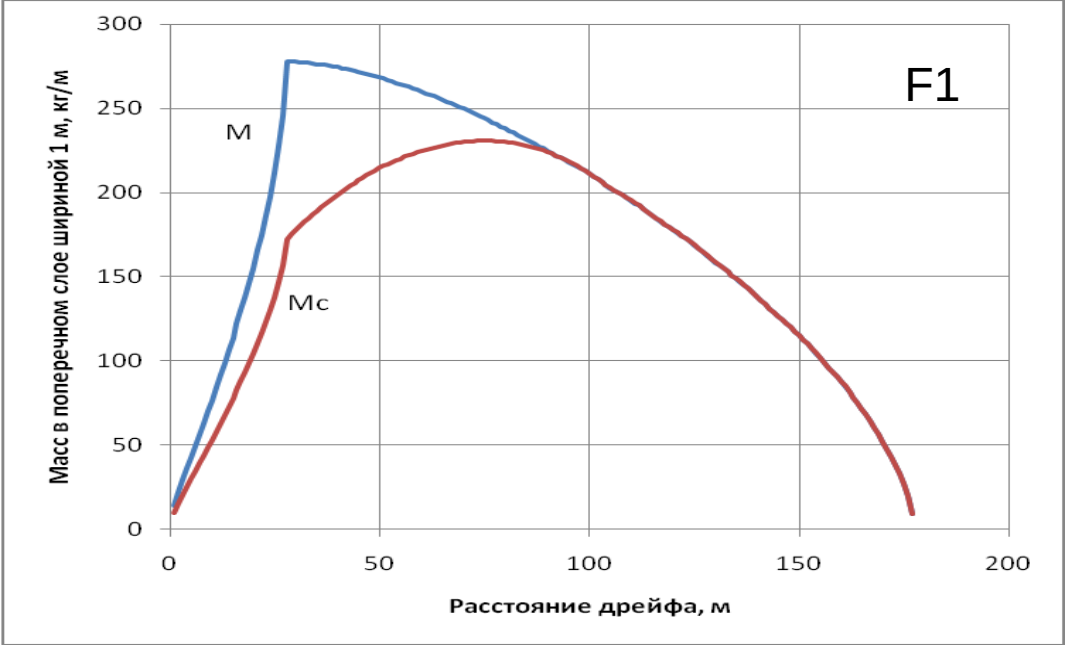
Продолжительный выброс.

Расчет по ТОКСИ3 дает для выброса 100 кг/с пропана в виде газа при температуре -42°С при параметрах по умолчанию для шероховатости 1.3 м (центры больших поселков) следующие параметры дрейфа:

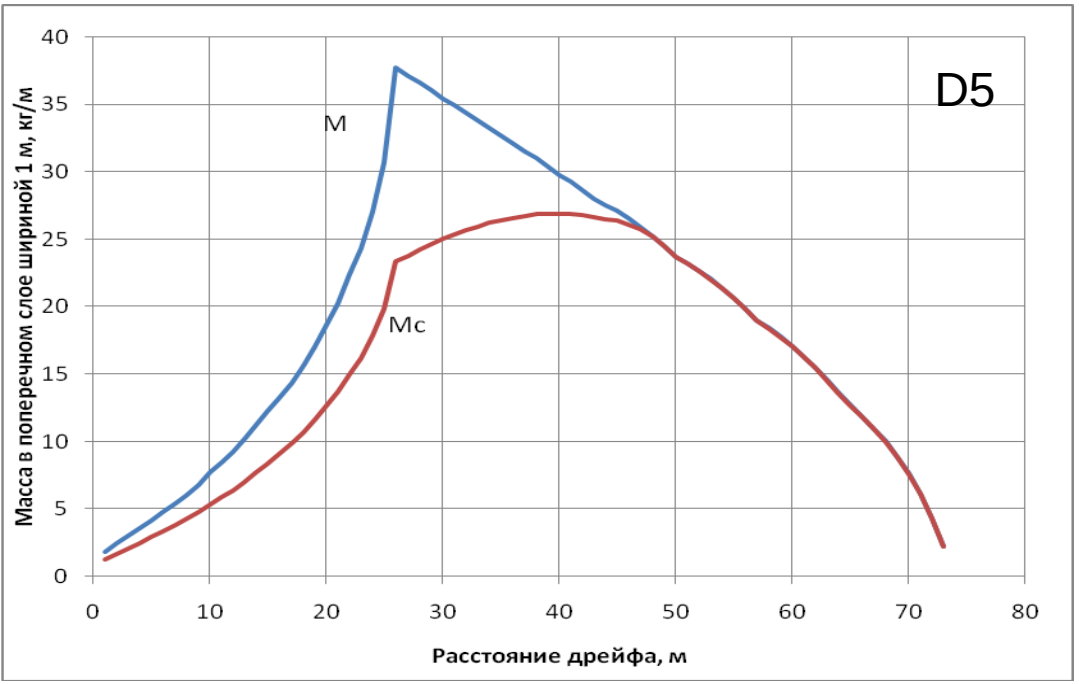
	F1	D5
-Хмах	- 0 м	0 м
+Хмах	- 177 м	73 м
Н/2мах	- 874 м	62 м
Х(Н/2мах)	- 176 м	73 м
Хсм	- 88 м	36,5 и

Рассчитаем массу (М), находящуюся между Снкпв и Свкпв в поперечном слое облака ТВС в условиях стационара, т.е. облака далее не меняет своей формы.

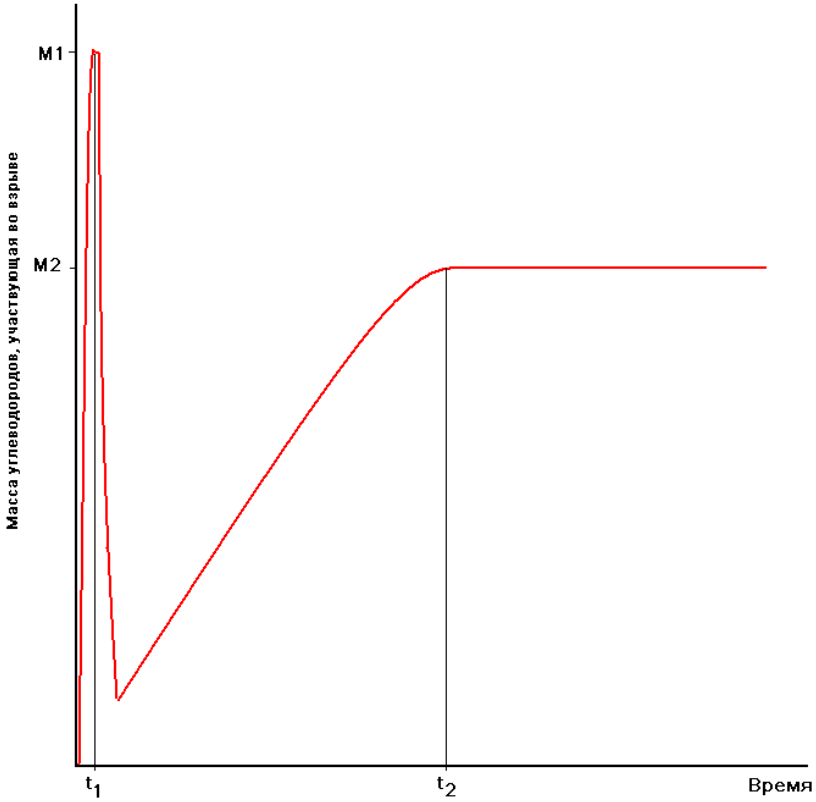
А также массу скорректированную с условием методики последствий взрыва ТВС с учетом уравнения №1 методики, где масса участвующая во взрыве определяется как Мс=М*Сстехиомерия/С при условии, С> Сстехиомерия, но меньше или равна Свкпв.

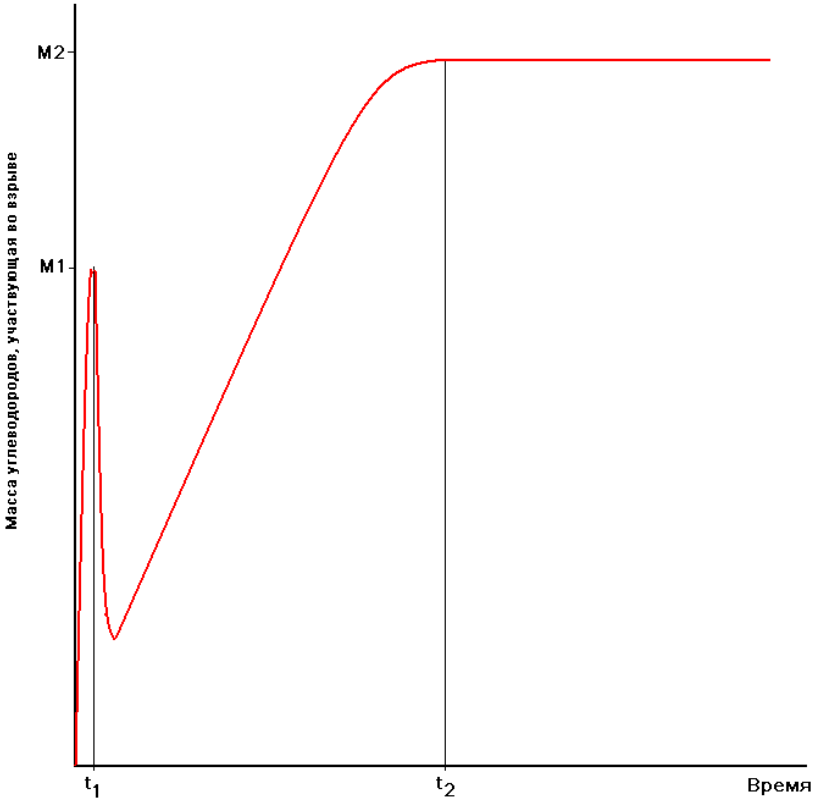


Изменения масс М и Мс вдоль оси дрейфа при выбросе с постоянной скоростью 100 кг/с газообразного пропана для различных метеоусловий



Определим Хсм как центр массы облака ТВС: для F1 М Хсм=80 м, Мс Хсм= 85,4 м (по методике Хсм=88 м); для D5 М Хсм=38,2 м, Мс Хсм= 40,6 м (по методике Хсм=36,5 м). Видно, что Хсм по половине длины следа для F1 несколько больше, а для D5 – меньше, но в пределах 10%. Можно оставить все как есть, поскольку низкие скорости ветра дают наибольший вклад в последствия.





Варианты динамики изменения взрывоопасной массы при сценарии полного разрушения аппарата

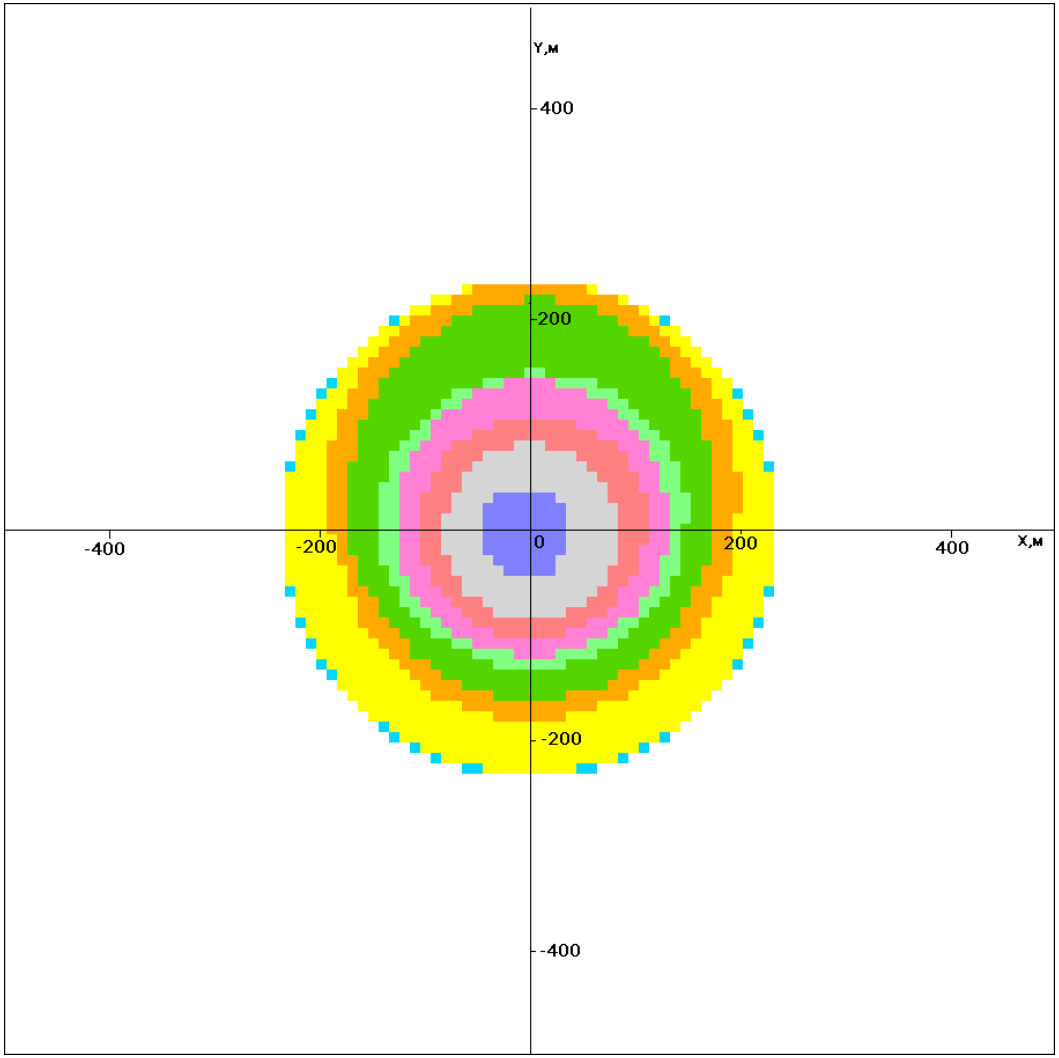
Формирование расчетного сценария для оценки последствий взрыва

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

G, кг/с	$Q_{МГ}$	$Q_{ПВ}$	$Q_{ИД}$
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

Территориальное распределение вероятности достижения ударной волной (ΔP=28 кПа) при авариях с выбросом 50 кг/с, происходящего с частотой 1 в год, с учетом дрейфа облака.

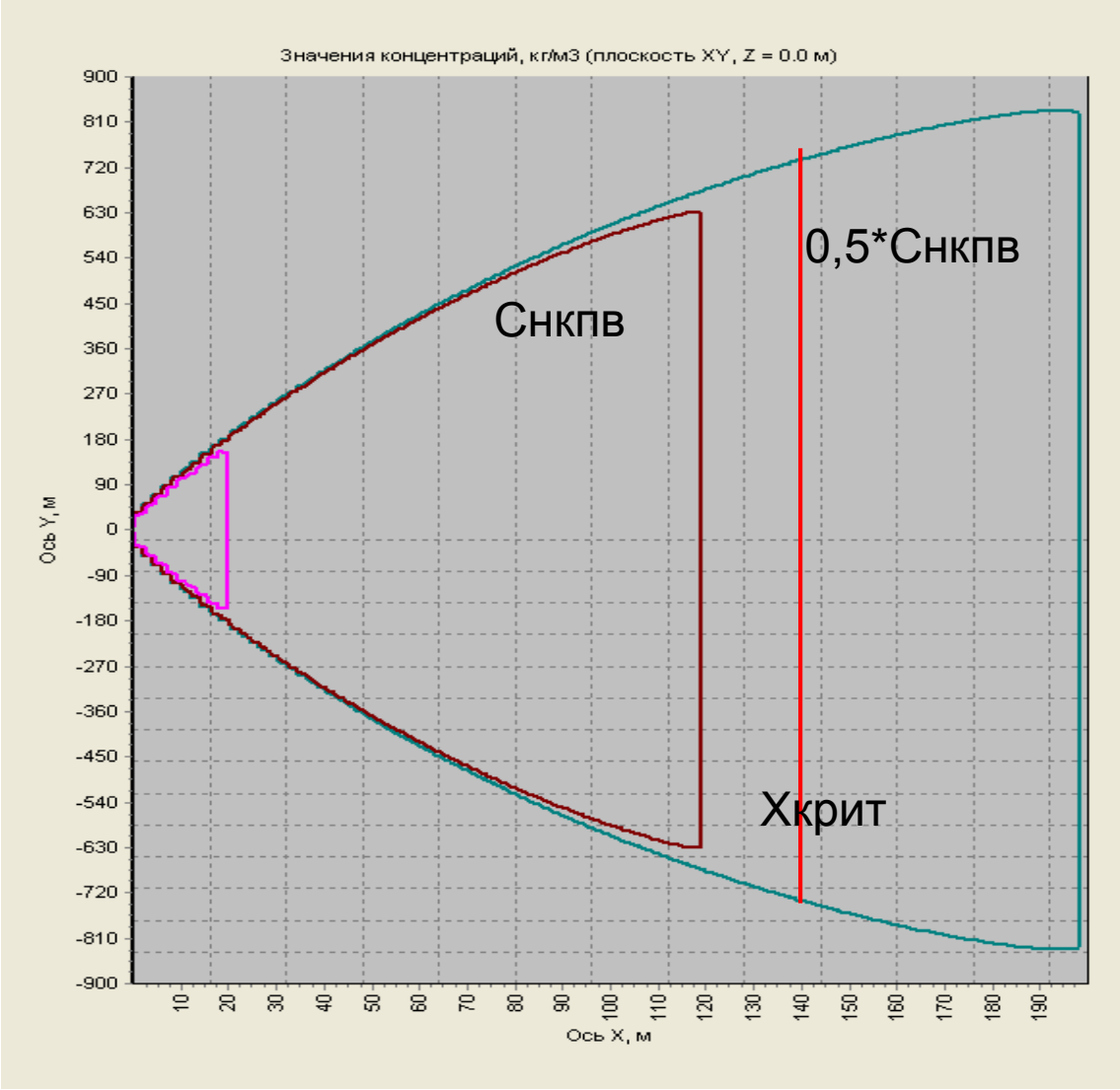


100% | 100-75 | 75-50 | 50-30 | 30-20 | 20-10 | 10-5 | 5-1 | 1-0.1 | Процент превышения УВ более 28 кПа, %

Оценка сценария «пожар-вспышка»

Критерий поражения – зона распространения горения облака ТВС без создания значимой ударной волны, т.е. площадь, где возможно распространение пламени. Строится поле вероятности достижения критической концентрации различных точек территории.
Обычно выбирают критерий по концентрации – Снкпв или 0.5*Снкпв
Газпром 2-2.3-351-2009 Снкпв – зона воздействия пламени, 0.5*Снкпв – зона термического и барического воздействия. S(0.5*Снкпв)=1,15-1,30* S(Снкпв)
Пожарный риск – RF= 1.2*R(Снкпв). S(0.5*Снкпв)=1,44*S(Снкпв)

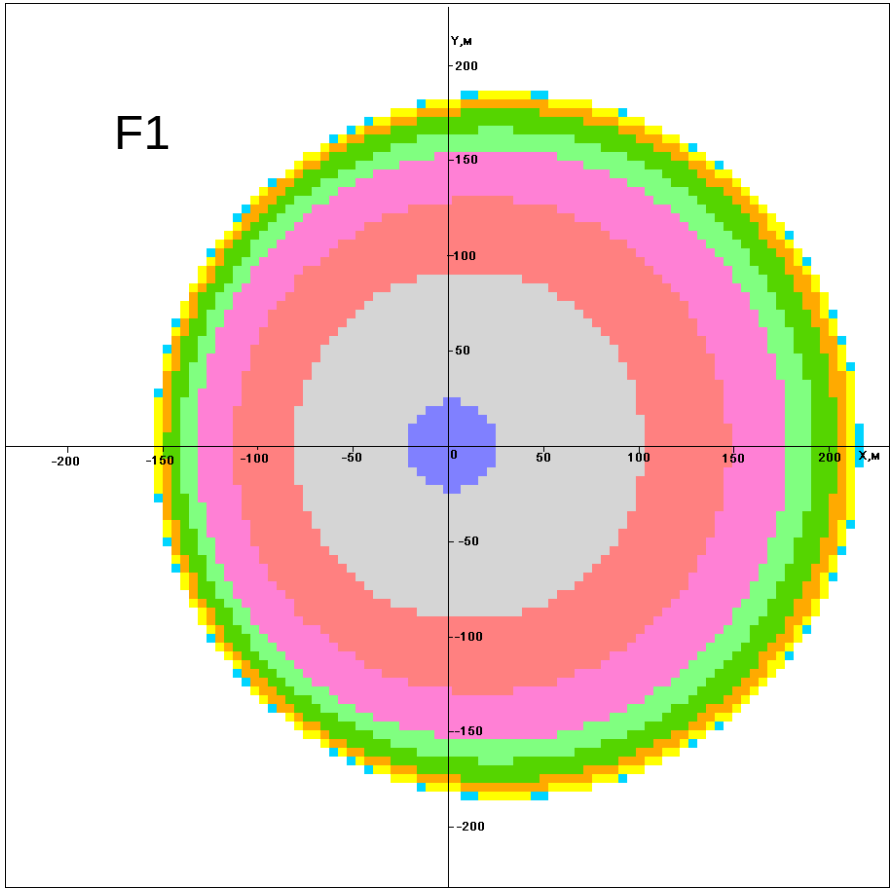
Пример: Выброс 1500 кг пропана. Шероховатость – 1.3 м. КУ – F, U=1 м/с
0.5*Снкпв +X= 146 м, -X= 111 м, H/2 = 131 м;
Снкпв +X= 118 м, -X= 95 м, H/2 = 106 м;
S(0.5*Снкпв)=1,49*S(Снкпв)
Пример: Выброс продолжительный 50 кг/с пропана. Шероховатость – 1.3 м. КУ – F, U=1 м/с
0.5*Снкпв +X= 198 м, H/2 = 835 м;
Снкпв +X= 119 м, H/2 = 632 м;
S(0.5*Снкпв)=2,2*S(Снкпв)

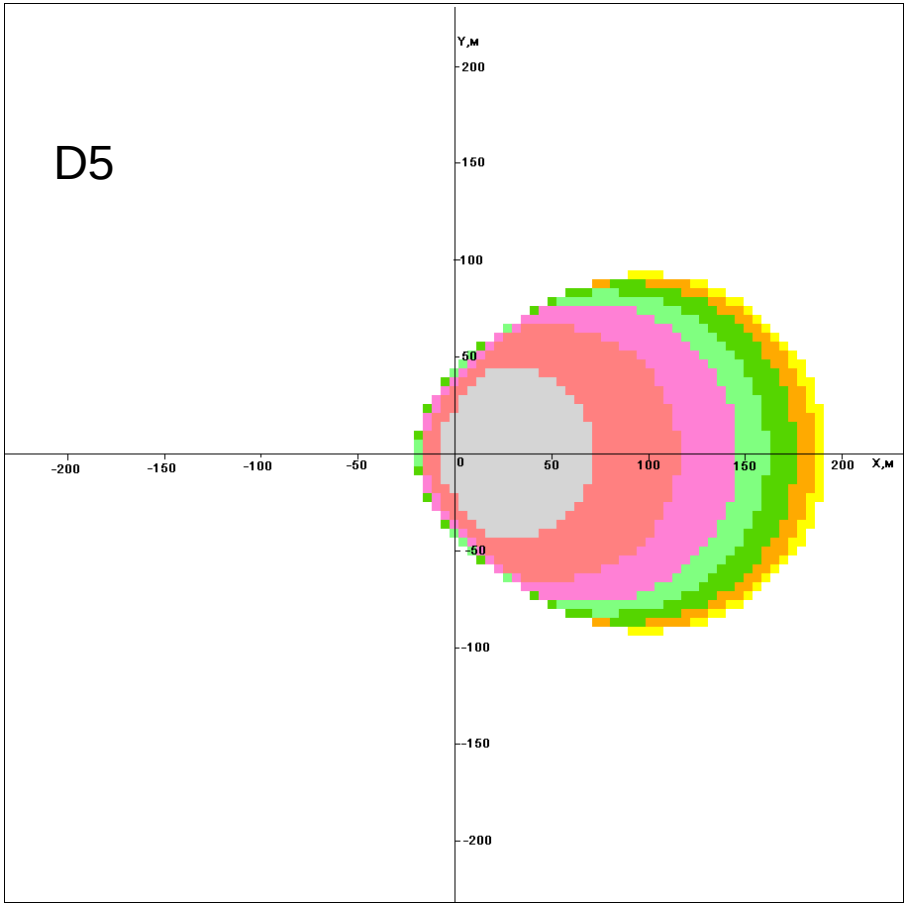


Зона существования взрывоопасного облака для продолжительного выброса со скоростью 50 кг/с

Критерии подходят для мгновенного выброса, а для продолжительного, на мой взгляд, весьма консервативны.

Хкрит=1,2*(+X); (H/2)крит=1,2*(H/2);



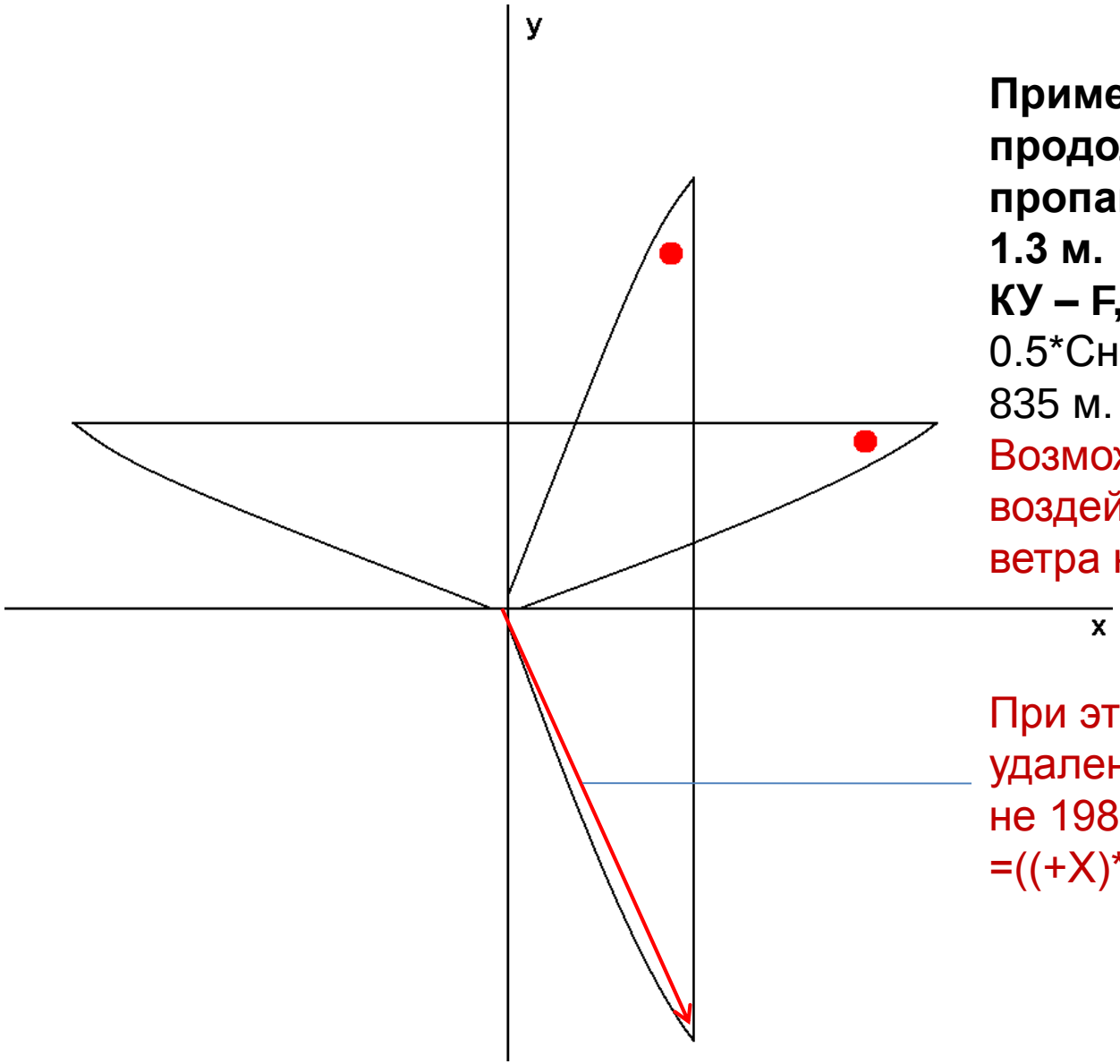


100%	100-75	75-50	50-30	30-20	20-10	10-5	5-1	1-0.1

Процент от времени существования облака ТВС, %

Вероятность существования взрывоопасного облака за время его существования в различных точка территории в пределах следа облака.

S(облака)=0,5*S(следа облака)



Пример: Выброс продолжительный 50 кг/с пропана. Шероховатость – 1.3 м.

КУ – F, U=1 м/с

0.5*Снкпв +X= 198 м, H/2 = 835 м.

Возможно негативное воздействие при направлении ветра не в сторону объекта.

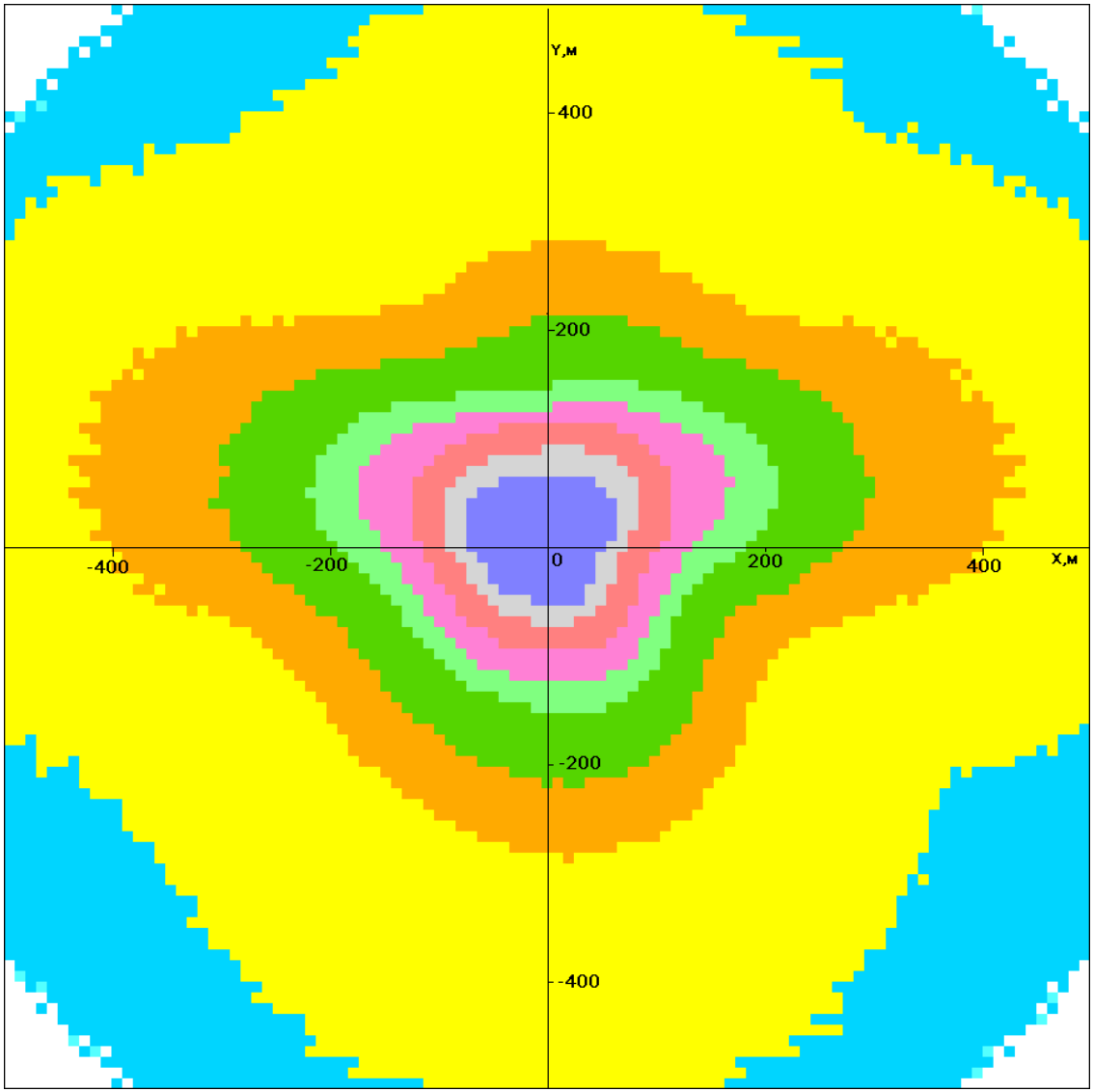
При этом максимальное удаление от центра выброса не 198 м, а 858 м =((+X)*(+X)+(H/2)*(H/2))^0.5

Выбор сценариев

Критерий – площадь существования взрывоопасного облака

КУ	U	Sпрод	Sмгн
F	1	75208	35281
F	2	27645	22156
E	2	12483	14950
D	1	28620	21631
D	2	9380	13267
D	5	2100	6644
D	10	756	4069
C	2	7442	11684
C	5	1672	6079
B	1	13969	15386
B	2	4465	9156

Поле вероятности достижения взрывоопасной концентрации различных точек территории

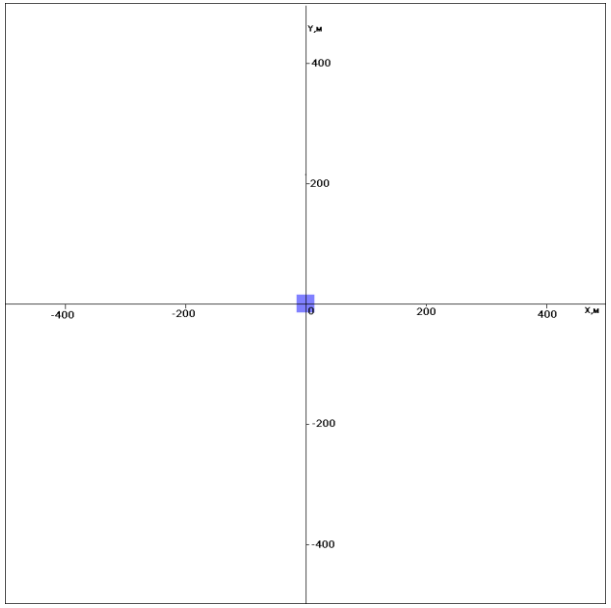


Преобладающие ветра - южные

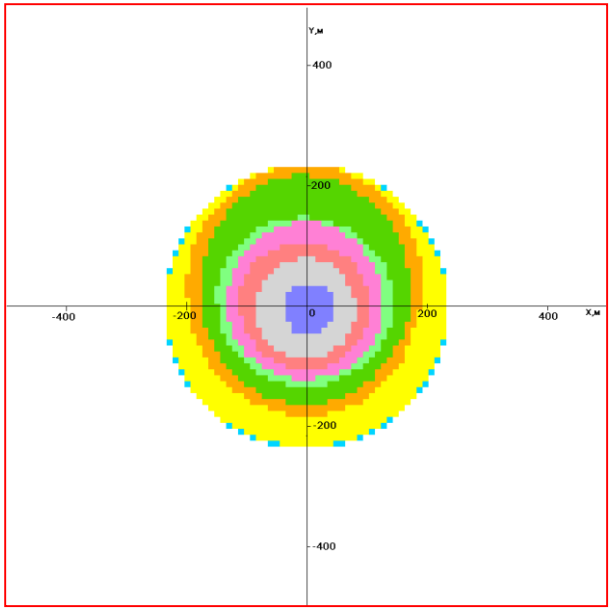
100%	100-75	75-50	50-30	30-20	20-10	10-5	5-1	1-0.1

Процент достижения облака ТВС с Снкпв, %

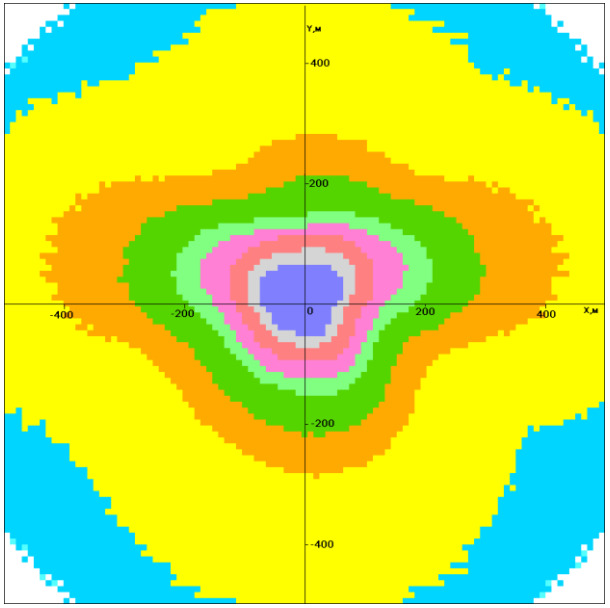
Пожар

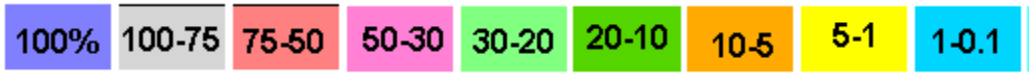


Взрыв с ИД 28 кПа



Пожар-вспышка





Процент поражения, %

Относительная вероятность реализации сценариев

0,15	0,09	0,06
0,20	0,12	0,08

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

G, кг/с	$Q_{МГ}$	$Q_{ПВ}$	$Q_{ИД}$
Большой (>50)	0,150	0,176	0,600
Полный разрыв	0,200	0,240	0,600

ВСЁ