

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

Дацко Елена Васильевна

* **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРЫ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В
ХРАНИЛИЩАХ С ТВЕРДЫМ РАКЕТНЫМ ТОПЛИВОМ**

Научный руководитель:
Беляев Николай Николаевич,
д. т. н., профессор

Днепр – 2017

* Павлоградский химический завод (ПХЗ) является крупнейшим химическим объектом в Украине. На нем хранится, утилизируется и производится твердое ракетное топливо (ТРТ).

На территории ПХЗ находится ряд хранилищ, где размещены твердотопливные ракетные двигатели ракетной системы РС-22 (система «Scalpel»). Здесь хранятся ТРТ блоки первой, второй и третьей ступени РС-22.



Рис. 1. Снаряженный корпус твердотопливного ракетного двигателя первой ступени РС-22



Рис. 2. Территория Павлоградского химического завода (ПХЗ): 1 – хранилища твердого ракетного топлива; 2 – здания на территории Павлоградского химического завода

Павлоградский
химический завод



Рис. 3. МБР «Скальпель» (PS-22), в транспортно-пусковом контейнере

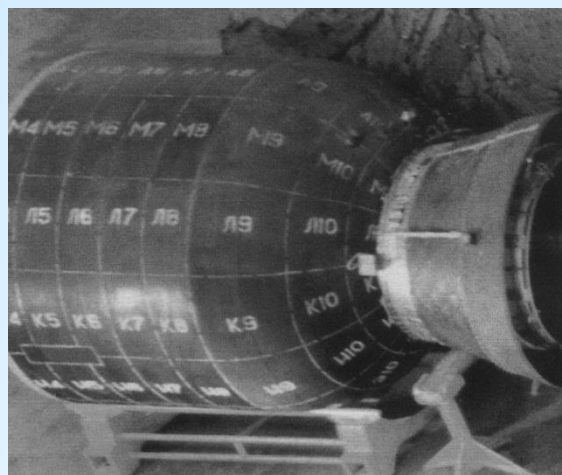


Рис. 4. Снаряженный корпус двигателя III ступени PS-22 с соплом



Рис. 5. Хранилища твердого ракетного топлива на территории ПХЗ

Таблица 1

Продукты сгорания твердого ракетного топлива МБР «Скальпель» [Устименко Е. Б., Швыдько П. В.]

Наименование вредного вещества	Удельный выброс вредных веществ при взрывании смесового твердого ракетного топлива вместе со снаряженным и корпусным двигателями (СКД), кг		
	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень
Al_2O_3	19975,7	11512,5	5622,8
HCl	6855,8	1351,3	678,5
CO	9121,7	5290,9	1849,8
NO_x в пересчете на NO_2	1808,0	3974,4	3532,8
Диоксины и циклические гетероароматические вещества	458,4	238,3	84,4
Сажистые полициклические вещества	781,6	453,4	158,6

Нормативная методика для прогноза последствий аварий на химически опасных объектах (Украина)

4

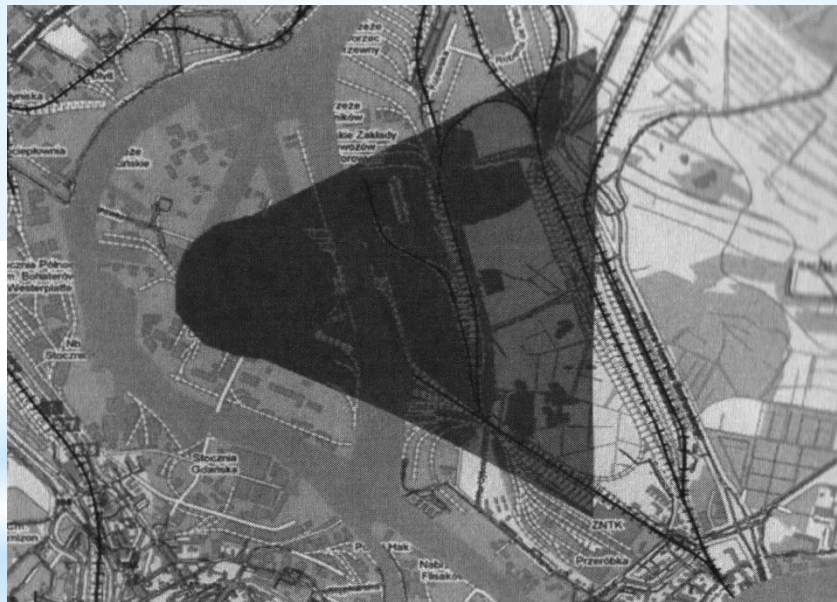
$$K_{\text{прог.}} \Gamma = N \cdot K_{\text{М}}^{0,2} \Gamma^2$$

K - коэффициент, который зависит от степени вертикальной стойкости воздуха;

Γ - глубина зоны химического загрязнения;

N - время, на которое рассчитывается глубина площади прогнозированной зоны химического загрязнения.

Модель Гаусса, принятая в НАТО



Зона поражения в г. Гданськ (выброс химически опасного вещества)

ЭТАП - 2

Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха при горении твёрдого ракетного топлива в масштабе «Microscale⁵»

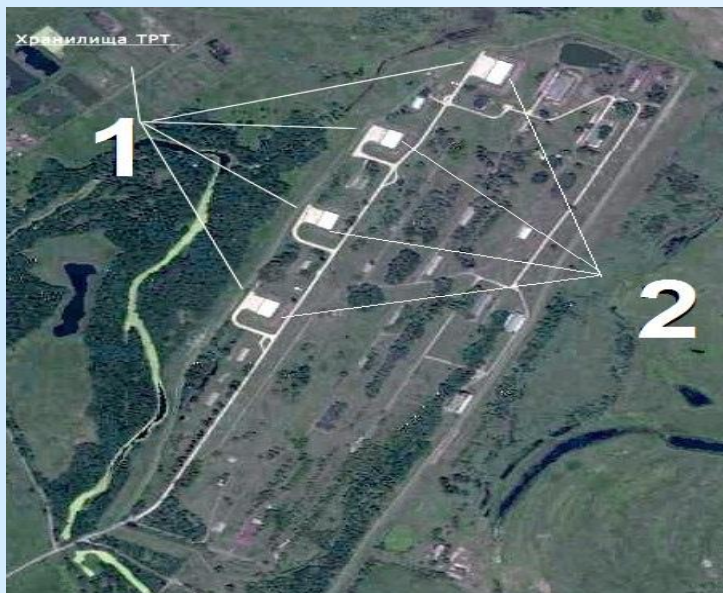


Рис. 12. Общий вид зоны размещения хранилищ твёрдого ракетного топлива: 1 – хранилище твёрдого ракетного топлива, 2 – защитный вал



Рис. 13. Хранилище твёрдого ракетного топлива:
1 – здание хранилища;
2 – защитный вал

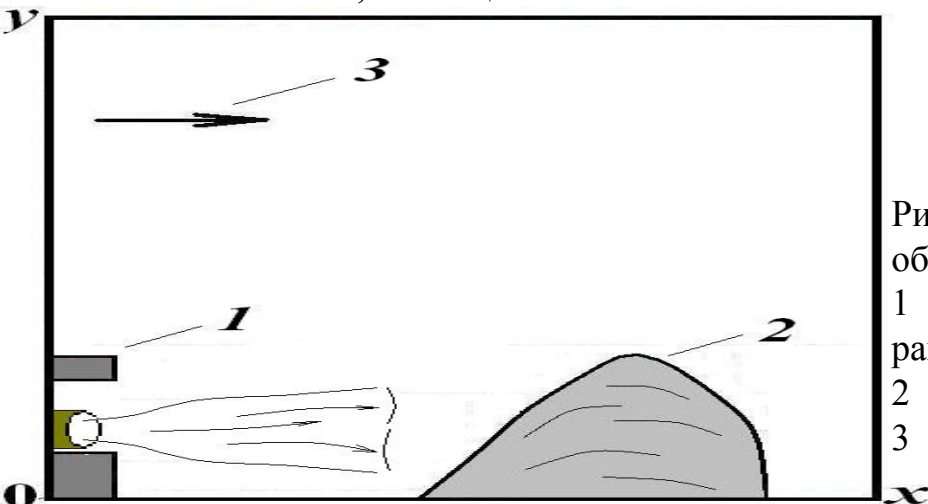


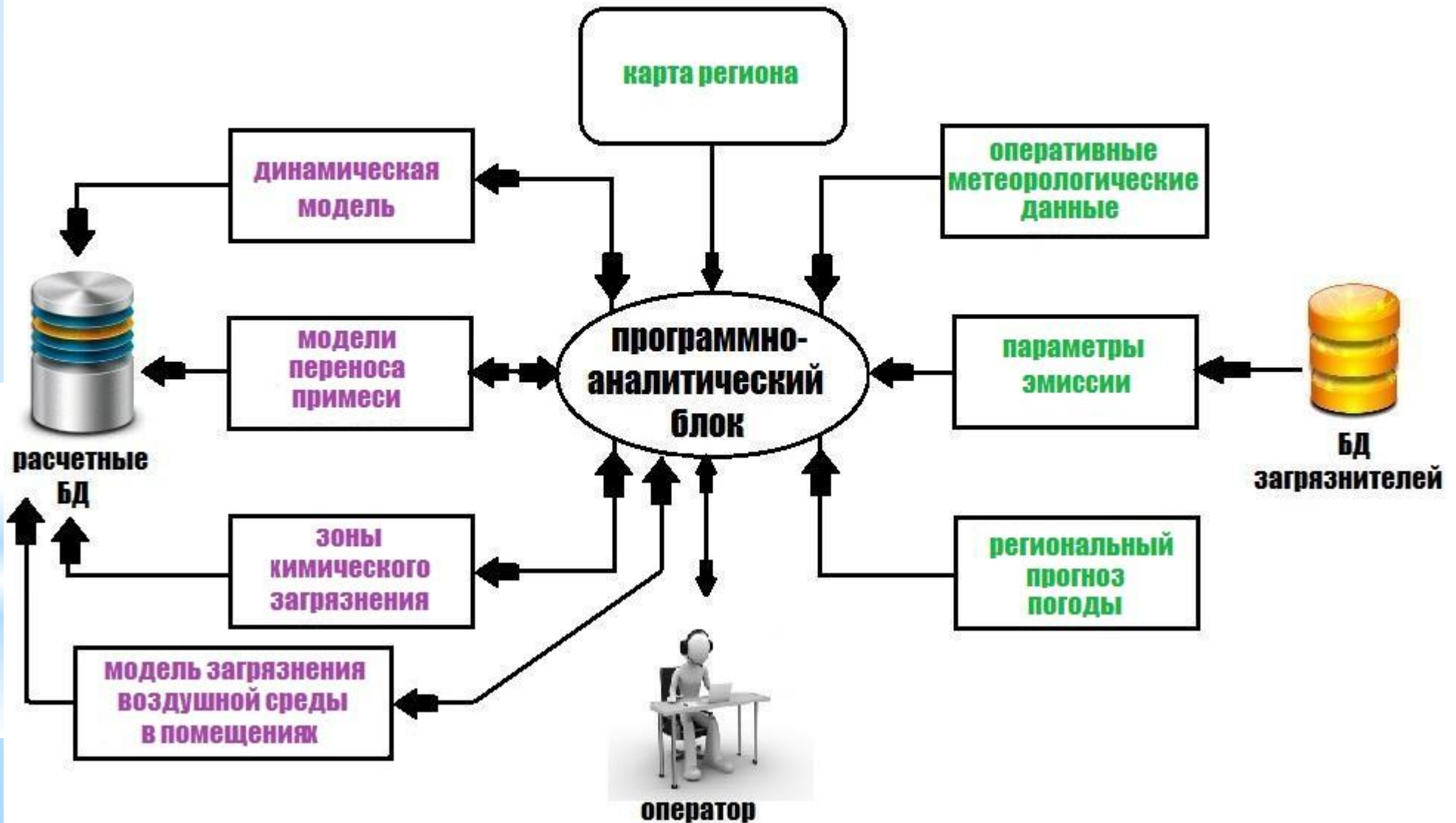
Рис. 15. Схема расчетной области:

- 1 – хранилище твёрдого ракетного топлива;
- 2 – защитный вал;
- 3 – направление ветра

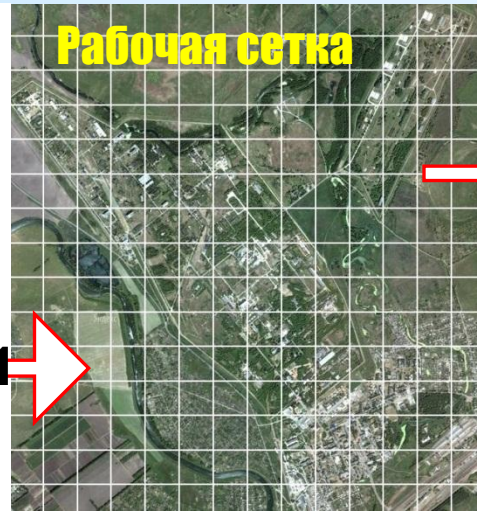
Разработанная модель учитывает:

1. Наличие здания хранилища внутри которого находится источник загрязнения;
2. Наличие защитного вала сложной формы;
3. Взаимодействие ветрового потока со зданием хранилища и вытекаемой струей загрязнителя

Информационно-моделирующая система для решения задач переноса загрязнений при аварийных выбросах опасных веществ. Функциональные блоки и потоки информации.



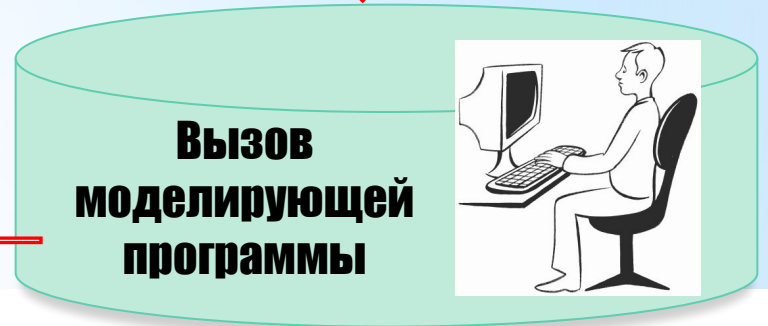
СТАДИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



Ввод данных

- параметры эмиссии ;
- метеорологические данные;
- положение рецепторов и т.д.

3



Результаты прогнозирования

4

5



6

Таблица (расчет поражающей концентрации в точке нахождения рецептора)

Время после аварии в хранилище	Концентрация опасного вещества в атмосферном воздухе, С [мг/м ³]	Превышение ПДК (С/ПДК)
35 мин	17.8	89
50 мин	6.1	30
60 мин	0.48	2.4



Рис. 32. Территория Павлоградского химического завода:
1 – хранилище с твердым ракетным топливом;
2 – положение рецептора (здание на территории завода)

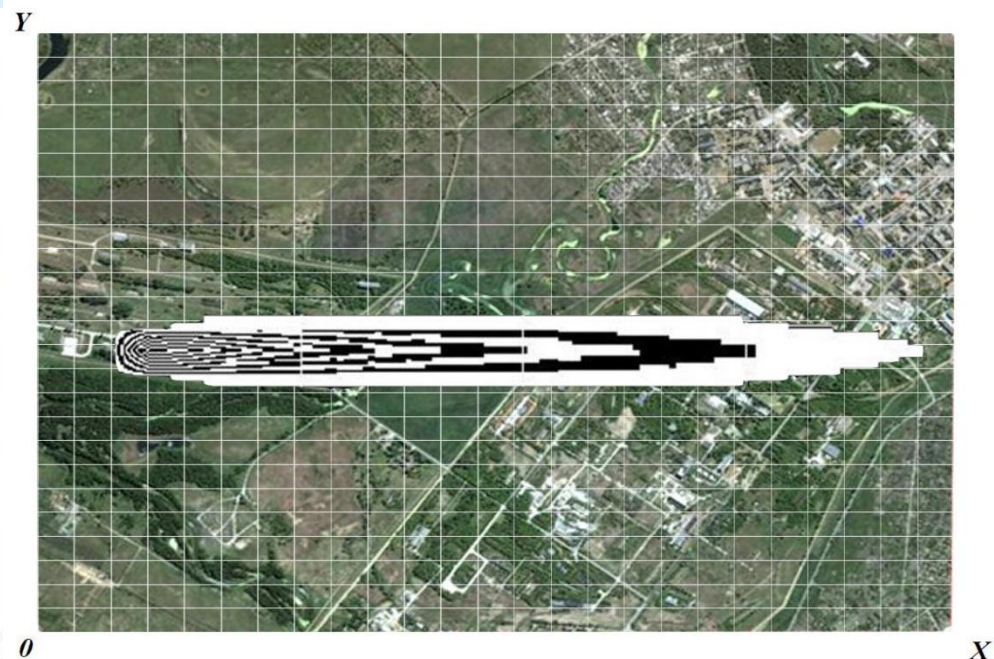
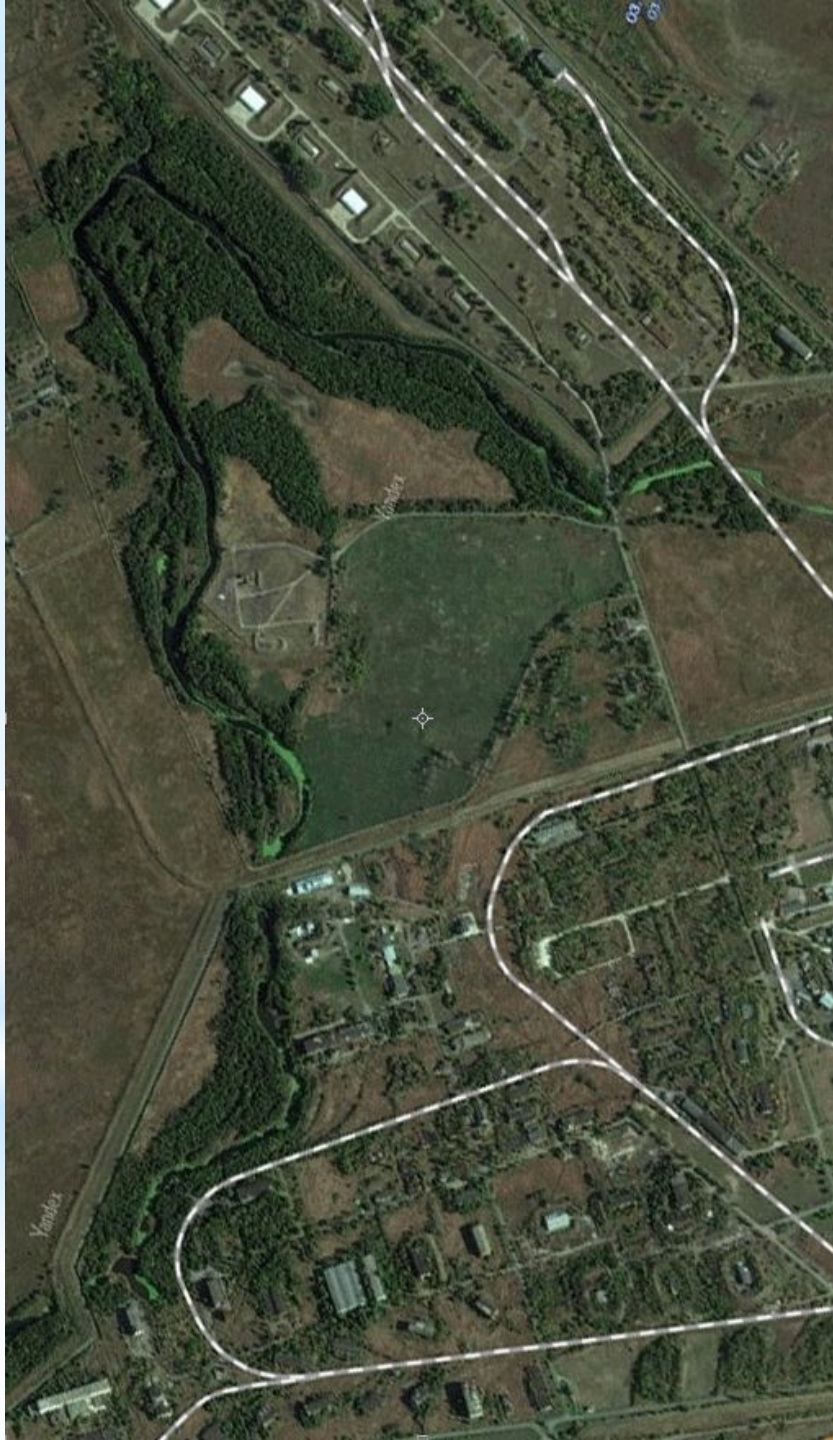


Рис. 33. Зона загрязнения для момента времени $t=550\text{с}$
(уровень $z=10\text{м}$)

Таблица 4
Концентрация HCL возле здания на территории завода

Время после аварии	Концентрация	Превышение ПДК (концентрация / ПДК)
450 с	2.85 мг/м ³	14,2
510 с	3.24 мг/м ³	16,2
550 с	3.40 мг/м ³	17,0

**АНИМАЦИЯ
ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ
ОБЛАКА ТОКСИЧНОГО ГАЗА**



Прогноз токсичного поражения людей в промышленных помещениях¹¹



Рис.19а. Расчетная область в задаче о затекании токсичного газа в промышленное здание: 1 – хранилище ТРТ; 2 – положение рецептора (промышленный корпус №2 на территории завода)

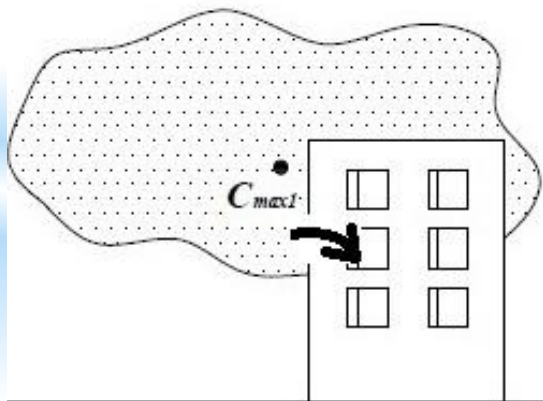


Рис.19б. Расчетная схема затекания токсичного газа в промышленное здание

Модель загрязнения воздушной среды в промышленных помещениях

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{np} - QC, \quad (7)$$

V – объем комнаты; t – время; Q – интенсивность воздухообмена.

$$Q = ELA \cdot \sqrt{f_s^2 |\Delta T| + f_w^2 U^2} \quad (8)$$

f_s – параметр, учитывающий процесс инфильтрации через потолок и пол;

f_w – параметр, учитывающий наличие возле здания иных объектов.

(модель разработанная в USA)

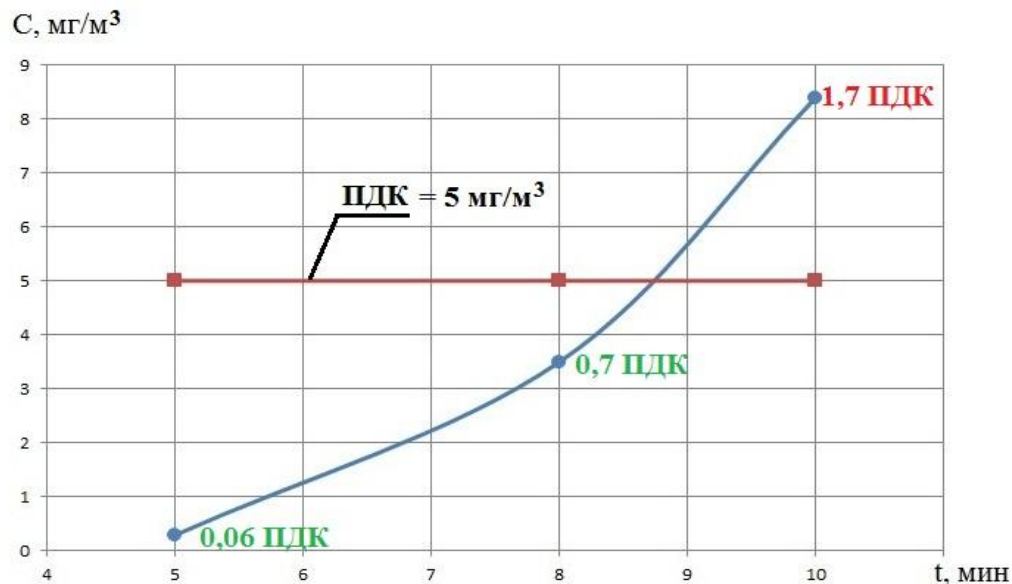


Рис.20. Зависимость изменения концентрации НС1 внутри производственного здания

(прогноз загрязнения атмосферного воздуха над г. Павлоград)

ЭТАП - 4

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i). \quad (11)$$

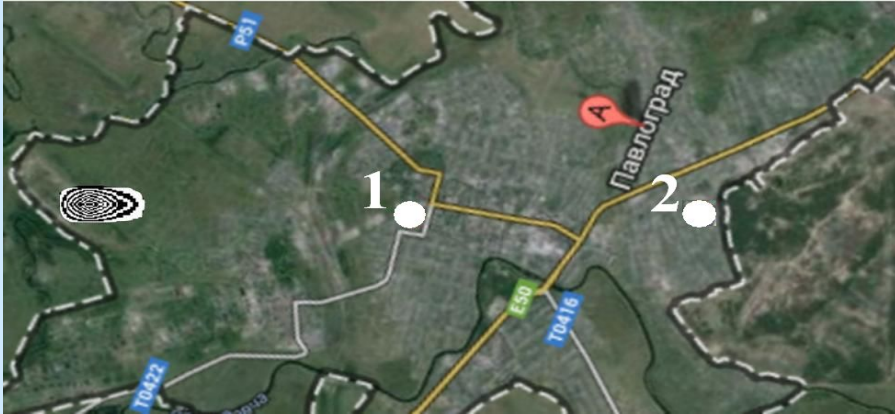


Рис. 34. Зона загрязнения через 3 минуты после начала горения топлива (1 – положение первого рецептора в жилой зоне, 2 – положение второго рецептора)



Рис. 35. Зона загрязнения через 7 минут после начала горения топлива



Рис. 36. Зона загрязнения через 25 минут после начала горения топлива

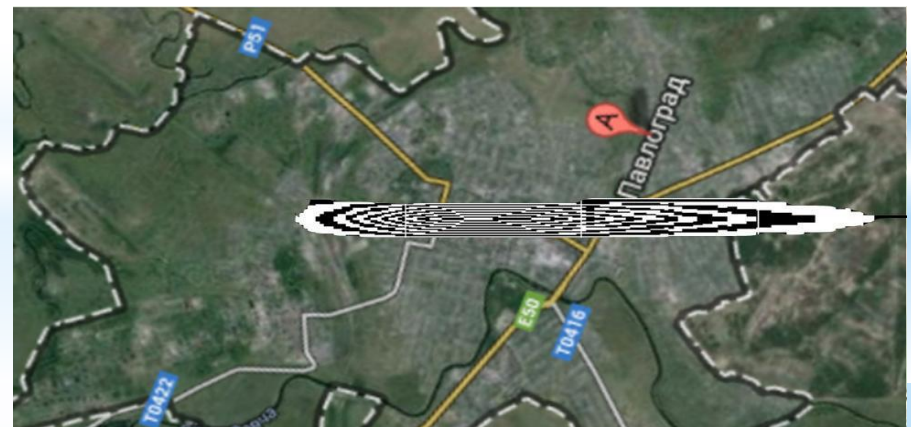
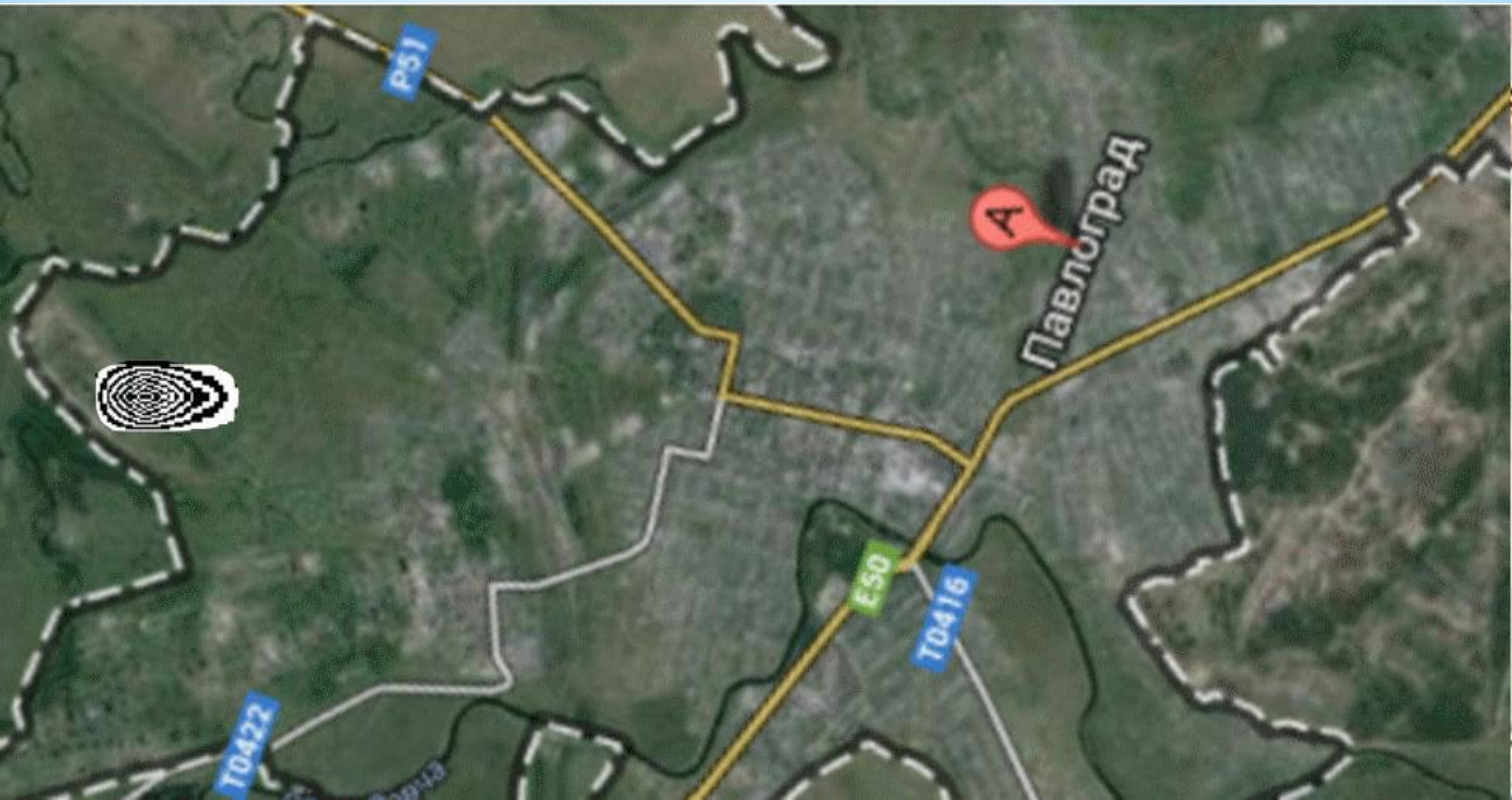


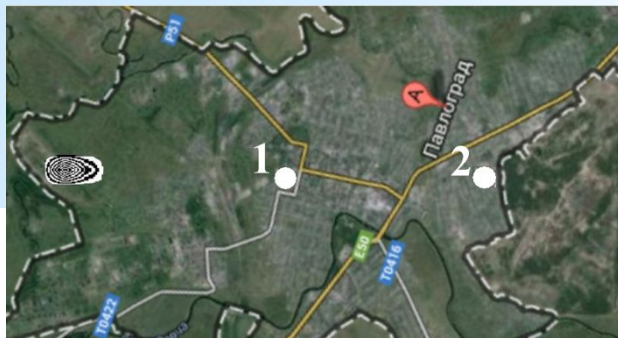
Рис. 37. Зона загрязнения через 39 минут после начала горения топлива

**АНИМАЦИЯ
ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ
ОБЛАКА ТОКСИЧНОГО ГАЗА**



Среднее значение концентрации опасного вещества в атмосферном воздухе **в начале селитебной зоны** г. Павлоград

Время после аварии в хранилище	Концентрация опасного вещества в атмосферном воздухе, С [мг/м ³]	Превышение ПДК (С/ПДК)
20 мин	15.6	78
30 мин	18.02	90
40 мин	1.49	7.4
50 мин	0.02	0.1



Модель загрязнения воздушной среды в помещении

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{np} - QC, \quad (12)$$

V – объем комнаты; t – время; Q – интенсивность воздухообмена.

$$Q = ELA \cdot \sqrt{f_s^2 |\Delta T| + f_w^2 U^2} \quad (13)$$

f_s – параметр, учитывающий процесс инфильтрации через потолок и пол;
 f_w – параметр, учитывающий наличие возле здания иных объектов.

Значение концентрации опасного вещества внутри помещения (**здание в начале селитебной зоны** г. Павлоград)

Время после аварии в хранилище	Концентрация опасного вещества внутри помещения, С [мг/м ³]	Превышение ПДК (С/ПДК)
20 мин	1.28	6.43
30 мин	4.86	24
40 мин	5.20	26
50 мин	4.35	21

ТРТ

Расчет **ВОЗМОЖНОГО** количества погибших людей в селитебной зоне г. Павлоград

$$D = S'_D \cdot P, \quad (14)$$

D – количество погибших людей;

S'_D – площадь зоны поражения (рассчитывается с помощью разработанной численной модели, где концентрация химического вещества превышает величину поражающей концентрации, которая для хлористого водорода составляет порядка 4.5 мг/м³);

P – плотность населения (средняя плотность населения для г. Павлоград - 1855 человек/км²).



Рис. 38. Зона смертельного поражения на открытой местности для момента времени $t=25$ минут после аварии (в данной зоне концентрация опасного вещества была равна или превысила 4.5 мг/м³), скорость ветра 6 м/с

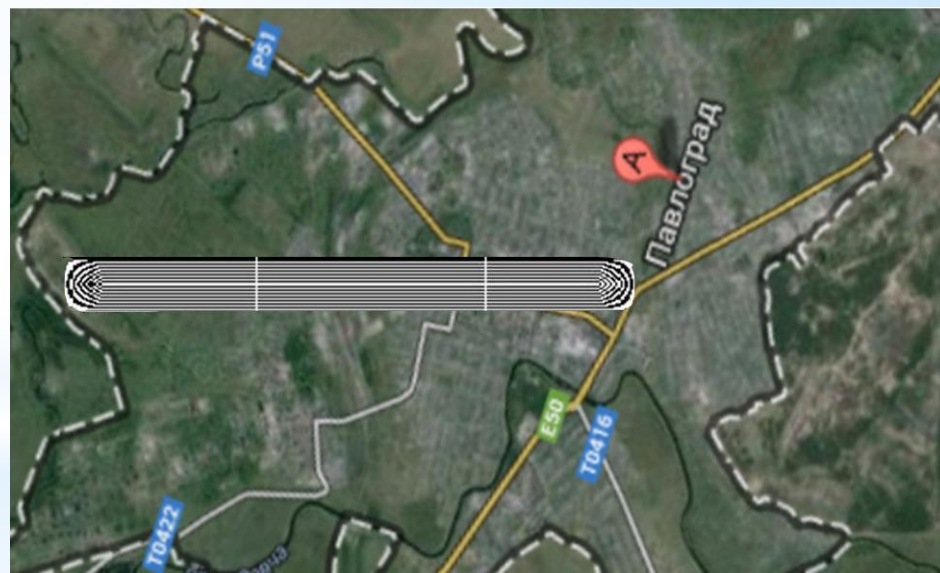


Рис. 39. Зона смертельного поражения на открытой местности для момента времени $t=25$ минут после аварии (в данной зоне концентрация опасного вещества была равна или превысила 4.5 мг/м³), скорость ветра 4 м/с

*** СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**