

*Институт Недропользования, Кафедра Обогащение полезных ископаемых и инженерная экология*

## **«Управление рисками, системный анализ и моделирование»**

*Направление 280700 «Техносферная безопасность»*

*Магистерские программы «Утилизация и переработка техногенных отходов» и «Экологическая безопасность»*

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

## Лекции 11-12

### Моделирование систем



# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

## Моделирование систем и процессов

- *Понятие модели. Виды моделирования. Классификация моделей. Принципы и этапы построения моделей. Примеры построения и использования моделей в практической деятельности.*



- **Понятие модели и моделирования**

- **Модель** — способ замещения реального объекта, используемый для его изучения и исследования, когда эксперимент невозможен, дорог, опасен, долговременен.
- Модель вместо исходного объекта используется в случаях, когда натуральный эксперимент **невозможен: опасен, дорог, происходит в неудобном масштабе пространства и времени** (долговременен, слишком кратковременен, протяжен...), **неповторим, ненагляден** и т. д.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Ситуации, когда эксперимент:**
- **«опасен»** — при деятельности в агрессивной среде вместо человека лучше использовать его макет; примером может служить луноход;
- **«дорог»** — прежде чем использовать идею в реальной экономике страны, лучше опробовать её на математической или имитационной модели экономики, просчитав на ней все «за» и «против» и получив представление о возможных последствиях;
- **«кратковременен»** — изучать детали протекания процесса обработки металлов взрывом лучше на модели, поскольку такой процесс скоротечен во времени;
- **«долговременен»** - поскольку процесс коррозии металлов происходит медленно, то его изучают на модели, в уменьшенном масштабе времени;
- **«протяжен в пространстве»** — для изучения космогонических процессов удобны математические модели, поскольку реальные полёты к звёздам (пока) невозможны;
- **«микроскопичен»** — для изучения взаимодействия атомов удобно воспользоваться их моделью;
- **«невозможен»** — часто человек имеет дело с ситуацией, когда объекта нет, он ещё только проектируется. При проектировании важно не только представить себе будущий объект, но и испытать его виртуальным способом до того, как

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- Важно:
- моделирование теснейшим образом связано с проектированием. Обычно сначала проектируют систему, потом её испытывают, потом снова корректируют проект и снова испытывают, и так до тех пор, пока проект не станет удовлетворять предъявляемым к нему требованиям. Процесс «проектирование-моделирование» цикличен.
- При этом цикл имеет вид спирали — с каждым повтором проект становится все лучше, так как модель становится все более детальной, а уровень описания точнее;
- «неповторим» — это случай, когда эксперимент повторить нельзя; в такой ситуации модель — единственный способ изучения таких явлений. Пример — исторические процессы, — ведь повернуть историю вспять невозможно;
- «ненагляден» — модель позволяет заглянуть в детали процесса, в его промежуточные стадии; при построении модели исследователь как бы вынужден описать причинно-следственные связи, позволяющие понять все в единстве, системе. Построение модели дисциплинирует мышление. Важно: модель играет системообразующую и смыслообразующую роль в научном познании, позволяет *понять* явление, структуру изучаемого объекта. Не построив модель, вряд ли удастся понять логику действия системы. Это означает, что модель позволяет разложить систему на элементы, связи, механизмы, требует объяснить действие

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

**Процесс моделирования есть процесс перехода из реальной области в виртуальную (модельную) посредством формализации**  
Далее происходит **создание модели (собственно моделирование)** и, наконец, **интерпретация результатов** как обратный переход из виртуальной области в реальную. Этот путь заменяет прямое исследование объекта в реальной области, то есть лобовое или интуитивное решение задачи. Итак, в самом простом случае технология моделирования подразумевает 3 этапа: формализация, собственно моделирование, интерпретация.



## «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Модель** является концентрированным выражением сущности предмета или процесса, выделяя только его основные черты.
- **Знания** — это модели окружающего мира, фиксируемые человеком в его мозгу или на технических носителях. Модели обладают повышенной наглядностью, выделяя главные аспекты сущности, и активно используются в процессах познания и обучения. Человек, решая, как ему поступить в той или иной ситуации, всегда пытается представить себе последствия решения, для этого он проигрывает ситуацию, представляет её себе мысленно, строя модель в голове. Компьютер является усилителем для производства данной деятельности, инструментом информационной технологии. Компьютерные модели ускоряют процесс исследования, делают его более точным.
- **Алгоритмы** — знания, выстраиваемые человеком в цепочку так, чтобы соединить исходное состояние с желаемым, целью; это один из вариантов ряда мероприятий, шагов, приводящих к цели.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Процесс моделирования состоит из трёх стадий:**
- формализации (переход от реального объекта к модели), моделирования (исследование и преобразования модели), интерпретации (перевод результатов моделирования в область реальности).
- Модель есть зависимость  $F$  между входом  $X$  и выходом  $Y$ . Модель отражает закономерность  $Y = F(X)$ . Часто модель является законом. Модель верна в рамках допущенных при её построении гипотез. Поэтому модель ограничена некоторой областью и адекватна в ней.
- Набор моделей образует научную дисциплину (механика, физика, горное дело и т. д.) Модель может быть расширена путём учёта в ней дополнительных параметров. Тогда область её применения становится шире.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Классификация (типы) моделей**
- **По назначению** модели, если отвлечься от областей, сфер их применения, бывают трех типов: ***познавательные, прагматические и инструментальные***.
- **Познавательная модель** - форма организации и представления знаний, средство соединения новых и старых знаний. Познавательная модель, как правило, подгоняется под реальность и является теоретической моделью.
- **Прагматическая модель** - средство организации практических действий, рабочего представления целей системы для ее управления. Реальность в них подгоняется под некоторую прагматическую модель. Это, как правило, прикладные модели.
- **Инструментальная модель** - является средством построения, исследования и/или использования прагматических и/или познавательных моделей.
- Познавательные отражают существующие, а прагматические - хоть и не существующие, но желаемые и, возможно, исполнимые отношения и связи.
- **По уровню**, "глубине" моделирования модели бывают:
- ***эмпирические*** - на основе эмпирических фактов, зависимостей,
- ***теоретические*** - на основе математических описаний и
- ***смешанные, полуэмпирические*** - использующие эмпирические зависимости и математические описания.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Основные требования** к модели:
  - наглядность построения; обозримость основных его свойств и отношений;
  - доступность ее для исследования или воспроизведения;
  - простота исследования, воспроизведения; сохранение информации, содержащиеся в оригинале (с точностью рассматриваемых при построении модели гипотез) и получение новой информации.
- **Проблема моделирования** состоит из трех задач:
  - построение модели (эта задача менее формализуема и конструктивна, в том смысле, что нет алгоритма для построения моделей);
  - исследование модели (эта задача более формализуема, имеются методы исследования различных классов моделей);
  - использование модели (конструктивная и конкретизируемая задача).

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- Модель называется **статической**, если среди  $x_i$  нет временного параметра  $t$ . Статическая модель в каждый момент времени дает лишь "фотографию" системы, ее срез.
- Модель - **динамическая**, если среди  $x_i$  есть временной параметр, т.е. она отображает систему (процессы в системе) во времени.
- Модель - **дискретная**, если она описывает поведение системы только в дискретные моменты времени.
- Модель - **непрерывная**, если она описывает поведение системы для всех моментов времени из некоторого промежутка времени.
- Модель - **имитационная**, если она предназначена для испытания или изучения, проигрывания возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров  $x_i$  модели .
- Модель - **детерминированная**, если каждому входному набору параметров соответствует вполне определенный и однозначно определяемый набор выходных параметров; в противном случае - модель *недетерминированная, стохастическая (вероятностная)*.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Общие свойства моделей**

- **конечность**: модель отображает оригинал лишь в конечном числе его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны;
- **упрощенность**: модель отображает только существенные стороны объекта;
- **приблизительность**: действительность отображается моделью грубо или приблизительно;
- **адекватность**: модель успешно описывает моделируемую систему;
- **информативность**: модель должна содержать достаточную информацию о системе - в рамках гипотез, принятых при построении модели.

-

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- Роль модели

- Построив модель, исследователь может:
- прогнозировать свойства и поведение объекта как внутри области, в которой построена модель, так и (при обоснованном применении) за её пределами (прогнозирующая роль модели);
- управлять объектом, отбирая наилучшие воздействия путём испытания их на модели (управляющая роль);
- познавать явление или объект, модель которого он построил (познавательная роль модели);
- получать навыки по управлению объектом путём использования модели как тренажёра или игры (обучающая роль);
- улучшать объект, изменяя модель и испытывая её (проектная роль).

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Жизненный цикл модели**

- 1) Сбор информации об объекте, выдвижение гипотез, предмодельный анализ;
- 2) Проектирование структуры и состава моделей (подмоделей);
- 3) Построение спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, сборка модели в целом, идентификация (если это нужно) параметров моделей;
- 4) Исследование модели - выбор метода исследования и разработка алгоритма (программы) моделирования;
- 5) Исследование адекватности, устойчивости, чувствительности модели;
- 6) Оценка средств моделирования (затраченных ресурсов);
- 7) Интерпретация, анализ результатов моделирования и установление некоторых причинно - следственных связей в исследуемой системе;
- 8) Генерация отчетов и проектных (народно - хозяйственных) решений;
- 9) Уточнение, модификация модели, если это необходимо, и возврат к исследуемой системе с новыми знаниями, полученными с помощью моделирования.

## МОДЕЛИ

- Объект может быть представлен в виде аналитической или имитационной модели.
- Аналитическое представление подходит лишь для очень простых и сильно идеализированных задач и объектов, которые, как правило, имеют мало общего с реальной (сложной) действительностью, но обладают высокой общностью. Аналитические модели обычно применяют для описания фундаментальных свойств объектов (поэтому ими так широко пользуется теоретическая физика), так как фундамент прост по своей сути. Сложные объекты редко удаётся описать аналитически.
- Имитационное моделирование позволяет разлагать большую модель на части (объекты, «кусочки»), которыми можно оперировать по отдельности, создавая другие, более простые или, наоборот, более сложные модели. Таким образом, имитационное моделирование тяготеет к объектно-ориентированному представлению, которое естественным образом описывает объекты, их состояние, поведение, а также взаимодействие между ними. Имитационную модель можно постепенно усложнять и усложнять; аналитический способ этого не допускает или допускает, но с большими ограничениями.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

## • Имитационное моделирование

- Имитационная модель предназначена для испытания или изучения, проигрывания возможных путей развития и поведения объекта путем варьирования некоторых или всех параметров  $x$ , модели  $M$ . Имитационное моделирование используется *при отсутствии* строгого и формально записанного алгоритма; при этом главную роль играют **технология и средства моделирования**.
- Целью имитационного моделирования является конструирование ИМ объекта и проведение имитационного эксперимента над ней для изучения закона функционирования и поведения с учетом заданных ограничений и целевых функций в условиях имитации и взаимодействия с внешней средой.

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

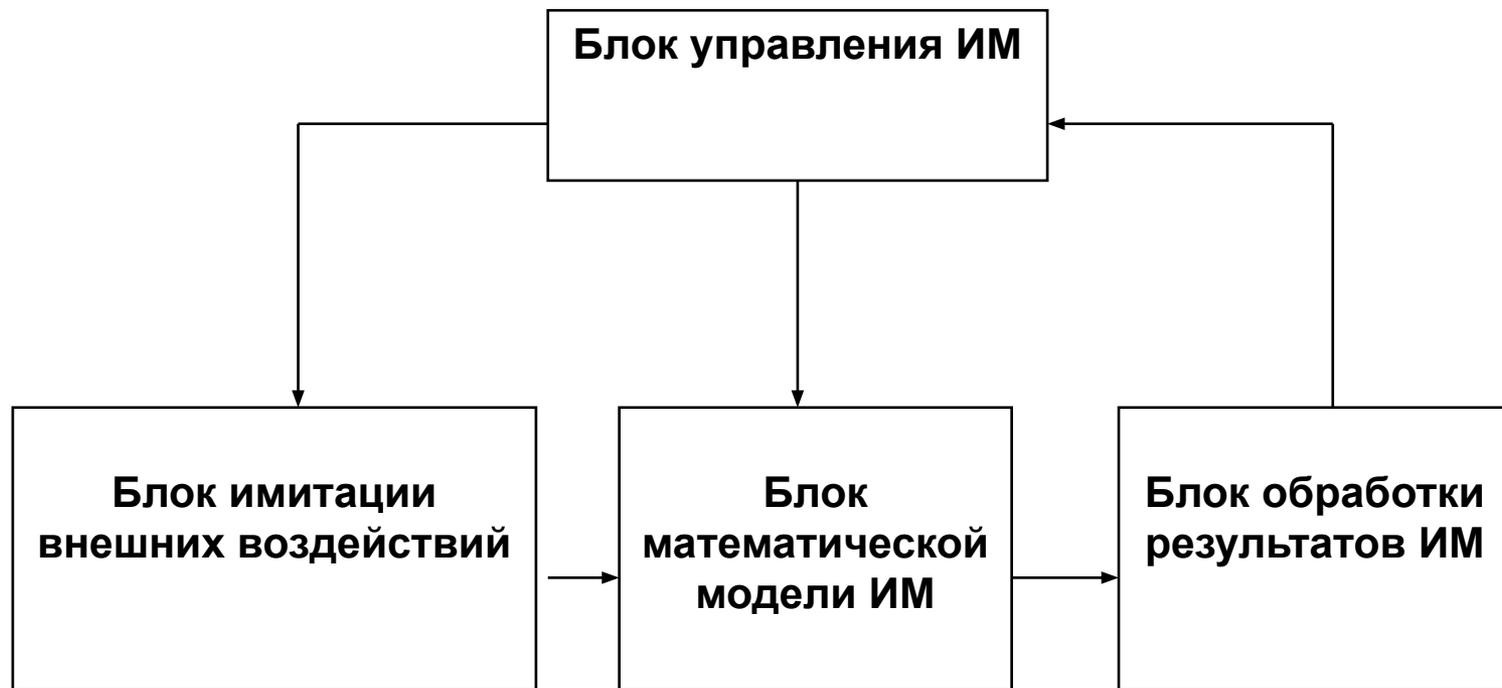
## Схема работы при имитационном моделировании



# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Структура имитационной модели**
- Блок *имитации внешних воздействий* (БИВВ) формирует реализации случайных или детерминированных процессов, имитирующих воздействия внешней среды на объект, подает их в Блок *математической модели* объекта (БМО).
- Блок *математической модели* объекта (БМО) проводит вычисления по соответствующей модели, и подает информацию в блок *обработки результатов* (БОР).
- Блок *обработки результатов* (БОР) предназначен для получения информативных характеристик исследуемого объекта.
- Блок *управления ИМ* (БУИМ) реализует способ исследования имитационной модели, основное его назначение – автоматизация процесса проведения исследования.

# «Имитационная модель»



«Управление рисками, системный анализ и моделирование»

- **Модели и программные комплексы в ЭКОЛОГИИ**

## «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

### Анализ и моделирование различных стадий нанесения техногенного ущерба

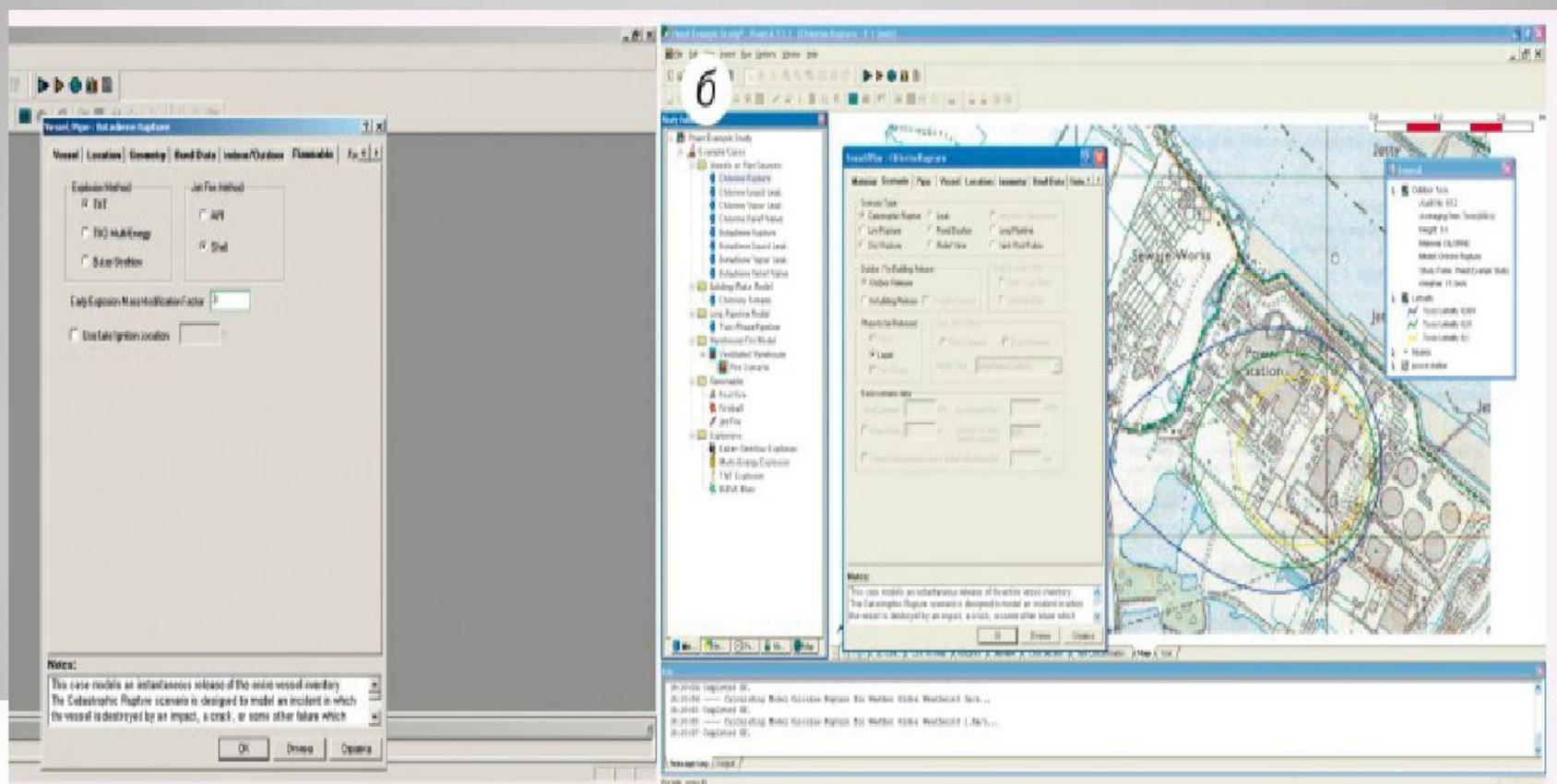
№	Стадия	Цель системного анализа и моделирования данной стадии
1	Высвобождение (расконсервация) накопленной в человеко-машинной системе энергии или запасов вредного вещества	Прогнозирование параметров: количество внезапно или постепенно высвободившегося вредного вещества, интенсивность и продолжительность его истечения, а также плотность потока тел либо частиц и напряженность электромагнитных полей или ионизирующих излучений.
2	Неконтролируемое распространение (трансляция) потоков в процессе истечения вещества и энергии в новую для них среду и перемещения в ней	Построение полей пространственно-временного распределения плотности потоков или концентрации вещества.
3	Физико-химическое их превращение (трансформация) там с дополнительным энерговыделением и переходом в новое агрегатное или фазовое состояние	Прогнозирование характера трансформации вредных веществ, рассеянных в результате аварии, а также поражающих факторов, обусловленных последующим превращением в новой для них среде
4	Разрушительное воздействие (адсорбция) первичных потоков и/или наведенных ими поражающих факторов на не защищенные от них объекты	Изучение поражающего воздействия первичных и вторичных продуктов аварийного выброса на не защищенные от них людские, материальные и природные ресурсы

# Программные продукты PHAST и SAFETI

- Программные продукты PHAST и SAFETI разработаны фирмой [Det Norske Veritas](#) (DNV, EU), одной из ведущих в мире фирм в области оценки риска, специализирующейся в области промышленной безопасности химических, нефтехимических, нефтегазодобывающих производств.
- 
- Методики и программное обеспечение DNV разработаны на основе передового мирового опыта в области моделирования и оценки последствий различных аварийных ситуаций.
- 
- PHAST и SAFETI широко используются в мире в течение более чем 20 лет для оценки последствий и рисков химических и взрыво- пожароопасных объектов. В настоящее время число пользователей PHAST насчитывает более 450 организаций во всем мире, SAFETI - более 120. В числе пользователей такие крупные компаниями, как British Petroleum, Shell, Exxon Mobil, Amoco, BASF, Dow Chemical, Esso, Bayer, Dupon, а также государственные надзорные органы – Объединенный исследовательский центр европейской комиссии, Голландии, Бельгии, Австралии, Венгрии, Малайзии, Филиппин др.
- 
- В России программные продукты DNV появились в результате реализации проекта ТАСИС «Содействие Министерству по чрезвычайным ситуациям в области предупреждения и ликвидации аварий» 2000-2001 гг.

# Программа "PHAST"

- ГОСТ Р 22.0.07-95. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. Количественная оценка последствий опасных техногенных ситуаций. Оценка ущерба от техногенных ситуаций.





# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

## Программа «ПДВ ЭКОЛОГ», вер. 4.35 вар. «Локальный»

- *Формирование таблиц проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятия. Формирование плана-графика контроля за выбросами предприятия с автоматическим расчетом категории источника и определением необходимой периодичности контроля. Моделирование природоохранных мероприятий.*

Программа предназначена для разработки и формирования таблиц проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятия и выполняет следующие функции:

- Формирование таблиц проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) предприятия
- Формирование плана-графика контроля за выбросами предприятия с автоматическим расчетом категории источника и определением необходимой периодичности контроля
- Моделирование природоохранных мероприятий

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

Структура данных (C:\INTEGRAL.LTD\PDV400\)

Справочники Настройки Процедуры Вид ?

1 Серновинск

Код города:

Наименование города:

Метеоусловия

Минимальная температура (зима), град:	<input type="text" value="-10"/>
Максимальная температура (лето), град:	<input type="text" value="20"/>
Коэффициент стратификации:	<input type="text" value="140"/>
Максимальная скорость ветра (м/с):	<input type="text" value="11"/>

Геоинформационные параметры

Система координат ( расположение осей (OX к OY)):

Поворот относительно севера по часовой стрелке:

Глобальные координаты, X:  Y:

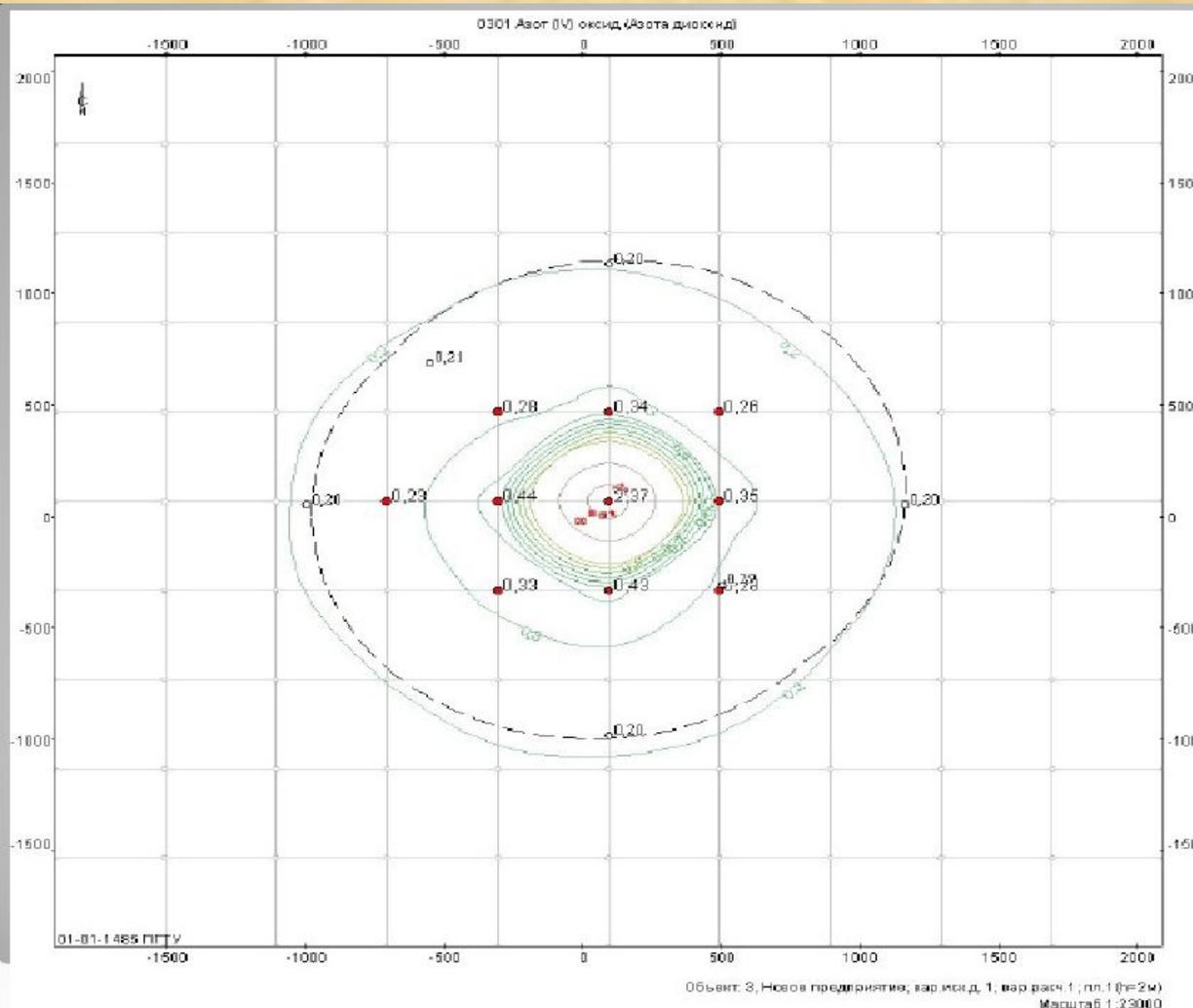
## Интерфейс «ПДВ-Эколог»

## «Управление рисками, системный анализ и моделирование»

### УПРЗА “Эколог” 3.0

- *Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Отраслевая методика расчета приземной концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах компрессорных станций магистральных газопроводов. Карты рассеивания и максимальные концентрации загрязняющих веществ. Расчет рассеивания*

# «Управление рисками, системный анализ и моделирование»



**Карта  
рассеивания по  
оксиду азота,  
выполненная в  
программе  
УПРЗА Эколог.**

# ООО НПФ ЛОГОС

**Программы для экологов. Экологические расчеты.  
Разработка проектов ПДВ, ПДС, ПНООЛР, СЗЗ**

## Экологические платежи

Программы этого раздела предназначены для расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду (загрязнение водных объектов, Программы расчета загрязнения атмосферы, размещение токсичных отходов) и формирование документов для статистической отчетности по формам 2-ТП воздух, водхоз, отходы.

Программа "ЭкоПлата - Предприятие" формирует отчетные формы по одному предприятию.

Программа "ЭкоПлата-РЕГИОН" формирует различные итоговые документы по произвольной группе предприятий.

## Санитарная акустика

Программный комплекс основан на современных нормативно-методических документах и решает широкий круг задач, включая проектирование и обоснование размеров санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятий.

Комплекс включает:

- Программа "Эколог-Шум" - проведение расчетов распространения шума от внешних источников, формирование результатов в табличном и графическом виде;
- Программа "Расчет уровня внешнего шума систем вентиляции";
- Программа "Расчет шума от транспортных потоков";
- электронный "Каталог шумовых характеристик технологического оборудования";
- дополнительный блок "Расчет проникающего шума". Программа считает и нормирует внешний и внутреннего шум.

## Атмосфера

Программы предназначены для решения широкого круга задач, связанных с оценкой загрязнения атмосферы. Это необходимый инструмент для работы эколога промышленного предприятия, разработчика природоохранной документации, экспертов Ростехнадзора, специалистов органов и учреждений, осуществляющих санитарно - эпидемиологический надзор.

Все программы могут функционировать как автономно, так и в комплексе, поэтому каждый пользователь может создать удобный инструмент для решения своих конкретных задач. Наличие сетевой версии обеспечивает одновременную работу с общими данными с разных компьютеров, что сокращает время работы над большим проектом.

В число решаемых задач входит:

- **инвентаризация источников** выбросов, формирование карты с источниками загрязнения, ввод протоколов измерения выбросов - программа ["Инвентаризация"](#);
- расчет количества выбрасываемых вредных веществ для различных производств - [программы валовые выбросы](#) ЗВ;
- расчет максимальных разовых концентраций ЗВ в атмосфере - [программа "УПРЗА Эколог"](#) и
- расчет среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере - [программа "Средние"](#);
- разработка и оценка природоохранных мероприятий, автоматизированное формирование и выпуск проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (проект ПДВ) - [программа "ПДВ-Эколог"](#);
- определение оптимальных предложений по снижению выбросов в атмосферу для выполнения нормативных требований к значениям приземной концентрации - [программа "Норма"](#);
- оценка риска для здоровья населения при воздействии веществ, загрязняющих атмосферу - [программа "Риски"](#);
- подготовка годовой формы статотчетности 2-ТП воздух по предприятию - [программа "2 ТП воздух"](#).
- Аналогичные задачи на уровне города (области) решают:
  - [программа "Эколог-город"](#),
  - [программа "2-тп \(воздух\) объединение"](#),
  - [программа "2-тп\(воздух\) обзор"](#)

## Отходы

Комплекс программ для подготовки проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение - ПНООЛР позволяет рассчитать количество отходов по материально-сырьевому балансу предприятия, по удельным отраслевым нормативам образования отходов и расчетно-аналитическими методами - Программа "Отходы"; + **программы расчета количества образования отходов** для различных производств.

Программы работают в комплексе и автономно.

Для отходов определяется класс опасности при воздействии на окружающую природную среду и класс токсичности при воздействии на среду обитания и здоровье человека. Автоматизирована подготовка годовой формы статотчетности программа 2-ТП отходы.

## Вода

Программы позволяют рассчитать нормативы допустимых сбросов (программа "НДС - Эколог") в водные объекты и распространение загрязняющих веществ в воде (разбавление), определить объем поверхностного стока (программа "Сток"), вести базы данных по различным характеристикам загрязненности питьевой воды с целью оценки ее качества (программа "Чистая вода"). Автоматизирована подготовка годовой формы статотчетности программа 2-ТП водхоз.

**Перечень методик, используемых в 2016 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Утвержден Приказом 33 от 28.12.2015 Генерального директора ОАО «НИИ Атмосфера».**

Перечень методик, используемых в 2016 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух содержит 137 документ, сгруппированных по отраслям промышленности.

В отличие от предыдущего перечня, содержащего 131 методик, добавлены:

-Методические указания по определению количественного состава вредных продуктов, образующихся при взрыве и горении. Дзержинск, 2005

-Методика определения выбросов в атмосферу от основного производства Кемеровского ОАО "Азот" на основе удельных технологических нормативов выбросов. СПб., 2011

-Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров. М., 1997

-Методические указания по расчету удельных выбросов на единицу продукции для предприятий гидролизной промышленности. Л., 1989

-Методические указания расчета выбросов сероводорода от неорганизованного источника (карьер «Мир»). СПб., 2013

# Программный комплекс “е3 ВОЗДУХ” (компания ОДО “ЭНЭКА«)

В настоящее время в программу е3 ВОЗДУХ включены расчетные модули, разработанные строго в соответствии со следующими методиками:

- ТКП 17.08-01-2006 Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт
- ТКП 17.08-04-2006 Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт
  - ТКП 17.08-02-2006 Правила расчетов выбросов при сварке, резке, механической обработке металлов
- Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности. Петрозаводск, 1992. П.2.2.1 «Деревообрабатывающее производство»
  - Методика проведения инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферу для автотранспортных предприятий. М. 1993. П.3.7 «Аккумуляторные работы»
- Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров 0212.1-97. П.4 «Выбросы паров нефтепродуктов в атмосферу из резервуаров нефтебаз, ТЭЦ, котельных, ГСМ»
- Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров 0212.1-97. П.5 «Выбросы паров нефтепродуктов в атмосферу из резервуаров автозаправочных станций»

- Разработка и усовершенствование методических и руководящих материалов и разработка раздела охраны воздушного бассейна в проектах ТЭС и РК. Мн. 1988 П. 3.6.2 (выбросы из зданий мазутонасосных, при сливе нефтепродуктов и пропарке ж/д цистерн))
- Методика определения СЗЗ ТЭС и РК. Мн. 1994 (выбросы при хранении и разгрузке извести)
- Временные методические указания по определению выбросов загрязняющих атмосферу веществ от объектов очистных сооружений 0212.13-97 с дополнением от 1999

- **Конец лекционного курса**  
**«Управление рисками,  
системный анализ и  
моделирование»**

**Желаю успеха на экзамене**