



Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ  
(РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ)**

**Жилина М.В.**

**Елохин А.П. д.т.н., профессор, (МИФИ, НТЦ  
ЯРБ)**

## Состав документа

- Назначение и область применения
- Общие рекомендации к системам АСКРО
  - Рекомендации к составу и условиям работы АСКРО
  - Определение метеорологических параметров для оценки условий формирования радиационной обстановки на местности
  - Рекомендации по использованию моделей переноса радиоактивной примеси в атмосфере
  - Параметры модели
  - Методы прогнозирования
- Рекомендации к условиям размещения детекторов фотонного излучения АСКРО на промплощадке и СЗЗ
  - Условия необходимого и достаточного количества датчиков АСКРО, размещаемых на промплощадке и СЗЗ
  - Принцип размещения детекторов фотонного излучения АСКРО на промплощадке и СЗЗ
  - Условия оптимальной нормировки результатов расчета радиационных характеристик радиоактивного выброса на показания датчиков АСКРО

## Назначение документа

- Разрабатываемый документ предназначен для юридических и физических лиц, занимающихся вопросами проектирования и конструирования автоматизированных систем контроля радиационной обстановки на АС и других ОИАЭ
- Руководство по безопасности (РБ) содержит рекомендации по использованию расчетных методов прогнозирования радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на население, включая выбор критериев для оптимального размещения постов радиационного контроля на промплощадке и в СЗЗ
- Настоящее РБ развивает и конкретизирует отдельные требования “Общих положений безопасности атомных станций, ОПБ-88/97”, “Санитарных правил проектирования и эксплуатации атомных станций, СП АС-2003 (п.ІV)”, “Правил радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций, ПРБ АС-99” и других в части повышения точности прогнозирования радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на население.

## Область применения

- автоматизированные системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) АС и других объектов использования атомной энергии, где возможно применение подобных систем

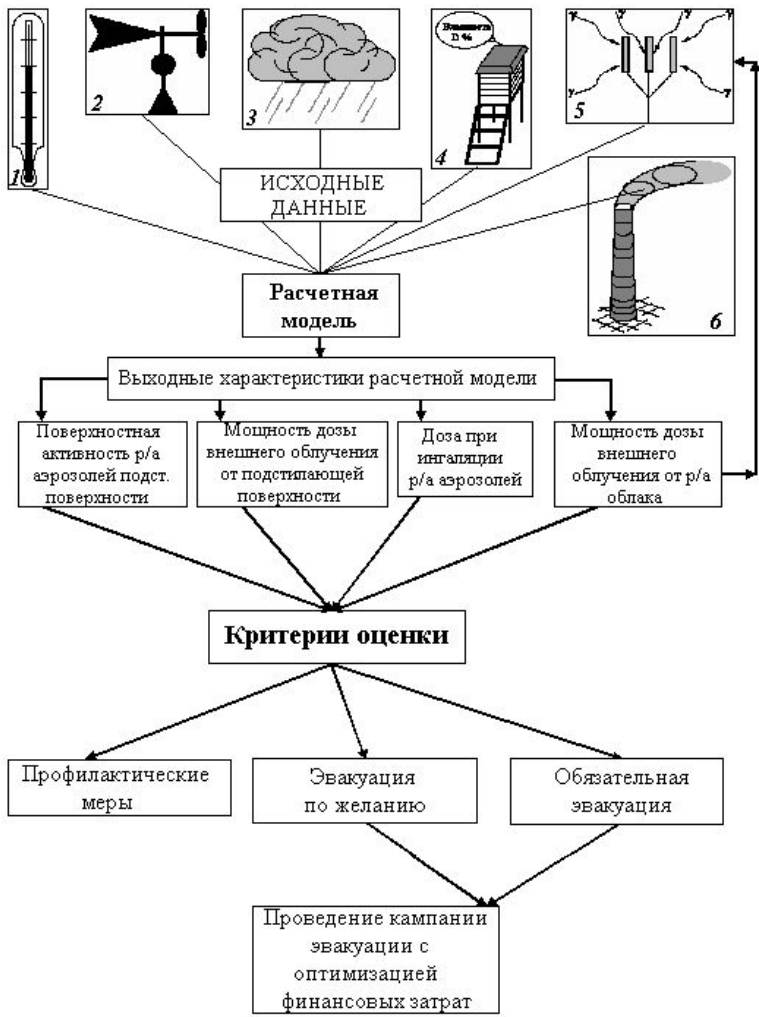
## Основные пользователи

- Проектные НИИ и КБ, разрабатывающие проектную документацию по АСКРО
- АС и другие объекты использования атомной энергии (ОИАЭ), где возможно применение подобных систем.





# ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К СИСТЕМАМ АСКРО



- Функционирование системы в режиме реального времени
- Учет системой экономических, экологических, физико-технических критериев, а также демографических особенностей региона, где размещена АС
- Необходимо, чтобы система отвечала определённым надёжностным характеристикам, обеспечивающим контроль за источником при любых возможных природных и других катастрофических воздействиях.

Рис.1 Структурная схема АСКРО. 1 –датчики температуры окружающей среды; 2 – датчики направления и скорости ветра; 3 – датчики осадков; 4 – датчики влажности окружающей среды; 5 –датчики фотонного излучения постов контроля; 6 - технологические датчики параметров выброса радиоактивной примеси в атмосферу



# Общая характеристика АСКРО АЭС

Таблица 1

## АСКРО на АЭС России

№№ ш/ш	АЭС	Страна, фирма-изготовитель, (тип датчика)	Кол-во постов
1	Балаковская	Genitron Instr., (SkyLink), Германия	11
		НИИ «Доза», (Атлант), Россия	14
2	Белоярская	НИИ «Доза», (Атлант), Россия	8
3	Билибинская	НИИ «Доза», (Атлант), Россия	10
4	Калининская	Genitron Instr., (SkyLink), Германия	11
		НИИ «Доза», (Атлант), Россия	7
5	Кольская	Радиовый институт, (РИОН), Россия	5
		Rados Techn., (Rados), Финляндия	15
6	Курская	Genitron Instr., (SkyLink), Германия	12
		НПП «Доза», (Атлант), Россия	17
7	Ленинградская	Rados Techn., (Rados), Финляндия	14
8	Нововоронежская	НПП «Доза», (Атлант), Россия	22
9	Ростовская	НПП «Доза», (Атлант), Россия	19
10	Смоленская	НИЦ «СНИИП» (ИРФ-03П), Россия	10
		НПП «Доза», (Атлант), Россия	8

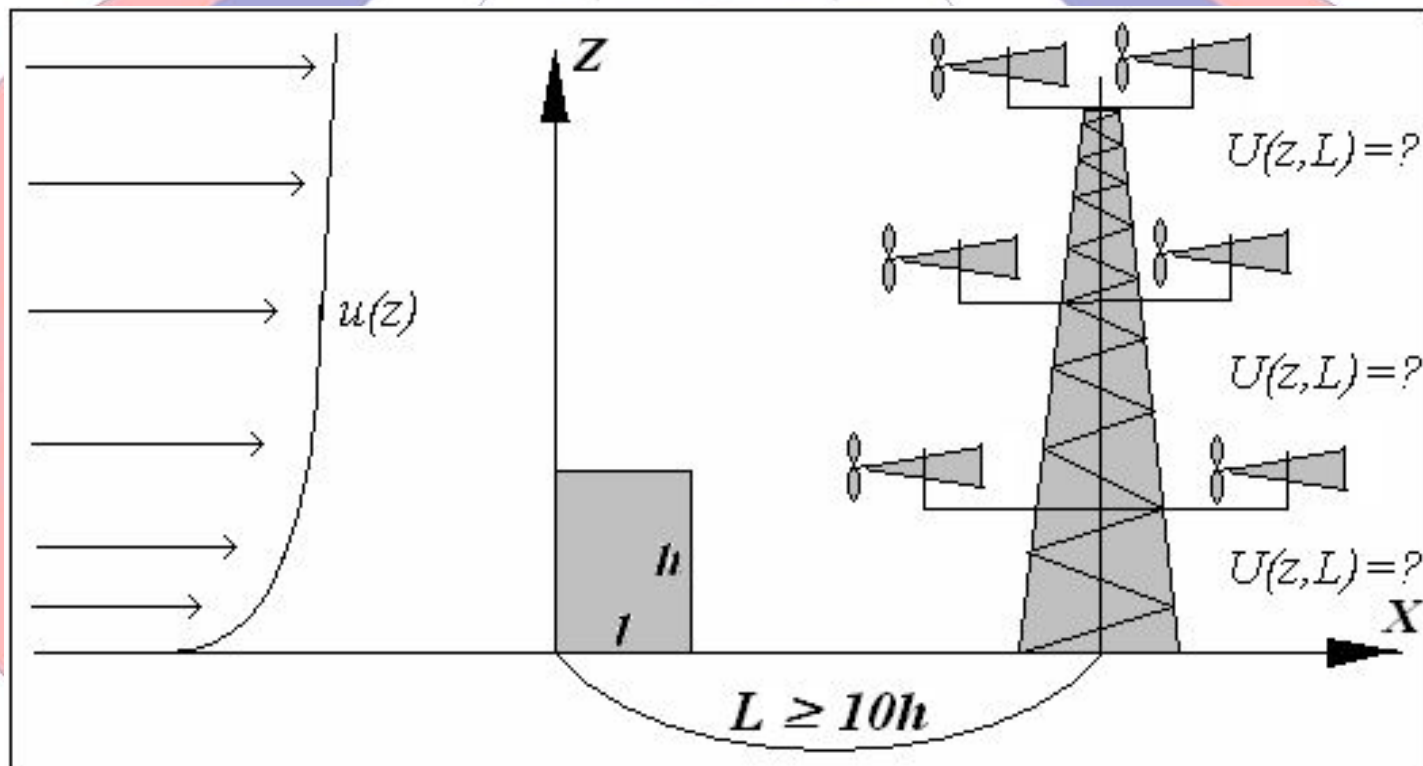
# Минимизация погрешности прогностических оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население

- Уточнение метеопараметров атмосферы
- Использование показаний датчиков фотонного излучения системы АСКРО
- Уточнение величины мощности выброса газоаэрозольной радиоактивной примеси, поступающей в атмосферу, в условиях радиационных аварий и при штатной работе.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА МЕСТНОСТИ

- Определение метеорологических параметров, применительно к региону АС, может осуществляться на специальных метеоплощадках лабораторий внешней дозиметрии
- Измерение направления, скорости ветра и температуры, влажности необходимо проводить на нескольких уровнях на метеомачте, расположенной на метеоплощадке лаборатории внешней дозиметрии, используя методику градиентных наблюдений.
- Измеренные параметры могут быть использованы в дальнейшем как реперные точки для расчета полных профилей этих величин в пограничном слое атмосферы в более совершенных метеорологических моделях или непосредственно, как постоянные, в уравнениях, на основании которых рассчитывают распределение радиоактивной примеси в атмосфере при её переносе.

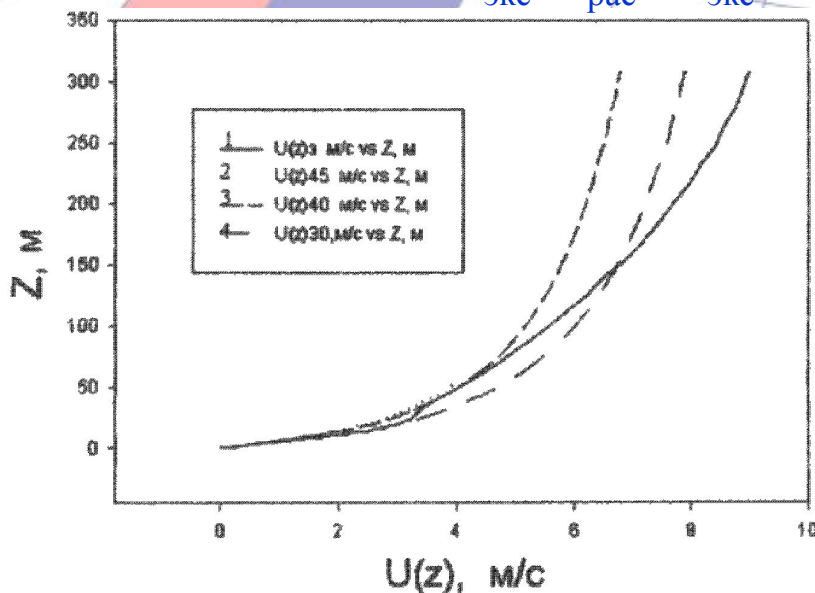
# Измерение метеопараметров атмосферы



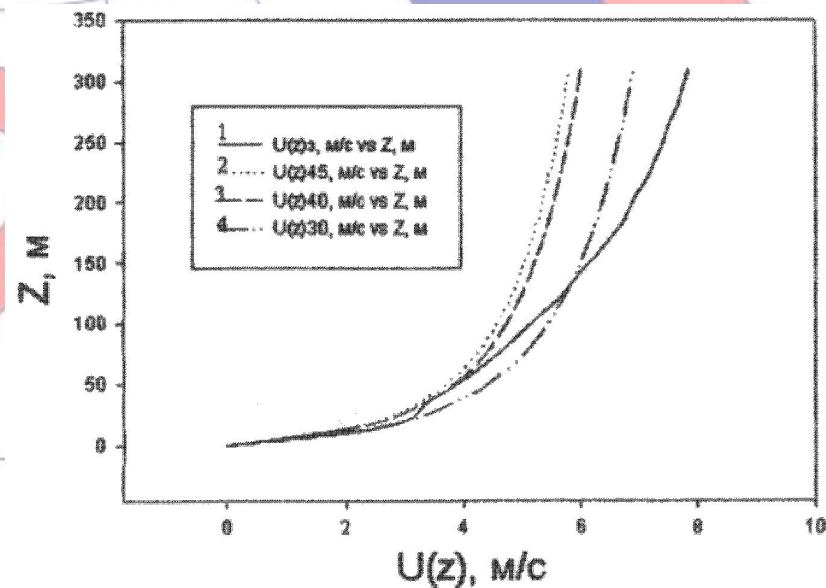


# ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ МЕТЕОМАЧТЫ

Метеорологические наблюдения проводились в 300 и 500 метровых слоях атмосферы на метеовышке в Обнинске и на Останкинской телебашне соответственно для разных сезонов: зима, весна, лето, осень, т.е. при различных состояниях устойчивости атмосферы, характеризуемых параметром  $\mu_0$ . В качестве критерия для оптимального выбора высоты метеомачты рассматривалась относительная погрешность отклонения расчетного значения скорости ветра от экспериментального  $\delta = |(U_{\text{экс}} - U_{\text{рас}}) / U_{\text{экс}}|$  на уровне 310 м.



Сравнение экспериментальных (1) и расчетных (2-4) данных автора по скорости ветра  $U(z)$  как функции высоты  $z$  (зима,  $\mu_0 = -15,9$ ).

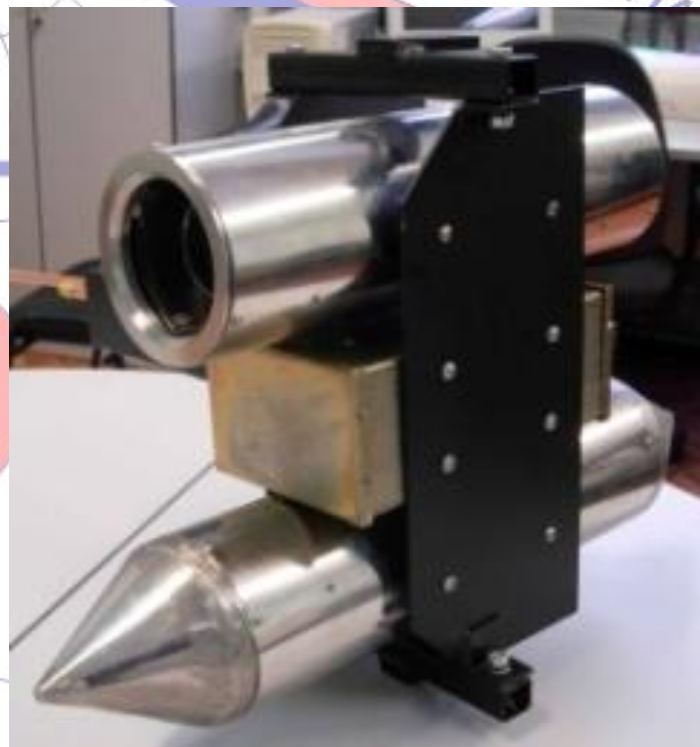


Сравнение экспериментальных (1) и расчетных (2-4) данных автора по скорости ветра  $U(z)$  как функции высоты  $z$  (весна,  $\mu_0 = -75,8$ ).

# Датчик мощности выброса, основанный на проточной и непроточной ионизационных камерах



Датчик мощности радиоактивных выбросов, состоящий из непроточной (с конусом), проточной (с каналом) ионизационных камер и



Датчик мощности радиоактивных выбросов, состоящий из непроточной (с конусом), проточной (с каналом) ионизационных камер цилиндрической геометрии, термоизолированного блока электрометрических

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНОЙ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

**При выборе модели необходимо, чтобы она удовлетворяла следующим условиям:**

- Давала расчет с “удовлетворительной погрешностью” при любой эффективной высоте источника не превышающей высоту пограничного слоя атмосферы на расстояние не менее 30 км от источника выбросов
- Учитывала особенности подстилающей поверхности, определяющей величину скорости сухого осаждения
- Учитывала вымывание радиоактивной примеси естественными осадками (дождь, снег) и туманом
- Учитывала радиоактивный распад примеси во время переноса
- Учитывала влажность атмосферы
- Учитывала значения метеопараметров (продольную и поперечную скорости ветра, коэффициент турбулентной диффузии) по всему пограничному слою атмосферы.
- Необходимо, чтобы метеорологические параметры модели определялись только на основе измерений по аттестованным методикам или представляли собой известные литературные данные
- Необходимо, чтобы прогностические оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и населения осуществлялись в режиме реального времени (расчет ~ 10 мин.)
- При выборе модели необходимо учитывать экономический фактор.

# Влияние шероховатости подстилающей поверхности на формирование следа радиоактивного загрязнения

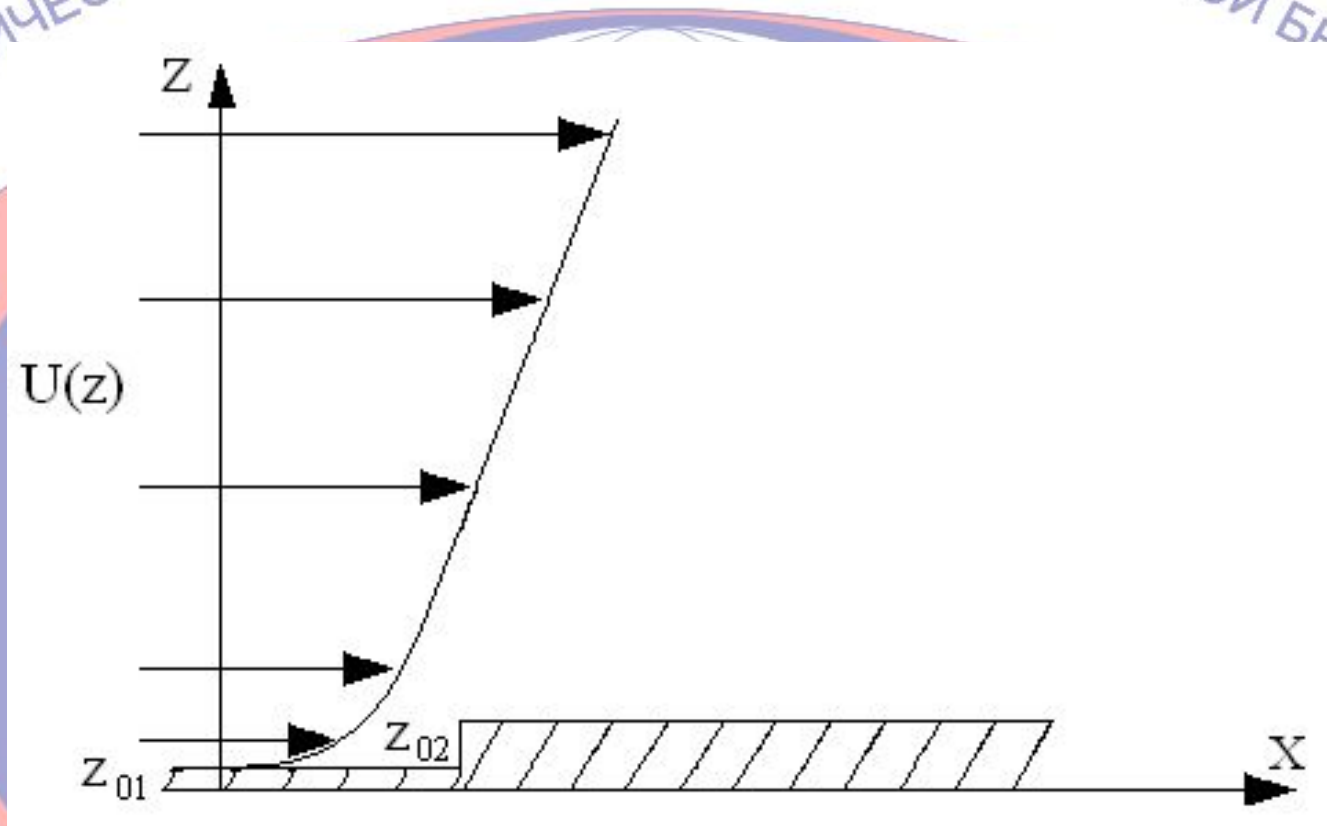
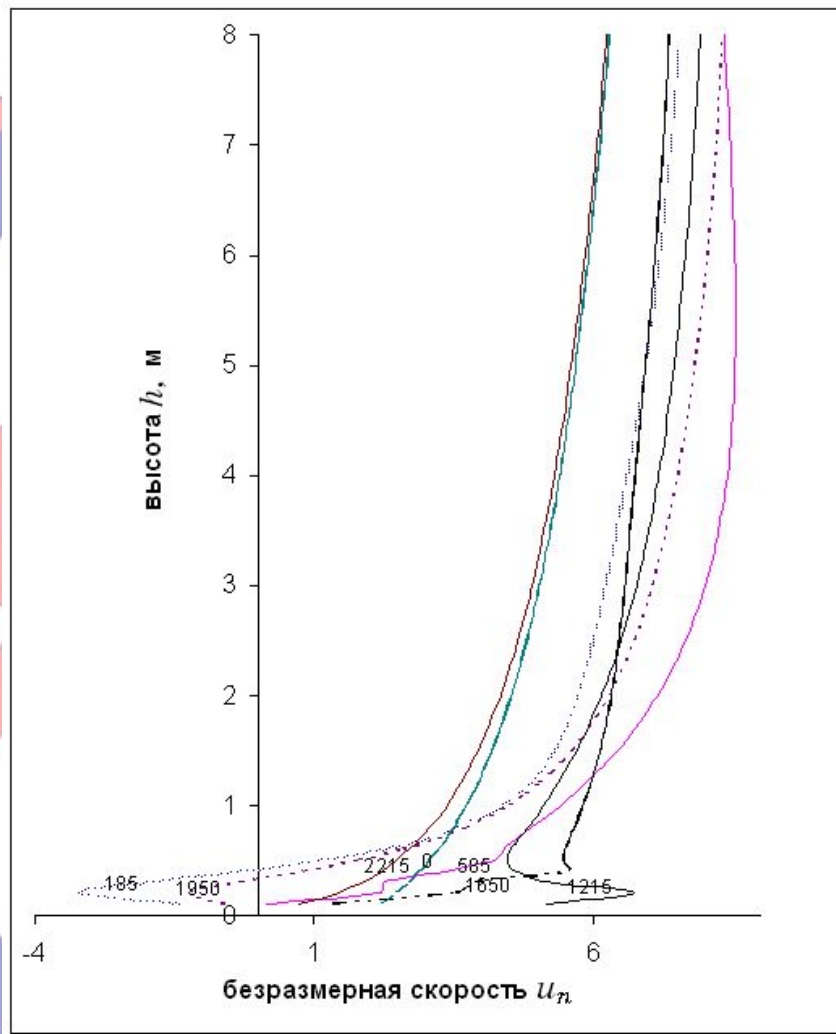


Иллюстрация к решению задачи по трансформации поля ветра при изменении уровня шероховатости подстилающей поверхности

# Влияние шероховатости подстилающей поверхности на формирование следа радиоактивного загрязнения

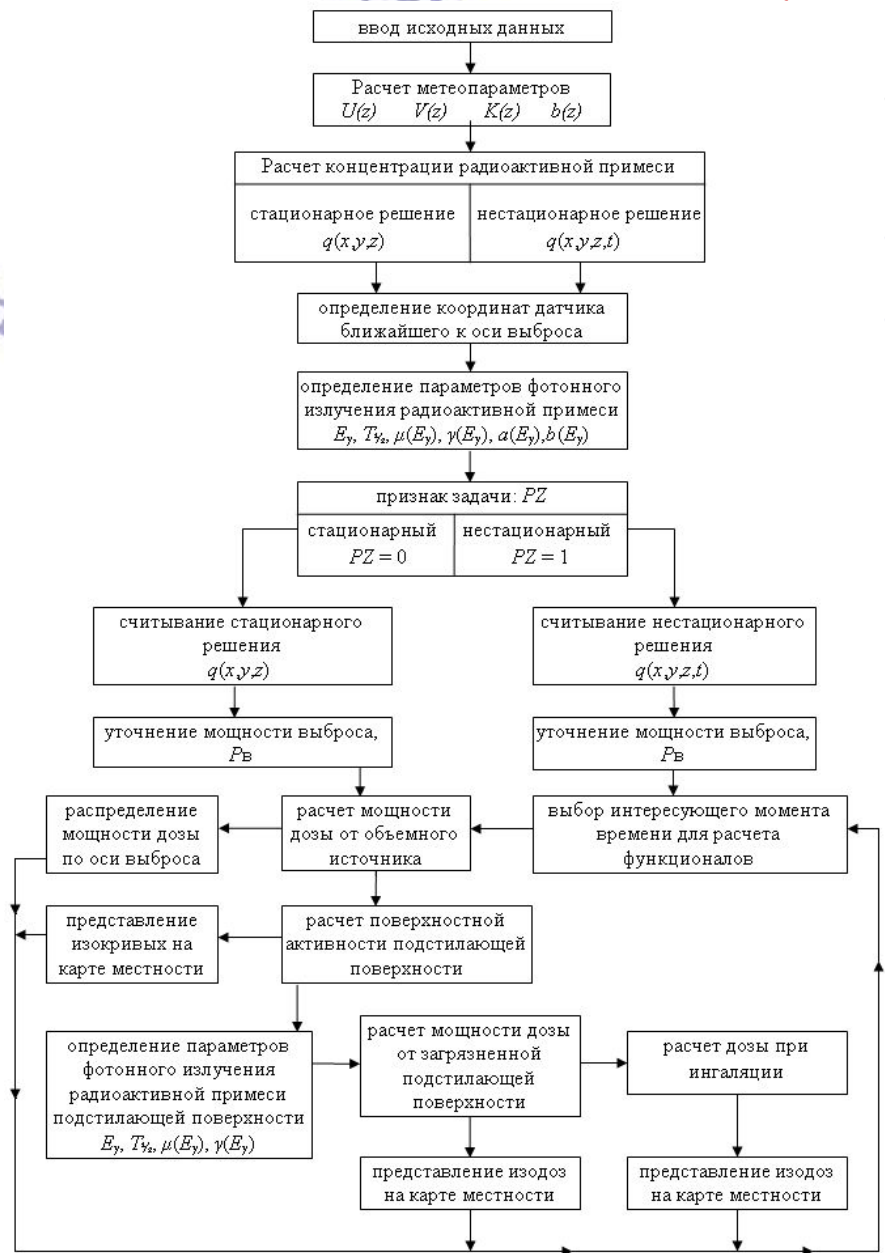


Трансформация поля скорости ветра над подстилающей поверхностью, характеризующейся новым уровнем шероховатости  $z_0$  на различных расстояниях от ее формирования

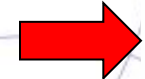
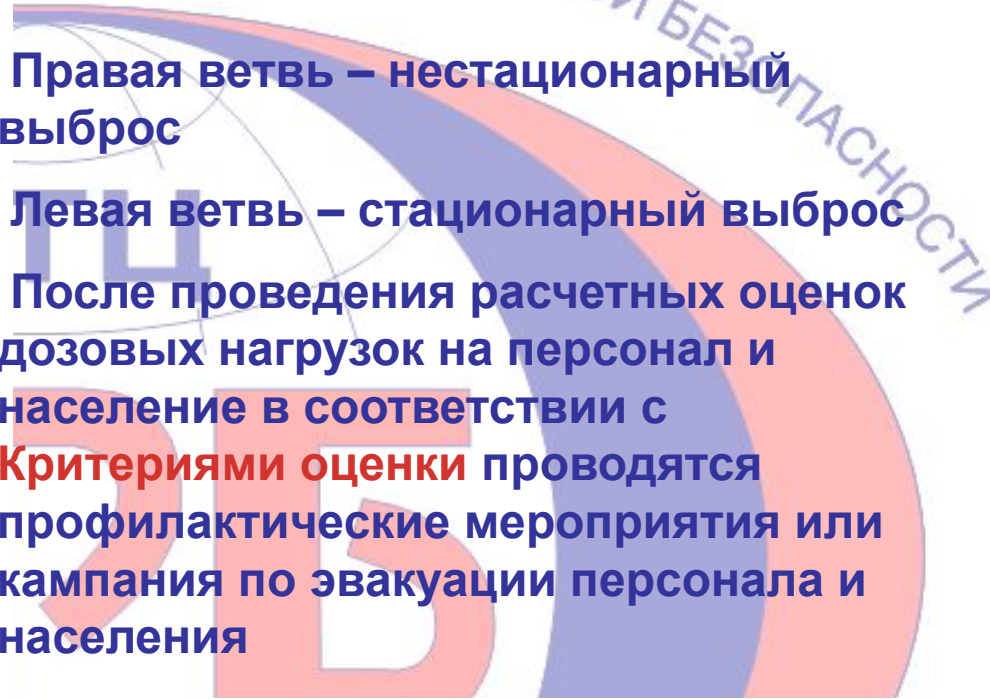
# МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

- Радиационные характеристики радиоактивного загрязнения окружающей среды: мощность дозы от объемного источника (факела или облака выбросов), поверхностную активность подстилающей поверхности, мощность дозы от подстилающей поверхности, дозу при ингаляции и т.д. находят как функционалы полученного решения для концентрации радиоактивной примеси, радионуклидный состав которой определен
- При оценке таких радиационных характеристик как мощности дозы внешнего облучения от объемного источника (радиоактивного облака) и подстилающей поверхности, загрязненной в результате осаждения радиоактивной примеси, необходимо использовать интегральные методы
- Для оценок радиационной обстановки в районе действующей АС, могут быть использованы либо математические методы, либо технические средства (так называемый инструментальный мониторинг окружающей среды)
- Мониторинг, основанный на использовании автоматизированных технических средств, является альтернативой математическим методам прогнозирования радиационной обстановки. Информативность подобной автоматизированной системы напрямую зависит от числа постов контроля оборудованных датчиками, регистрирующими ионизирующее излучение.

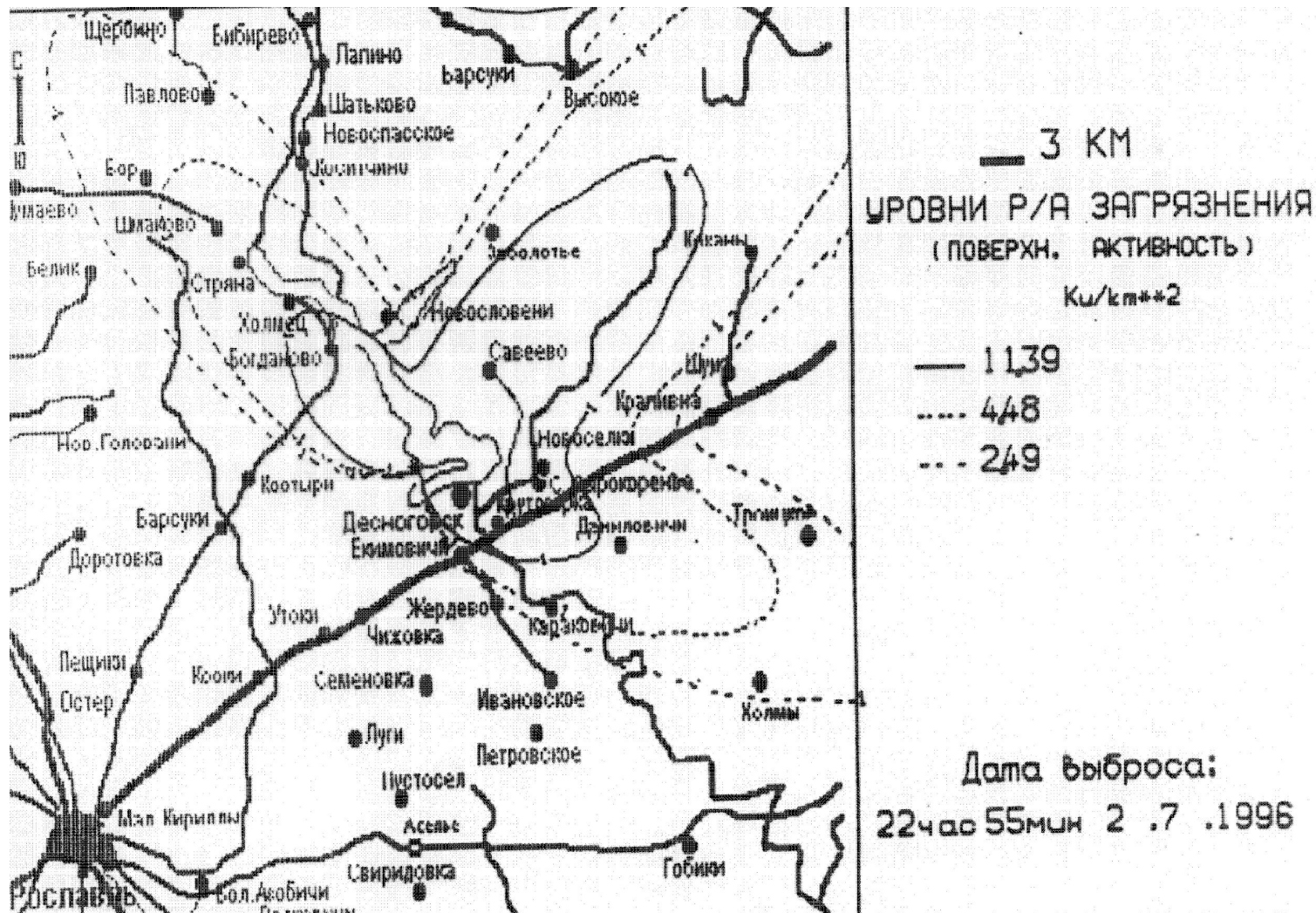
# Алгоритм расчета загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население



- Правая ветвь – нестационарный выброс
- Левая ветвь – стационарный выброс
- После проведения расчетных оценок дозовых нагрузок на персонал и население в соответствии с **Критериями оценки** проводятся профилактические мероприятия или кампания по эвакуации персонала и населения



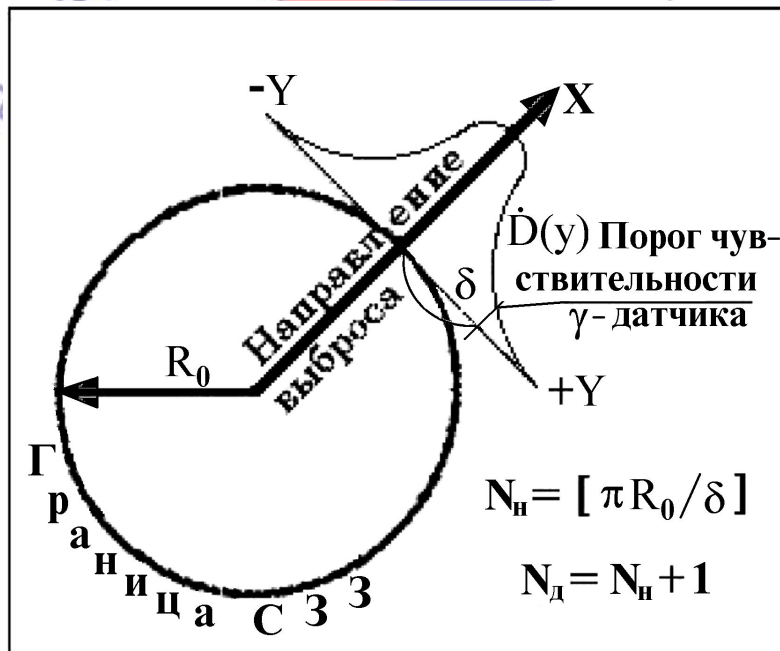
# Накопление поверхностной активности при различных направлениях радиоактивного выброса





# Принцип определения необходимого и достаточно количества постов контроля АСКРО

Размещение постов контроля в СЗЗ определяется демографическими, экономическими и экологическими и физическо-техническими критериями



**Дозовый критерий** - мощность дозы внешнего облучения ( $B$ ) ( $R_0$ )

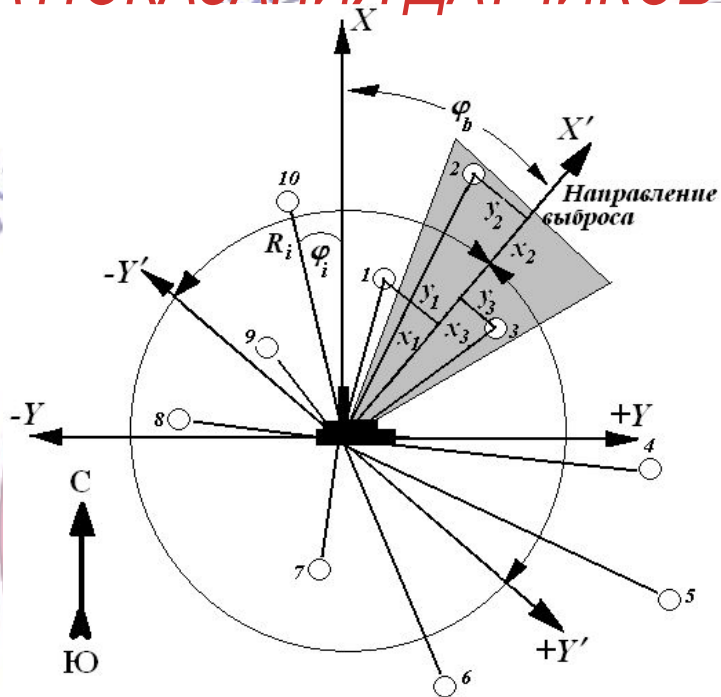
**Порог чувствительности  $\gamma$ -датчика** - мощность дозы внешнего облучения для населения

**Класс устойчивости F (модель Пасквилла-Гиффорда):**

- сильный ветровой перенос
- слабая поперечная диффузия факела выбросов

Значение  $N_d$  (достаточное число постов контроля) - 22 ÷ 24

# УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ НОРМИРОВКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНОГО ВЫБРОСА НА ПОКАЗАНИЯ ДАТЧИКОВ АСКРО



**Геометрия определения координат и номера датчика:**

- отсчет датчиков осуществляется по азимуту с севера на юг по часовой стрелке

**Требование по выбору датчиков:**

- выбираются датчики, расположенные наиболее близко к оси выброса

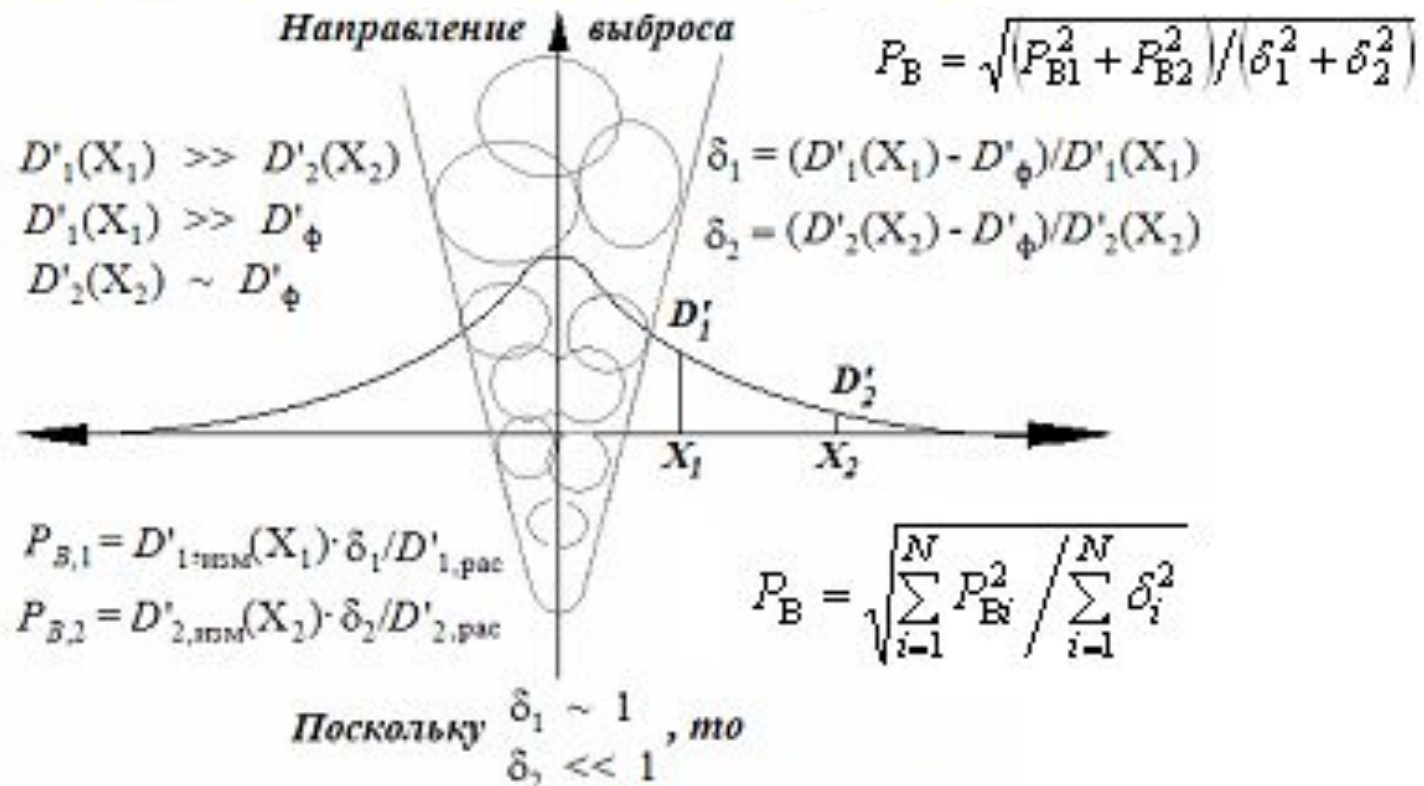
**Дополнительное условие, предъявляемое к размещению датчиков АСКРО:**

- расстояние от датчиков до источника выбросов должно быть существенно различным.

# К вопросу о повышении точности прогнозирования

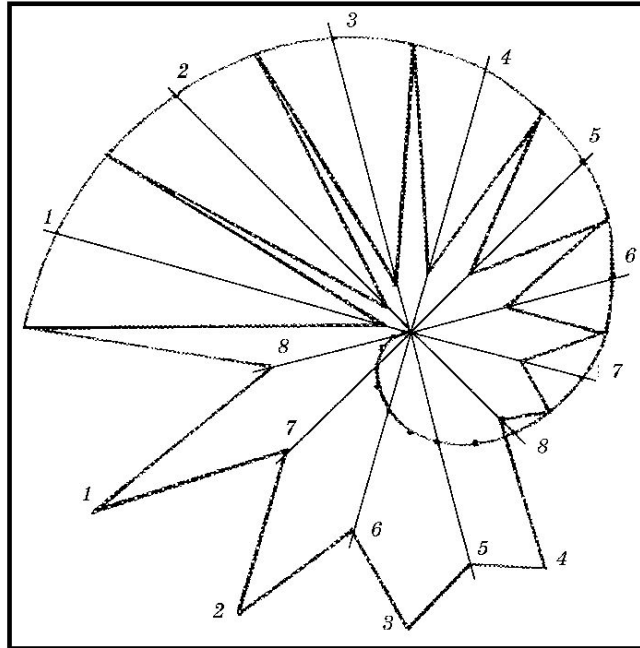
При измерении мощности выброса несколькими датчиками величину мощности выброса для каждого из датчиков находят как отношение  $D'_{i,изм.}$  к  $D'_{i,расч.}$ , вычисленное при  $P_{B,i} = 1$ , т.е.

$P_{B,i} = D'_{i,изм.} / D'_{i,расч.}$ , а значение абсолютной величины мощности выброса  $P_B$  находят как среднеквадратичное



Таким образом, наиболее достоверными из найденных  $P_{B,i}$  являются величины с наибольшими значениями, так как их вклад в сумму наиболее значим


# Оптимизация размещения гамма-датчиков АСКРО



Возможное размещение гамма – датчиков АСКРО в санитарно-защитной зоне по спирали Архимеда (на пересечении кривой с лучами) и многолучевой звездой в вершинах и основании лучей

## Требования по размещению гамма-датчиков АСКРО:

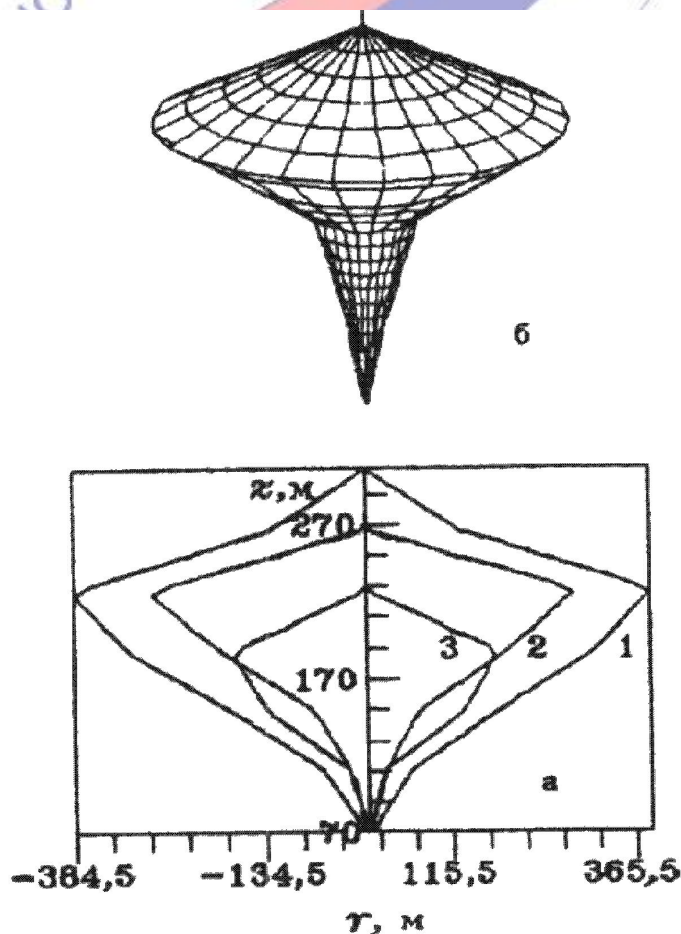
- система датчиков числом достаточного количества размещается равномерно по азимуту
- расстояния датчиков от источника выброса являются строго различными

- 
- обнаружение факела при любом азимутальном угле его распространения из источника выброса
  - определение радиационных характеристик газоаэрозольной радиоактивной примеси (средняя энергию гамма-излучения, коэффициенты поглощения, линейного ослабления и др.) в условиях, когда неизвестен радионуклидный состав выброса

# ИСТЕЧЕНИЕ СТРУИ ИЗ ОТВЕРСТИЯ ЗАМКНУТОГО РЕЗЕРВУАРА С ОБРАЗОВАНИЕМ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛАКА

Изолинии (а) и трехмерное представление поверхности (б) заданной концентрации радиоактивного облака, образующегося при истечении высокотемпературной турбулентной струи, при исходных параметрах истечения  $W_0 = 456$  м/с

( $T_{0,p} = 528$  К,  $P_{0,p} = 303$  кПа) и  $r_0$  равного: 1,5 (1); 0,5 (2); 0,3 м (3).



# Выводы

- Оптимизация финансовых затрат на разработку автоматизированных систем радиационного мониторинга АС и других ОИАЭ, где возможно применение подобных систем.
- Удовлетворение экологическим критериям, предъявляемым к подобным системам, при их внедрении на АС и других ОИАЭ.
- Прогнозирование результатов радиоактивного загрязнения окружающей среды при отсутствии информации о радионуклидном составе радиоактивной примеси, выброшенной в атмосферу в условиях радиационных аварий на АС или любом другом ОИАЭ, на котором внедрена АСКРО с учетом рекомендаций разрабатываемого Руководства по безопасности.
- Повышение точности прогнозирования результатов радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на население при радиационных авариях на АС или других ОИАЭ, где возможно применение подобных систем с учетом рекомендаций разрабатываемого Руководства по безопасности.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

НТЦ

ЯИРБ