# Лекция 2

## 1.3. НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В ядерном реакторе образуются различные радиоактивные веще­ства: α- и β-частицы, нейтроны и γ-кванты, которые мо­гут нарушить нормальную деятельность организмов и поэтому требуют применения специаль­ных мер безопасности.

Чтобы уменьшить риск, связан­ный с облучением населения, в районах, где используют­ся атомные энергетические установки и ведутся работы с радиоактивными веществами, устанавливается санитарно-защитная зона.

В пределах зоны запрещается размещение жилых зданий, детских учреждений и подсобных сооружений, не относящихся к данному предприятию. На этой терри­тории ведется систематический контроль радиационной обстановки.

Главной нормируемой величиной на АЭС является предельно допустимая доза облучения за дли­тельный период времени.

Изменения, происходящие в облученном объекте под воздействием различного рода излучений, зависят от поглощенной дозы энергии.

Единицей поглощенной дозы любого ионизирующего излучения является грей [Гй], причем 1 Гй = 1 Дж/кг. До последнего времени применялась специальная еди­ница поглощенной дозы - рад, при этом 1 рад = 0,01 Гй.

Для оценки радиационной опасности хронического облучения принята **эквивалентная доза смешанного ионизи­рующего излучения Н*,*** учитывающая коэффици­ент качества облучения человека **Q**.

Эквивалентная доза в си­стеме единиц СИ измеряется в зиверстах [Зв] или в ранее используемых единицах - бэрах. При этом 1 Зв = 1 Гй/ Q = 100 бэр.

*Таблица 1.6.*

#### Значение коэффициента качества Q в зависимости от вида излучения

|  |  |
| --- | --- |
| Вид излучения | Q |
| Рентгеновское и γ-излученне | 1 |
| Электроны и позитроны, β-излучение | 1 |
| Протоны с энергией меньше 10 МэВ | 10 |
| Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ | 3 |
| Нейтроны с энергией 0,1 - 10 МэВ | 10 |
| α – излучение с энергией меньше 10 МэВ | 20 |
| Тяжелые ядра | 20 |

Эквивалентная доза определяется как произведение поглощенной дозы Д на средний коэффициент качества облучения  в данной точке ткани:

, (1.9)  
где индексы i относятся к компонентам излучения с раз­ным качеством излучения.

По основным дозовым пределам уста­новлены следующие категории облучаемых лиц:

**категория** **А** - персонал, который непосредственно работает с источниками   
 ионизирующих излучений;

**категория** **Б** - ограниченная часть населения, кото­рая не работает непосредственно   
 с источниками излуче­ния, но может подвергнуться облучению;

**категория** **В** - население области, края, республики, страны.

В порядке убывания радиочувствительности устанав­ливаются три группы критических органов:

**I группа** - все тело, гонады и красный костный мозг;

**II группа -**мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка,  
 желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаза и другие органы,   
 за ис­ключением тех, которые относятся к I и III группам;

**III группа** - кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

Нормами радиационной безопасности НРБ-76 установлены дозовые пределы

##### Таблица 1.6

**Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения, бэр за год**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Доза | Группы критических органов | | |
| I | II | III |
| Предельно допустимая доза (ПДД) для категории А | 5 | 15 | 30 |
| Предел дозы за год (ПД) для категории Б | 0,5 | 1,5 | 3 |

Эквивалентная доза Н*,* накопленная за время Т(лет) с начала профессиональной работы, для лиц кате­гории А не должна превышать значения

Н = ПДД . Т. (1.10)

В любом случае доза, накоп­ленная к 30 годам, не должна превышать 12 ПДД*.*

Ограничение облучения населения (категория В) определяется возможным возникновением отдаленных эффектов и генетических последствий.

Исходя из предельно допустимой дозы на критиче­ский орган рассчитаны предельно допустимое годовое по­ступление (ПГП) и допустимое содержание (ДС) радионуклидов в критическом органе. Допустимые концен­трации радионуклидов (ДК) в воздухе и воде рассчи­тываются по наиболее жестким значениям ПДД и ПГП.

Предельно допустимое годовое поступление через органы пищеварения и допустимые концентрации радио­нуклидов в воде для категории Б не должны превышать:

ПГП*,* мкКи/год ........…... 0,03

ДКБ , Ки/л. .........…..….....3.10-11

Активность радиоактивного вещества определяется числом спонтанных ядерных превращений в единицу времени. Одно ядерное превращение в секунду в систе­ме СИ получило название беккерель (Бк). Исполь­зуется также ранее применявшаяся единица радиоактив­ности - кюри. При этом 1 Ки = 3,7 .1010 Бк.

В производственных помещениях основным путем поступления радиоактивных веществ является ингаляци­онный, т.е. через органы дыхания, а для объектов внеш­ней среды -через органы пищеварения.

Между ПДД (мкКи/год) и среднегодовой допусти­мой концентрацией (СДК) радиоактивных веществ в воде или воздухе, Ки/л, существует соотношение:

ПДД = 106 . СДК . V***,***

где V - объем воды или воздуха, поступающий в орга­низм человека   
 в течение года, л/год.

Объем воздуха принимается равным:

для категории А 2,5 . 106 л/год;

для категории Б 2,5 . 106 л/год;

для кате­гории В 7,3 . 106 л/год,   
 а объем воды 800 л/год.

На АЭС имеются три источника загрязнения воздуха радиоактивными веществами.

**Первый источник** - деление ядер горючего материала в твердой и газообразной форме. Наиболее вероятно попадание в воздух га­зообразных осколков деления - инертных газов, а также радиоактивного йода.

**Второй источник** - воздействие нейтронных потоков на теплоноситель первого контура и окружающий воздух. На­веденную активность может получить находящая­ся в воздухе пыль.

**Третий источник** - нарушенные оболочки твэлов или наличие изотопов йода, активных инертных газов и аэрозолей в протечках теплоносителя даже при практически плотных твэлах.

Существует также значитель­ное разнообразие газообразных технологических сдувок, причем в некоторые периоды (например, периоды пере­грузок) имеет место повышенная газовая активность, требующая организации специальной дезактивации га­зообразных выбросов.

Кроме того источниками радиоактивности мно­гие вспомогательные сооружения и элементы (бассейны выдержки, система продувки реактора, баки сброса ра­диоактивных протечек и др.), в которых выделяются радиоактивные инертные газы. Поэтому на АЭС существуют специальные системы газо­очистки радиоактивных газов и их дезактивации, после чего они направляются в вентиляционную трубу и рас­сеиваются в атмосфере.

В зависимости от высоты трубы регламентируются предельно допустимые выбросы радиоактивных газов.

Таблица 1.7

**Максимально допустимые выбросы при высоте вентиляционной трубы 100 м**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование элементов | Выброс, Ки/сут |
| Сумма стронция-90 и стронция-89 | 10-3 |
| Йод-131 | 0,1 |
| Сумма β и γ активных аэрозолей,кроме изотопов стронция и йода | 0,5 |
| Сумма радиактивных инертных газов (изото­па криптона, ксенона и аргона) | 3500 |

Допускается выброс элементов в любых пропорциях в пределах каждой группы, но в сумме не более приведенного значения. Допускается также су­точный выброс одновременно всех групп изотопов, при­чем по каждой группе он не должен превышать указан­ных значений. Для вентиляционных труб с высотой бо­лее 100 м нормы выброса могут быть увеличены, однако лишь в соответствии с дополнительным расчетом.

## 1.4. ПРОЦЕССЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Атмосферные загрязнения под­вергаются сложным процессам превращения и взаимо­действия. Эти процессы различны для взвешенных частиц и газообразных примесей.

Время «жизни» взвешенных частиц в атмосфере зависит от их физико-химических свойств, метеорологи­ческих параметров и некоторых других факторов, в пер­вую очередь от высоты выброса частиц в атмосферу и их размеров.

Основными процессами удаления аэрозолей явля­ются:

* осаждение частиц под воздействием силы тяже­сти,
* осаждение на растениях,
* включение их в элементы осадков путем конденсации,   
  вымывания дождем и т. п.

Процесс осаждения частиц является основ­ным, определяющим срок их «жизни».  
 Однако это относится только к частицам с радиусом более 1 мкм, процесс осаждения которых подчиняется закону Стокса.   
 Частицам размером менее 0,1 мкм в диаметре свойст­венно броуновское движение.   
 У частиц размером 0,1 - 1 мкм в диаметре скорость осаждения ничтожна по сравнению с перемещением воздуха в атмосфере.

#### *Таблица 1.8*

#### Примерная скорость осаждения частиц в неподвиж­ном воздухе\*

|  |  |
| --- | --- |
| Радиус частиц, мкм | Скорость осаждения, см/с |
| 0,1 | 8.10-6 |
| 1,0 | 4.10-3 |
| 10,0 | 0,3 |
| 100,0 | 25,0 |

\* - Наличие ветра может существенно изменить скорость осаждения.

С размером частиц связана также и их способность коагулировать, что оказывает влияние на срок их «жизни» в атмосфере.

Вопрос о времени «жизни» и превращениях газооб­разных загрязнении атмосферы изучен мало­.

Срок «жизни» в атмосфере сернистого газа, по данным разных авторов, варьируется от нескольких ча­сов до 1,5 сут и даже нескольких дней.

Сернистый газ окисляется в трехокись серы, которая, взаимодействуя с влагой воздуха, образует серную кис­лоту. На скорость процесса окисления влияет солнеч­ный свет и мельчайшие частицы пыли, каталитически ускоряющие процесс окисления.

Интенсивность образование аэрозоля серной кислоты из сернистого газа резко возрастает с увеличением влажности воз­духа.

Большинство реакций газообразных загрязнений в атмосфере связано с термо- или фото­окислением. В верхних слоях атмосферы, на уровне бо­лее 30 км от земной поверхности, где фотохимические реакции протекают при участии солнечного излучения с длиной волн короче 290 нм, происходит полный рас­пад, как органических, так и неорганических веществ, попавших из биосферы. Сложные молекулы распада­ются, возвращаясь в приземный слой в виде углекислого газа, воды, кислорода, азота и пр.

В приземном слое, где ультрафиолетовый участок спектра ограничен и начинается   
с 290 нм, первичные фотохимические реакции могут происходить с вещест­вами, которые характеризуются спектральными полосами поглощения, начиная с указанной длины волны.

Реакция фотодиссоциации двуокиси азота N02 на NO и О, при которой поглощается излучение ультрафиолетовой области спектра, играет решающую роль в атмосферных фотохими­ческих процессах.

Диссоциация NО2 дает толчок к множеству вторичных реакций, появлению свободных радикалов, образованию озона, полимеризации. Совместное окисление углеводородов и окислов азота приводит к образованию пероксиацилнитратов (ПАН), обладающих сильным токсическим дей­ствием. Такие вещества могут быть обнаружены в городском воздухе во время токсических туманов.

При протекании фотохимических реакций с двуокисью азота происходит непрерыв­ное образование озона, который, взаи­модействуя с окисью азота, снова образует двуокись азота.

В результате этого количество N02 в продуктах сгорания ТЭС по мере движения дымового факела в атмосфере увеличивается до 60 - 70%, тогда как на выходе из дымовых труб двуокись азота составляет всего 10-15% всех окислов азота, а остальные 85-90% составляет в основном окись азота.

Это приводит к усилению отрицательного воздействия продуктов сго­рания на природу и живые организмы, так как двуокись азота примерно в 3 - 3,5 раза более токсична, чем окись азота.

Таким образом, вредные примеси выбросов ТЭС, воздейст­вуя на биосферу в районе расположения электростанции, подвергаются различным превращениям и взаимодействиям, а также осаждаются, вымываются атмосферными осадками, поступая в почву и водоемы.

В связи с этим следует оценить воздействие промышленных выбросов **в глобальном мас­штабе**. Здесь надо иметь в виду, что вещества, выбрасываемые в результате деятельности человека, не явля­ются инородными для окружающей природы и участву­ют в круговороте.

Возвратившись к данным таблицы 1.3, можно заметить, что только по сере естественные и антропогенные поступления близки между собой. По остальным загрязнениям идустриальные выбросы в 20-70 раз меньше природных. Поэтому они имеют хотя и существенное, но далеко не основное значение в общем природном кругообороте веществ.

Накопления пыли, окислов серы и азота в ощутимых размерах в свободной атмосфере практически не происходит. Это объясняется тем, что время пребывания в атмосфере большинства загрязняющих компонен­тов не превышает нескольких суток.

За последнее столетие наблюдается заметное возра­стание лишь содержания СО2 в атмосфере от 0,029 до 0,032%. Это не оказывает влияния на людей и живот­ных, но при дальнейшем росте может оказать опре­деленное влияние на климат планеты.

На существование животного мира решающее значе­ние оказывает кислород воздуха. В процессе дыхания животных и горения уменьшается его концентрация в атмосфере, которая затем восстанавливается растениями за счет образования биомассы при поглощении СО2.

Антропогенные процессы, связанные с количе­ственным ростом процессов сжигания топлива, а также сокращением площади лесов могут способствовать уменьшению концен­трации О2 в атмосфере. Однако ощутимого изменения концентрации кисло­рода в атмосфере за счет деятельности человека в настоящее время практически не наблюдается.

При этом успокаивает еще и то, будь-то снижение концентрации кисло­рода даже на несколько процентов не приведет к каким-либо вредным последствиям для биосферы.

*Таким образом, в настоящее время наиболее акту­альным является поддержание уровня загрязнений, не превышающего допусти­мых концентраций в районе располо­жения предприятий, городов, а не планеты в целом.*

# 2. ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЕ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

## 2.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ

Эффективность работы газоочистных устройств зависит от физико-химических свойств улавливаемой золы и поступающих в золоуло­витель дымовых газов.   
 Основными характеристиками золы являются плотность, дисперсный состав, электри­ческое сопротивление (для электрофильтров), слипаемость.   
 Плотность частиц летучей золы для большин­ства топлив составляет 1900-2500 кг/м3.   
 Дис­персным составом называют распределение частиц по размерам. О величине частицы судят по размеру наименьшего отверстия сита, через которое частица диаметром d проходит при просеивании. Просеивая зо­лу уноса через ряд сит с различным размером ячеек, получают кривую остатков на сите Rd (рис.2.1,а).

Ордината кривой показывает количество пыли в про­центах, частицы которых больше, чем размер ячейки сита. Можно вместо остатков на сите использовать об­ратную величину - проход через сито уd, причем

уd =100 - Rd. (2.1)

Наименьший размер отверстий в ситах, принятых в нашей стране, составляет 44 мкм, поэтому для определения дисперсного состава фракций меньше этого размера, используют другие методы - воздушной се­парации, жидкостной седиментации и микроскопическо­го анализа.

Распределение частиц золы большинства углей со­ответствует логарифмически-нормальному закону; в этом случае зависимость Rd от d в специальной вероятност­ной шкале изображается прямой (рис.2.1,б).

Расчет степени улавливания обычно ведется для каждой фракции частиц отдельно. Содержание той или иной фракции Фi можно найти из кривой остатков на сите вычитанием остатков на сите на концах заданного изменения диаметров частиц (рис.2.1, в).

На эффективность работы электрофильтров существенное влия­ние оказы­вает величина удельного электрического сопротивления *ρ*. По этому признаку золу уноса углей можно разде­лить на три группы.

**I группа** - *ρ* <102 Ом м. Такими свойствами обладает зола, имеющая большое количество недогорев­шего углерода, например зола донецкого АШ.

**II группа** –102 < *ρ* < 108 Ом м наиболее полно улавли­вается в электрофильтрах. К этой группе относится зола ряда каменных углей - донецкий Т, ГСШ и некоторые другие.

**III группа** - *ρ* >108 Ом-м - может возник­нуть вторичный унос осев­шей золы. К этой группе относятся некоторые сорта каменных углей, в частности экибастузские, куз­нецкие и др.

Для инерционных уловителей существенное зна­чение имеет слипаемость золы уноса. По слипаемости зола делится на четыре группы: не слипаю­щаяся (I), слабо слипающаяся (II), среднеслипающаяся (III) и сильнослипающаяся (IV).

Зола с высокой слипаемостью забивает циклоны и мокрые золоуловители и плохо удаляется из бункеров.

Для мокрых уловителей имеет значение содержание в золе свободной извести СаО. При боль­шом содержании СаО их работа становится невозмож­ной из-за цементации золы.

## 2.2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ

Основным показателем работы золоуловителя явля­ется степень улавливания   
 , (2.2)

где *G* вх, *G* вых - количество золы поступающей в золоуловитель и уходящей из него (не уловленной) в единицу времени, кг/с;*с* вх, *с*вых - концентрация золы в газе на входе в золоуловитель и на выходе из него, кг/ м3.

Для расчетов более удобна другая вели­чина - проскок (унос) золы

, (2.3)

Между степенью улавливания и проскоком имеет место следующее соотношение

*ε* = 1- *η* (2.4)

Параметр золоулавливания   
 , (2.5)

где *v* - скорость движения частиц золы под действием сил осаждения   
 к поверхности осаждения (скорость дрей­фа), м/с;   
 *A* - поверхность канала золоуловителя*,* м2,   
 *V* - расход газа*,* м3/с.

Теоретические выражения для проскока:

- при мелкодисперсной золе (менее 30 мкм)  
 , (2.6)

- при крупнодисперсной золе (более 30 мкм) / ламинарный поток  
 , (2.7)

На рис.2.2 представлены кривые изменения сте­пени улавливания при росте *П.*

Для каждой фракции золы *Ф*i , под­считывается значение скорость дрейфа *v*i *,* и по ней степень фракционного проскока *ε*i.

Общий проскок золы определяется по формуле

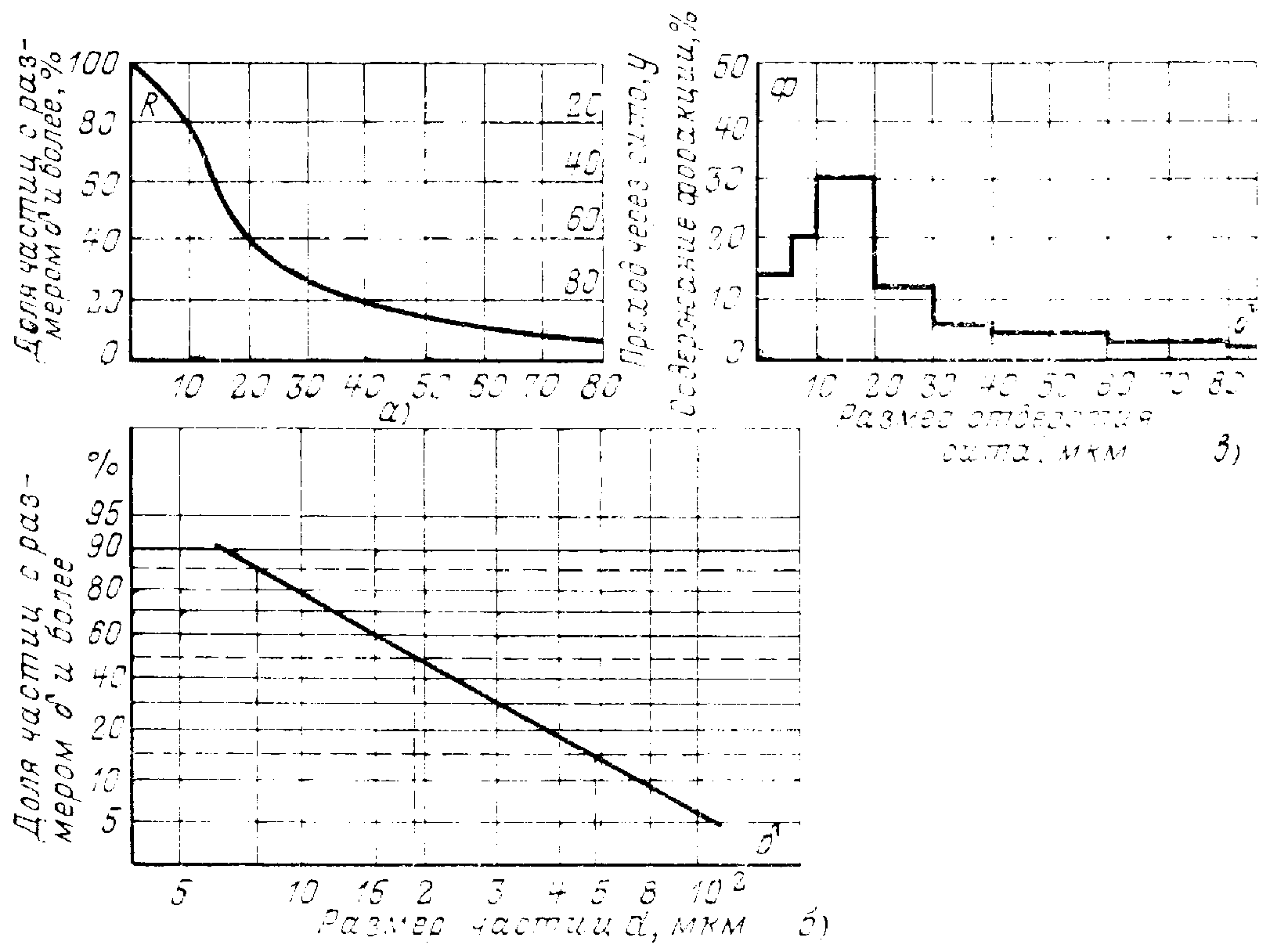
, (2.8)

где n - число фракций.

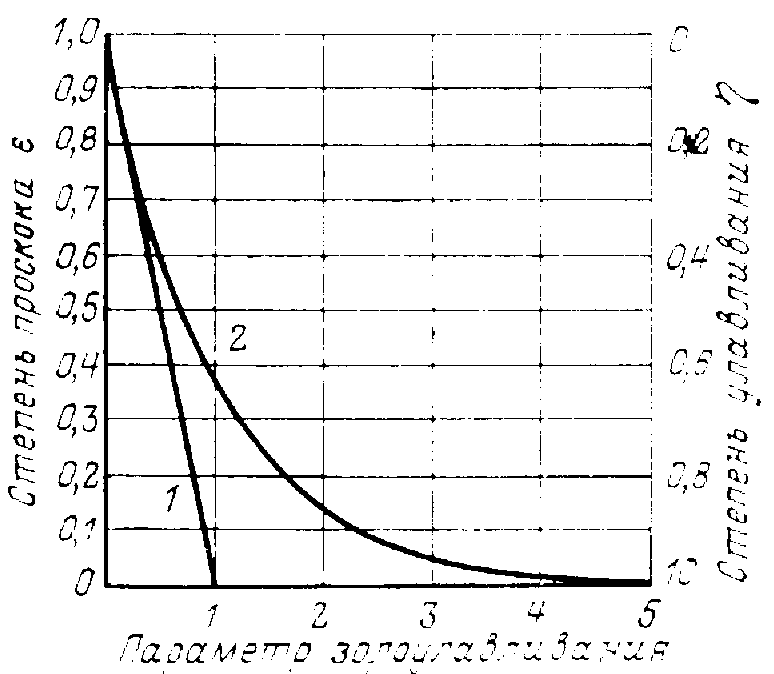
Если последовательно устанавлива­ется несколько ступеней золоулавливания, то проскок некоторой фракции через все ступени определяется по выражению

*ε*i = *ε*i 1 *ε*i 2 *ε*i 3 *ε*i 4 … , (2.9)

где *ε*i 1 , *ε*i 2 , *ε*i 3 , *ε*i 4 - проскок некоторой фракции через пер­вую, вторую и другие ступени золоулавливания.



*Рис.2.1.* Дисперсион­ный состав золы уноса:   
 *а* - кривая остатков на сите;   
 *б* - остатки на си­те в вероятностно-лога­рифмической шкале ко­ординат:   
 *в* - распределе­ние частиц по фракциям.



*Рис.2.2.* Изменение степени проскока и улавливания от параметра золоулавливания;   
1- для крупных частиц, не участвующих в пульсациях (>30 мкм);   
2 - для мелких частиц (≤30 мкм).