

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 502.3:504: [66+669]

**К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА  
ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПРЕДПРИЯТИЯМ  
ЧЕРНОЙ, ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ  
И АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

© 2015 И.А. Стародубцев, А.П. Елохин

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

Рассматриваются вопросы модернизации АСКРО, для оценки экологической обстановки в регионах, в которых располагаются предприятия черной и цветной металлургической промышленности, характеризующиеся значительными выбросами и сбросами веществ, загрязняющих окружающую среду. Приводится характеристика выбросов указанных предприятий, а так же ущерба, которые они наносят для среды обитания человека, растительного и животного мира. С целью осуществления экологического контроля окружающей среды в рамках санитарно-защитной зоны (СЗЗ) соответствующих предприятий предлагается внедрение автоматизированных систем контроля экологической обстановки (АСКЭО). Представлены основные требования к системе, принципы ее работы, верхняя и нижняя оценки размеров СЗЗ. Приведен принцип оценки оптимального количества датчиков контроля системы.

*Ключевые слова:* экология, загрязнение окружающей среды, выбросы отходов производств, металлургия черных и цветных металлов, материальные и финансовые затраты, автоматизированная система контроля экологической обстановки окружающей среды, АЭС.

Поступила в редакцию 15.12.2015 г.

Пристальное внимание, которое уделяет государство и общественность вопросам развития атомной промышленности, строительству и эксплуатации АЭС, играет глубоко положительную роль в целях создания благоприятной экологической обстановки в регионе расположения указанных производств. К наиболее важным системам, обеспечивающим радиационную безопасность АЭС, относятся автоматизированная система радиационного контроля (АСРК), отвечающая за автоматизированный радиационный контроль работы АЭС, и автоматизированная система радиационного контроля окружающей среды (АСКРО), позволяющая минимизировать последствия в случае возникновения радиационных аварий на станции или других объектах использования атомной энергии. Значительная наработка материала, описывающего приборно-техническое оборудование, являющееся составной частью системы и определяющее работу АСКРО, принципы и методы работы автоматизированной системы в целом, позволяют расширить область применения аналогичных систем на предприятия и регионы РФ, где экологическая обстановка оставляет желать лучшего. Цель настоящей работы состоит во внедрении автоматизированных систем контроля окружающей среды на предприятиях черной и цветной металлургической промышленности.

Предприятия черной и цветной металлургии при производстве металлов зачастую вынуждены использовать руду с весьма низким содержанием полезных компонентов, что требует для ее обогащения и дальнейшей выплавки металла значительных объемов

руды. Это, в свою очередь, приводит к огромным объемам пустой породы, образующей, так называемые, терриконы, не только формирующие ландшафт подобных производств, но и выводящие землю, на которой располагаются последние, из хозяйственного оборота. Кроме того, шлак, образующийся при выплавке значительных объемов руды, выделяет большое количество выходящих газов [1], соединение которых с дождевой влагой образует кислотные дожди, пагубно влияющие на экологию окружающей среды. Выбросы из вентиляционных труб приводят к загрязнениям почв, уничтожению растительности и образованию техногенных пустошей вокруг крупных заводов. К тому же, экологические проблемы отечественной металлургии обостряются из-за высокого износа (свыше 60%) оборудования и устаревших технологий. По данным Минпромэнерго, до 70% всех мощностей в отечественной металлургической промышленности являются изношенными, устаревшими и убыточными. Предприятия черной металлургии выбрасывают в воздух оксид углерода около 1,5 млн. тонн в год, а производители цветных металлов – диоксид серы, 2,5 млн. тонн ежегодно. Всего металлургические предприятия выбрасывают в атмосферу 5,5 млн. тонн загрязняющих веществ. Крупные металлургические центры – Кемерово, Липецк, Магнитогорск и Новокузнецк – включены в список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Аэрогенная нагрузка загрязняющих веществ в городах Орске и Новотроицке составила 0,71 т/жителя и 1,9 т/м<sup>2</sup>, 0,83 т/жителя и 1,7 т/м<sup>2</sup> соответственно [2]. Указанные производства представляют угрозу не только окружающей среде, но и экономике регионов, поскольку помимо капиталовложений, необходимых на развитие технологий для ликвидации последствий выбросов и загрязнения окружающей среды, требуются и мероприятия по поддержанию благополучного уровня здоровья населения, проживающего в этом регионе. Все это требует финансовых средств в бюджет регионов.

Чтобы конкретизировать указанные проблемы, рассмотрим ситуацию в г. Карабаш Челябинской области на Южном Урале в Российской Федерации. Этот город является одним из крупнейших медеплавильных центров России и, к сожалению, причиной тяжелейшей экологической обстановки в регионе [3]. Наряду с черновой медью, серной кислотой и гранулированным шлаком – основными составляющими производства ЗАО «КАРАБАШМЕДЬ» занимается производством драгоценных металлов (из шлама – отходов производства, содержащих драгоценные металлы), являющихся побочной продукцией. На 2015 год население города составляет 11 593 человека [4].

Город, как индустриальный центр, начинает свою историю с 1822 года, будучи шахтерским рудником. Тогда же были открыты залежи медной руды, после чего начинается серия строительства медеплавильных заводов России. Вплоть до конца 1980-х годов экологическая обстановка города только ухудшается, из-за несовершенства технологий производства меди. Работа заводов все же останавливается в 1989 году, однако, это приводит к глубочайшему кризису в социальной и экономической области города. За десять лет население снизилось с 47 тысяч (1989 г.) до 14 тысяч. В 1998 году предприятия перекупаются и запускаются вновь.

Приказом Минприроды от 25 июня 1996 года № 299 город Карабаш и прилегающие территории были охарактеризованы как зона экологического бедствия [5]. Отмечалось, что ежегодный объем выбросов в атмосферу ядовитого сернистого ангидрида заводом составлял более 118 тыс. тонн (около 7 тонн на одного жителя города) [6].

При производстве меди из медной руды образуется большое количество вредных веществ в отходящих газах, содержащих производные свинца, серы, мышьяка и,

собственно, меди. Вся эта газоаэрозольная примесь выбрасывалась за период работы завода практически беспрепятственно, а выбросы не очищались. За 95 лет карабашские металлурги произвели более двух миллионов 400 тысяч тонн черновой меди, выбросив при этом в атмосферу более 14 миллионов тонн загрязняющих веществ, поскольку предприятие работало без системы тонкой очистки отходящих газов [7].

На сегодняшний день экологическая обстановка города остается катастрофической [8]. Сложившаяся ситуация создает не только угрозу жизни и здоровью людей региона, но и, так называемую, "экономическую дыру" в масштабе всей страны – финансовые вливания для ликвидации или смягчения последствий производства, загрязняющего окружающую среду, никак не устраняют причину их появления.

Леса вокруг медеплавильного комбината вымерли. Окружающие завод горы совершенно облысели. Осень в окрестностях медеплавильного комбината наступает уже в июне – из-за выбросов в Карабаше различные виды растительности, в частности деревья, желтеют и сбрасывают листья. При движении ветреных воздушных потоков в сторону города и выпадения осадков погибает урожай в огородах. Это происходит из-за воздействия кислотных дождей, образующихся при растворении сернистого газа в дождевой воде [9].

Последнее и чуть ли не единственное серьезное исследование экологии и здоровья проводилось в Карабаше в 1996 году. Тогда специалисты Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ пришли к выводу, что в волосах и крови местных детей до 6 раз превышено содержание свинца и кадмия. В городе в два раза выше уровень детской смертности, больше мертворожденных и недоношенных детей. Очень высокая заболеваемость стрептодермией, дерматитом, заболеваниями ЛОР-органов и пищеварения, тиреотоксикоз встречается чаще в 37 раз, а сахарный диабет – примерно в 3 раза. Высочайший уровень генетических и приобретенных заболеваний: раковые опухоли, экзема, камни в почках, дефекты внутриутробного развития, слабоумие, церебральный паралич [10]. Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу указаны в таблице 1.

**Таблица 1.** – Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за весь период работы медеплавильного производства, расположенного на территории Карабашского городского округа Челябинской области (по состоянию на 01.01.2005 года) [9]

Период, год	Пыль неорганическая SiO <sub>2</sub> < 20%	Диоксид серы	Оксид меди	Свинец и его соединения	Мышьяк	Оксид цинка	Прочие	ВСЕГО выбросов	Объем черновой меди	Выбросы на тонну черновой меди
1907-1918	14 699	353 823	1 574	3 360	2 520	6 037	-	382 013	52 496	7,277
1925-1969	299 603	7 211 872,4	32 100,3	68 480,6	51 360,5	123 051,2	-	7 786 468	1 070 010,75	7,277
1970-1973	19 310	433 000	2 350	3 580	2 960	7 600	-	468 800	65 548,2	7,152
1971-1974	71 985,2	1 732 787,9	7 712,7	16 453,7	12 340,3	29 565,2	-	1 870 845	257 090,2	7,277
1975-1978	55 580	1 100	5 760	14 490	9 150	23 050	-	1 208 540	208 350,06	5,8
1979-1984	88 208,3	1 014 106,3	8 704,6	16 829,2	11 026	24 953,6	-	1 163 828	290 159,2	4,011
1985-1997	69 335	757 269	6 666	7 991	6 236	14 740	3062	865 299	221 639,4 ч. м 35 972,4 м.с. 36 575 м.ш.	
1998-2004	58 284	481 933	984,5	416	459,3	6 561	45887,2	594 525	247 688,7	2,4

Описанные явления – результат формирования на территории города и за его пределами зоны повышенного загрязнения почв тяжелыми металлами. Вблизи Карабашского медеплавильного комбината содержание свинца в почвах достигало 30-220 ПДК (предельно допустимой концентрации), меди – 10 ПДК и более. В почвах

санитарно-защитной зоны комбината концентрации цинка составляют до 22 ПДК, свинца – до 84 ПДК, меди – до 108 ПДК [11].

Состав отходов на металлургических предприятиях известен. Они включают бракованную продукцию, обрезки металла после проката. Значительную долю отходов составляют выбросы в атмосферу. Краткая характеристика побочных продуктов и выбросов в основных подотраслях черной металлургии представлена в таблице 2.

С целью улучшения экологической обстановки на предприятии и в регионе новое руководство предприятия решило для производства черновой меди использовать щадящие технологии типа «Isasmelt/Ausmelt», позволяющие уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Процесс «Isasmelt/Ausmelt», на основе которого в настоящее время осуществляется работа предприятия – двухстадийный способ получения меди, из сульфидных концентратов, состоящий из плавки сырья и последующего восстановления шлака. Способ разработан фирмами Mount Isa Mines, Ltd. и CSIRO (Австралия) [13]. Схема технологического процесса переработки меди представлена на рисунке 1.

К преимуществам процесса, по мнению ее изобретателей, Isasmelt/Ausmelt можно отнести быстрый пуск и остановку плавки, отсутствие выбросов отходящих газов в атмосферу цеха, высокую производительность.

**Таблица 2.** – Краткая характеристика побочных продуктов и выбросов в основных подотраслях черной металлургии [12]

Выделения, выбросы в атмосферу	Характер сточных вод, загрязняющих водоемы	Применяемые методы защиты	Утилизация отходов и выбросов
1	2	3	4
<b>Производство кокса</b>			
Отходящие газы содержат SO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> S, цианиды, аммиак, фенол, углеводороды (в том числе особо вредный бензопирен), а также пыль (до 0,4 кг/т кокса). При тушении кокса в атмосферу вместе с парами воды выбрасываются аммиак, сероводород, оксиды серы, фенолы и др.	Около 1/3 сточных вод - надсмольные воды, содержащие фенолы до 3 г/л. Кроме того, сточные воды содержат смолы, масла, цианиды, аммиак и его соли, сульфиды, сульфиты, бензол, толуол, ксилол, нитраты и др.	Оборудование углеподготовки и коксортировки оснащается аспирационными системами. Удаляемые газы перед выбросами в атмосферу подвергаются двухступенчатой очистке (вначале сухой, затем мокрой). Коксовый газ очищается от смолы, масляных туманов и пыли в электрофильтрах. Извлечение из газа ароматических углеводородов, аммиака H <sub>2</sub> S, сернистых соединений и др. осуществляется промывкой в скрубберах поглощающими растворами. Сточные воды сначала подвергают осветлению (отстаиванию), затем физико-химическим и биохимическим методам очистки.	Из 1 т каменноугольной шихты получают 760-800 кг кокса, 320-330 м <sup>3</sup> коксового газа, а также такие продукты, как бензол, аммиак, смола, пек, нафталин. Коксовый газ используют в качестве топлива. Из других продуктов получают препараты: аспирин, нашатырный спирт, красители, карболку, каменноугольный лак, шпалопропиточное масло, материалы для парфюмерной промышленности и др.
<b>Производство агломерата</b>			
Просос воздуха для спекания составляет 2500-3000 м <sup>3</sup> на 1 т агломерата. В процессе спекания воздух насыщается соединениями серы, углерод и др. Образующийся газ увлекает большое количество пыли, состоящей из оксидов железа. На 1 т агломерата образуется до 7 кг пылевых выбросов.	Хлориды, сульфиды, кальций, железо - и др. Содержание взвешенных частиц 12-20 г/л. а Грубодисперсность шламов определяет достаточно высокие скорости выпадения - взвешенных веществ.	Циклоны, скрубберы, электрофильтры. Целесообразно применение сухих электрофильтров с высокой степенью очистки. Для очистки сточных вод применяются процессы отстаивания, для ускорения которых используют различные флокулянты.	Отсасываются горячие газы, тепло которых используют для предварительного подогрева шихты и воздуха. Подача на ленту подогретого воздуха повышает температуру верхней части слоя и прочность агломерата. Железосодержащие шламы, извлекаемые из сточных вод, утилизируются.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Доменное производство			
<p>При работе на дутье без обогащения его кислородом на 1 т чугуна образуется около 2000 м<sup>3</sup> доменного (колошникового) газа. Его состав: 25-32% CO, 10-18% CO<sub>2</sub>, 1-2% H<sub>2</sub>, остальное - азот. При обогащении дутья кислородом содержание CO и H<sub>2</sub> в доменном газе возрастает.</p>	<p>Пыль (частицы руды, агломерата, кокса, известняка), сульфаты, хлориды и т. п. Сточные воды образуются также на разливочной машине, при грануляции доменного шлака (около 2 м<sup>3</sup>/т чугуна) и др.</p>	<p>Доменный газ подвергают последовательно грубой, полутонкой и тонкой очистке. На современных доменных печах обеспечивается практически полная герметизация, исключающая выбросы в атмосферу.</p>	<p>В доменных печах на 1 т чугуна образуется от 0,3 до 0,6 т шлака состава (в среднем), %: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 6-22, SiO<sub>2</sub> - 38-42, CaO - 38-48, MgO - 2-12. Основную часть жидкого шлака подвергают грануляции (быстрым охлаждением водой или воздухом) с получением гранул, используемых для производства цемента и известково вяжущих веществ. Часть шлака используют для получения балласта в дорожном строительстве, получения шлаковой пемзы или термозита, шлаковой ваты. Колошниковый (доменный) газ используют как топливо.</p>
Сталеплавильное производство			
<p>Количество и состав отходящих газов определяются рядом факторов:                      1) наличием или отсутствием топлива, состав которого определяет состав отходящих газов;                      2) использованием кислорода (по мере замены воздуха кислородом в отходящих газах уменьшается содержание азота);                      3) подсосом воздуха через неплотности и щели;                      4) спецификой процесса (например, в случае продувки металла аргоном в отходящих газах будет аргон);                      5) степенью дожигания CO до CO<sub>2</sub>. Отходящие газы содержат CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и N<sub>2</sub>. Пылевые выбросы состоят из оксидов железа. Помимо пылегазовых выбросов в процессах производства стали образуются шлаки (в зависимости от технологии в количестве 10-20 % от массы металла). Состав шлаков меняется в широких пределах в зависимости от технологии.</p>	<p>Размеры частиц пыли в сточных водах от 0,01 до 0,1 мм при концентрации (в зависимости от условий работы) от 3 до 20 г/л. В электро-сталеплавильных цехах значительная масса частиц пыли в сточных водах имеет размеры 10 мкм; взвесь такой пыли трудно осаждается.</p>	<p>Все сталеплавильные цехи оснащены системами газоочистки, а также комплексом оборудования для очистки сточных вод.</p>	<p>Образующиеся в процессах сталеварения шлаки перерабатываются:                      а) на изготовление щебня (примерно 50 % от всей массы шлаков);                      б) в качестве флюсов;                      в) для удобрения или известкования почв.                      Железосодержащие шламы (и пыли) после пылеочистных установок используются как добавки в агломерационную шихту.                      Теплота выделяющихся газов используется для нагрева воздуха (в мартеновских печах) и для получения пара.</p>

Вместе с тем, следует отметить, что "Карабашмедь" сегодня единственное металлургическое предприятие в России, оснащенное передовой технологией "Ausmelt". Несмотря на заявления изобретателей технологии, побочные продукты производства, такие как шлак, все так же выбрасываются в вырытые ямы. Ввод в эксплуатацию новой медеплавильной печи позволил увеличить производительность предприятия до 90 тыс. тонн черновой меди в год, при этом объем отходящих газов уменьшился в шесть раз. Но и этих показателей недостаточно для того, чтобы улучшить экологическую ситуацию в регионе [14, 15]. Более того, даже новейшее оборудование не предотвращает выбросы, а напротив, как показала экспертная

комиссия, работает с превышением норм выбросов. Эти нормы прописаны в Федеральных законах «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 года № 7-ФЗ, а так же № 96-ФЗ от 04 мая 1999 года «Об охране атмосферного воздуха». За их систематические нарушения ЗАО «КАРАБАШМЕДЬ» в марте 2015 года, согласно решению суда, была оштрафована [16].

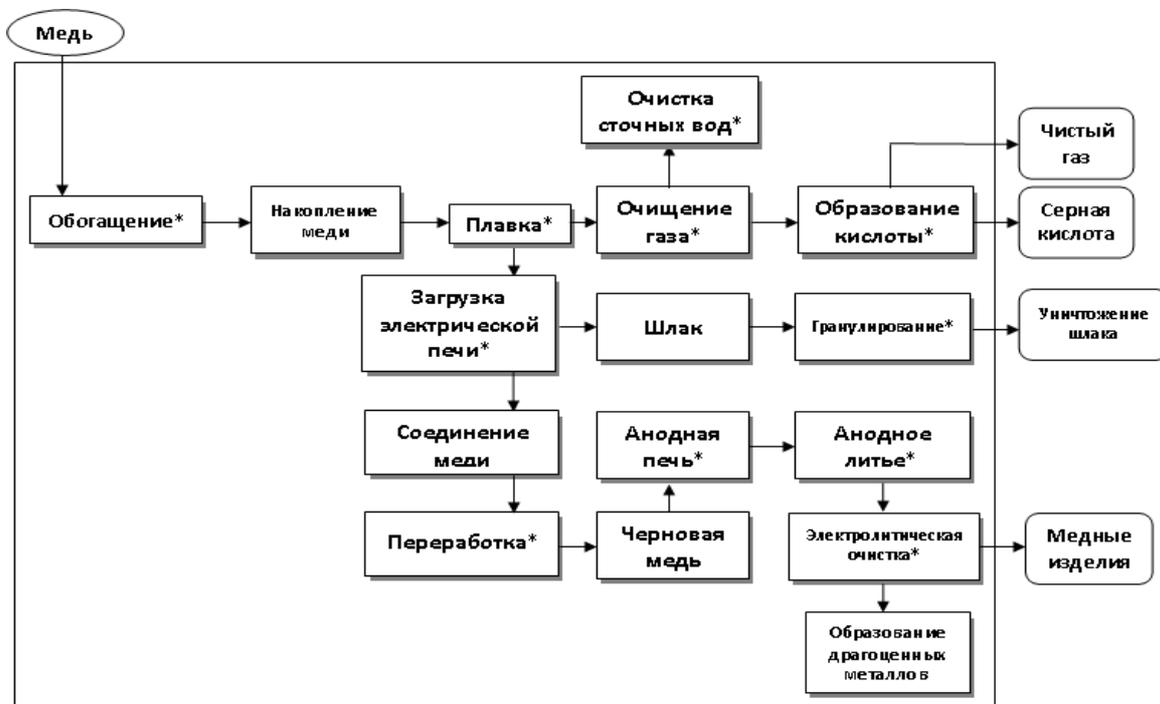


Рис. 1. – Схема технологического процесса переработки меди по технологии Ausmelt;

\* - выполняется по патенту фирмы «Outotec»

Ничего принципиально нового в технологии получения меди, утилизации побочных продуктов производства за последние двадцать лет не вводилось.

В 2010 году правительством Челябинской области принято постановление «Об областной целевой Программе природоохранных мероприятий оздоровления экологической обстановки в Челябинской области на 2011–2015 годы» (Постановление от 15 декабря 2010 года № 318-П) [17]. В качестве желаемого результата программы указывалось:

- обеспечение эффективного управления охраной окружающей среды;
- снижение загрязнения окружающей среды выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и твердыми бытовыми отходами;
- оптимизация сети и обеспечение режима особо охраняемых природных территорий регионального значения (далее именуется – ООПТ);
- обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления и населения информацией о состоянии окружающей среды на территории Челябинской области.

В документе приведен перечень предприятий, согласно официальной статистике, которые производили выбросы вредных веществ в атмосферу свыше установленных норм.

Основными проблемами обращения с твердыми бытовыми отходами на территории Челябинской области указываются как:

- неэффективное управление органов местного самоуправления Челябинской области обращением с твердыми бытовыми отходами (ТБО);
- отсутствие в жилищно-коммунальном комплексе Челябинской области объектов утилизации (захоронения) и переработки ТБО, отвечающих экологическим и санитарно-эпидемиологическим требованиям;
- совместное обращение медицинских отходов и основной массы ТБО;
- низкий уровень санитарной и экологической культуры населения.

Для выполнения всех заявленных целей, планировалось потратить 8,9 млн. рублей из различных источников. Однако, как следует из отчета о выполнении этой программы за 2012 год [18], финансирование программы составило 531,34 млн. рублей. Очевидно, что затраты на реализацию программы оказались значительно выше, чем предполагалось изначально. Возможно, это являлось одной из причин закрытия программы в 2013 году. Таким образом, можно смело утверждать, что конечная цель программы так и не была достигнута.

В итогах реализации программы отмечено снижение загрязнения природной среды Челябинской области за счет уменьшения сверхнормативных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников на 5,48 тыс. тонн. При этом же отмечается повышение уровня загрязняющих веществ в воздухе по сравнению с прошлым годом, от 10% и выше. В основном, мероприятия ограничились информационным сбором о состоянии окружающей среды, вынесением предупреждений, работающим в области предприятиям. Не приведены в отчете результаты мероприятий по повышению экологической и санитарной культуры населения. Можно предположить, что такие мероприятия не проводились. Никаких радикальных мер по изменению технологической базы предприятий для снижения выбросов не отмечено.

Изменить в лучшую сторону ситуацию с точки зрения влияния предприятий на экологию прилегающей территории могла бы разработка и внедрение автоматизированной системы контроля экологической обстановки (АСКЭО). Это система, оснащенная совокупностью датчиков, расчетных программ и исполнительных механизмов, которая в режиме реального времени должна контролировать экологическую обстановку в районе предприятия, осуществлять необходимые расчеты и представлять результаты на табло оператора и населению в доступной форме. Подобные системы в виде автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО) внедрены и успешно работают на АЭС [19, 20].

Основными задачами систем автоматизированного контроля экологической обстановки являются:

- раннее обнаружение повышенного или аварийного выброса токсичной газоаэрозольной примеси, прогнозирование его распространения и загрязнения окружающей среды (подстилающей поверхности и воздушного бассейна), закисление водных акваторий;
- измерение значений концентрации отравляющих и токсичных веществ на местности, оценка токсикологических и химических нагрузок на персонал и население;
- выдача рекомендаций органам управления предприятия, МЧС и др. для принятия решений о защите населения и минимизации последствий.

Система должна функционировать в режиме реального времени, что достигается за счет автоматизации сбора данных по токсикологическим, химическим и метеорологическим параметрам, на основе которых осуществляются прогностические расчеты с использованием математической модели распространения газоаэрозольной примеси в атмосфере.

АСКЭО должны располагаться на промплощадке и в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) промышленных объектов, производств и сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, по ее периметру.

В зависимости от мощности, условий эксплуатации, характера и количества выделяемых в окружающую среду загрязняющих веществ, создаваемого шума, вибрации и других вредных физических факторов, а также с учетом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния их на среду обитания и здоровье человека в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств радиус СЗЗ в настоящий момент устанавливается на расстояния от 50 до 1000 м от возможного источника загрязнения [21]. Это создает дополнительные трудности в проектировании АСКЭО, поэтому предлагается рассмотреть вариант стандартизации условий создания СЗЗ;

Основу АСКЭО, подобно АСКРО, должны составлять [19, 20]:

- система постов контроля газоаэрозольной примеси, распространяющейся в воздушном бассейне вокруг предприятия, предназначенных для измерения ее состава (например, диоксид серы  $SO_2$ , диоксид азота  $NO_2$ , оксид азота  $NO$ ) и концентрации; системы метеодатчиков (для измерения таких параметров, как например, скорость ветра, температура воздуха, ее влажность), размещаемых на метеомачте на различных уровнях;

- программное обеспечение нижнего уровня, служащее для обработки первичной информации, поступающей с указанных датчиков;

- программное обеспечение верхнего уровня, представляющее собой набор специальных математических программ, предназначенных для прогностических расчетов переноса газоаэрозольной примеси в атмосфере, и оценки уровней загрязнения подстилающей поверхности, токсикологической и химической нагрузок на персонал и население в условиях промышленных аварий, связанных с рассматриваемым производством;

- специальное программное обеспечение принятия решений, позволяющих минимизировать последствия загрязнения окружающей среды.

Выбор математической модели осуществляют исходя из следующих критериев [19, 20]:

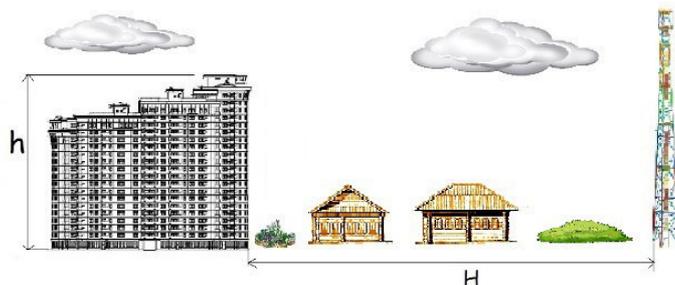
- 1) Модель должна давать надежный расчет параметров газоаэрозольной примеси в районе размещения объекта на расстоянии от источника до 50 км в пограничном слое атмосферы в диапазоне 1,5–2,5 км и учитывать различные метеорологические условия (состояния устойчивости атмосферы).

- 2) В модели должны быть исключены субъективные факторы оценки метеорологического состояния атмосферы, например, низкая облачность, высокая облачность, т.е. модель должна давать прогностические оценки переноса примеси в атмосфере, основываясь только на данных метеодатчиков.

- 3) Измерение метеопараметров должно осуществляться простыми и надежными способами и содержать оптимальное количество датчиков, расположенных равномерно по всему периметру СЗЗ предприятия.

- 4) Вычислительные процедуры, реализующие выбранную модель должны осуществляться в режиме реального времени.

Особые требования предъявляются так же и к расположению метеомачты (см. рис 2) и ее расположению на местности. В работах [19, 20, 22, 23] представлены расчеты для определения зависимости высоты метеомачты, в которых показано, что оптимальная высота метеомачты, для определения характеристик метеопараметров атмосферы, с уровнем определения их измерения 0, 10, 20, 30 и 40 метров, составляет 40 метров [22].



**Рис. 2.** – Определение оптимального расположения метеомачты:

$h$  – высота самого высотного здания;  $L$  – расстояние от самого высотного здания до метеомачты

Особые требования предъявляют к размещению метеомачты. Если принять за  $h$  – высоту самого высотного здания, а  $L$  – расстояние от этого здания до метеомачты, то ее расположение относительно здания должно отвечать неравенству  $L \geq 10h$ , которое отвечает условию стабилизации воздушного потока, возмущенного этим высотным зданием.

К системе в целом и к математическим моделям в частности предъявляют определенные требования, которые формулируются в рамках концепции, определяющей принципы построения системы.

К размещению постов контроля в СЗЗ предъявляют экономические, экологические и демографические требования.

Экономические требования сводятся к ограничению числа постов (датчиков), что обусловлено высокой стоимостью линий связи, оборудования (датчиков, приемопередающих информацию устройств, систем персональных ЭВМ), зарплатой обслуживающего персонала, затратами на социальные нужды и т.д.

Экологические требования сводятся к обеспечению высокой степени информативности об уровнях загрязнения окружающей среды при любом направлении выброса, чего можно достигнуть увеличением числа постов контроля на промышленной площадке и в СЗЗ [19].

Демографические – определяются критерием численности населения: пост контроля совместно с информационным табло общего пользования, на котором обычно выводится информация текущего времени, давления, температуры воздуха, его влажности и загрязненности. Его целесообразно устанавливать в населенном пункте с числом жителей не менее  $N$  чел., где значение  $N$  будет определяться как экономикой населенного пункта, так и стремлением жителей к получению информации об уровнях экологического загрязнения окружающей среды.

После выброса газоаэрозольная примесь рассеивается в воздухе и оседает на подстилающую поверхность. Плотность ее распределения зависит от дисперсного состава примеси, скорости ветра, шероховатости подстилающей поверхности, от объектов, расположенных на местности, от ее орографии.

Для оценки уровней загрязнения окружающей среды, как указывалось выше, используют математическое обеспечение верхнего уровня, представляющего собой пакет программ, осуществляющих расчет переноса примеси в атмосфере, ее седиментацию и, таким образом, загрязнение подстилающей поверхности. С точки зрения переноса примеси в атмосфере нет особого различия между радиоактивной и инертной примесью определенного дисперсного состава, за исключением специфической особенности радионуклидов – их распада во времени (особенно короткоживущих), в том числе и во время их переноса в атмосфере. С другой стороны взаимодействие сернистого газа с каплями дождя приводит к образованию слабой

серной кислоты с такими характеристиками, как, например, гравитационная скорость выпадения. Эти характеристики уже отличны от первоначального газа. Поэтому при решении задач переноса примеси в атмосфере и оценки загрязнения подстилающей поверхности можно использовать аналогичные уравнения, что и для радиоактивной примеси с учетом указанных их особенностей [19, 20, 23]. В качестве примера приведем решение стационарного уравнения турбулентной диффузии для приземного слоя атмосферы, которое можно использовать для указанных оценок [19, 20, 23].

Рассмотрим в качестве субстанции объемную концентрацию газоаэрозольной примеси, загрязняющей окружающую среду,  $q(x, y, z)$  (кг/м<sup>3</sup>). Ее метеопараметры:  $u(z)$  – продольная скорость воздушного потока (поперечную скорость полагаем равной нулю),  $k(z)$  – коэффициент турбулентной диффузии и  $b(z)$  – энергия турбулентных пульсаций. Эти параметры, определяемые в рамках модели приземного слоя атмосферы [24]. Перенос последней в атмосфере рассчитывают, используя уравнение турбулентной диффузии, полагая при этом, что размывание примеси по оси  $Y$  осуществляется по закону Гаусса, и, определяя, таким образом, объемную концентрацию примеси выражением:

$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp(-y^2/2\sigma_y^2), \quad (1)$$

где  $\sigma_y(x)$  – среднеквадратичное отклонение;

функция  $S(x, z)$  определяется выражением:

$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} q(x, y, z) dy. \quad (2)$$

Таким образом, для объемной концентрации газоаэрозольной примеси получают уравнение:

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \varphi, \quad (3)$$

где  $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M\delta(x)\delta(z - h_{эф})$ ;

$f = M\delta(x)\delta(y)\delta(z - h_{эф})$  – источник газоаэрозольной примеси, загрязняющий окружающую среду;

$M$  – мощность выброса (кг/с);

$h_{эф}$  – эффективная высота выброса;

$\sigma$  – постоянная релаксации газоаэрозольной загрязняющей примеси, представляющая собой постоянную вымывания примеси из атмосферы  $\sigma_0$  (с<sup>-1</sup>), так что  $\sigma = \sigma_0$ ;

$w$  – гравитационная скорость оседания примеси.

В рамках рассматриваемой модели переноса величину  $\sigma_y^2(x)$  представляют в виде:

$$\sigma_y^2(x) = \bar{b}x^2 / \bar{u}^2 (1 + ax\bar{b} / \bar{k}\bar{u}),$$

где  $\bar{b}, \bar{k}, \bar{u}$  – усредненные по приземному слою высотой  $H_{пр}$  с весом  $S(x, z)$  значения энергии турбулентных пульсаций  $b(z)$ , коэффициента турбулентной диффузии  $k(z)$  и скорости ветра  $u(z)$ ,  $a = 0,015$ .

$$\bar{b} = \frac{\int_0^{H_{np}} b(z) \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{np}} \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}; \quad \bar{k} = \frac{\int_0^{H_{np}} k(z) \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{np}} \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz};$$

$$\bar{u} = \frac{\int_0^{H_{np}} u(z) \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{np}} \left( \int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}.$$

Граничные условия определяются выражениями:

$$S(x, z)|_{x=0} = 0; \tag{4}$$

$$S(x, z)|_{x \rightarrow \infty} = 0; \tag{5}$$

$$S(x, z)|_{z \rightarrow \infty} = 0; \tag{6}$$

$$k \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w) S \Big|_{z=z_0}, \tag{7}$$

где  $\beta$  – скорость сухого осаждения газоаэрозольной примеси на подстилающую поверхность;

$z_0$  – параметр шероховатости подстилающей поверхности.

Аналитическое решение задачи (3) – (7) дается выражением (8), а непосредственно объемная концентрация газоаэрозольной примеси вычисляется по формуле (1), в которой  $S(x, z)$  определяется выражением:

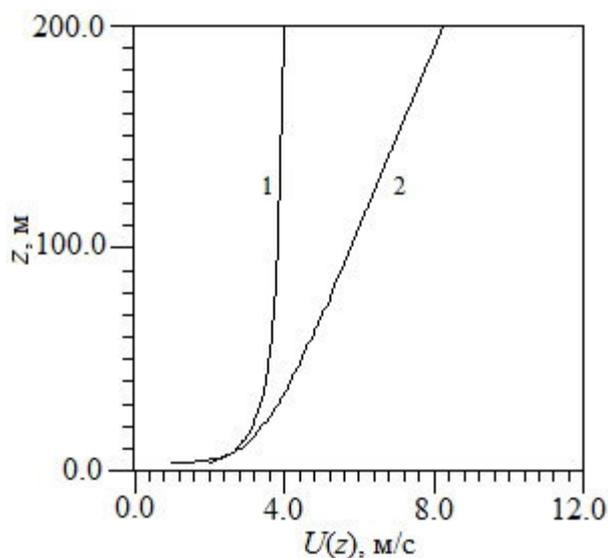
$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp\left(-\left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4\bar{k}\bar{u}} + \frac{w(z - h_{эф})}{2\bar{k}}\right]\right) \left\{ \frac{\exp(-[z + h_{эф}]^2 \bar{u} / 4\bar{k}x) + \exp(-[z - h_{эф}]^2 \bar{u} / 4\bar{k}x)}{\sqrt{\pi \bar{k} \bar{u} x}} - \frac{(2\beta - w)}{\bar{k}\bar{u}} \exp\left[-\frac{(2\beta - w)(z + h_{эф})}{2\bar{k}} + \left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}}\right)^2 \frac{\bar{k}x}{\bar{u}}\right] \right. \tag{8}$$

$$\left. \times \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}}\right) \sqrt{\bar{k}x/\bar{u}} + \frac{(z + h_{эф})}{2\sqrt{\bar{k}x/\bar{u}}}\right] \right\}$$

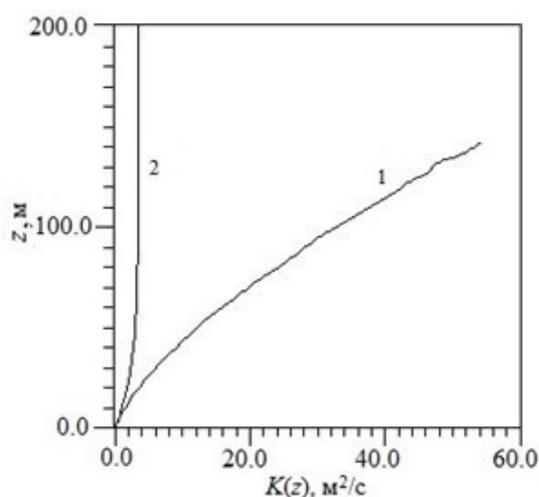
При экспериментальном определении состава примеси могут быть использованы аспирационные датчики [25], которые совместно с масспектрометрическим оборудованием [26] обеспечат оценку как парциальной концентрации газоаэрозольной примеси в воздухе, так и общего количества вещества, выброшенного в атмосферу. Метеорологические параметры  $b(z)$ ,  $k(z)$ ,  $u(z)$  и, соответственно,  $\bar{b}$ ,  $\bar{k}$ ,  $\bar{u}$  неявно зависят от параметра устойчивости атмосферы  $L_0^*$  [24], представляющего собой, в рамках

\* Состояние устойчивости атмосферы (с.у.а) – физическое свойство атмосферы, зависящее от совокупности свойств ее компонент (температуры, влажности, продольной скорости ветра, атмосферного давления). В рамках различных моделей с.у.а. характеризуется различными параметрами. Например, в рамках модели Пасквилла-Гиффорда с.у.а. характеризуется 7 классами (A, B, C, D, E, F, G) от сильно устойчивого G, до сильно неустойчивого неустойчивого A. В рамках модели приземного слоя атмосферы с.у.а. характеризуется масштабом приземного слоя атмосферы (масштабом Монино-Обухова  $L_0$ ), определяемого по

модели приземного слоя атмосферы, масштаб Монина-Обухова. Эта величина, определяемая по данным метеорологических наблюдений датчиками, измеряющими скорость ветра, температуру и влажность воздушного потока и расположенных на различных уровнях на метеомачте при использовании методики градиентных наблюдений. Можно показать, что параметры  $b(z)$ ,  $k(z)$ ,  $u(z)$  действительно зависят от параметра устойчивости атмосферы  $L_0$ . Тогда, учитывая вид зависимости объемной концентрации  $q(x,y,z)$  от усредненных значений этих параметров, определяемой выражениями (1) и (8), нетрудно понять, что и характер распределений объемной концентрации газоаэрозольной примеси, загрязняющей окружающую среду, также будет зависеть от этого параметра. Результаты расчета продольной скорости воздушного потока  $U(z)$  и коэффициента турбулентной диффузии  $K(z)$  в рамках модели приземного слоя атмосферы при различных состояниях ее устойчивости, определяемых масштабом Монина-Обухова  $L_0$  и динамической скорости ветра  $v_*$ , приведены на рисунках 3, 4 [19, 20].



**Рис. 3.** – Зависимость скорости приземного ветра  $U(z)$  от высоты от подстилающей поверхности (модель приземного слоя атмосферы): 1 - неустойчивое состояние ( $L_0 = -18$ ,  $v_* = 0,32$  м/с,  $\bar{u} = 3,8$  м/с,  $\bar{b} = 1,424$ ); 2 - устойчивое состояние ( $L_0 = 30$ ,  $v_* = 0,26$  м/с,  $\bar{u} = 5,66$  м/с,  $\bar{b} = 0,097$ ), [20].



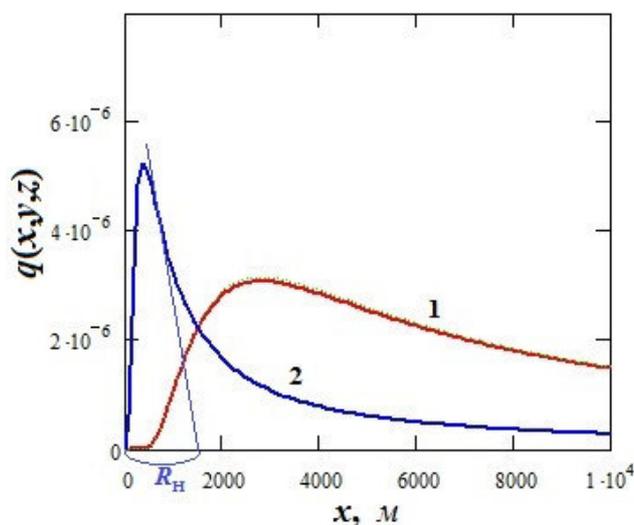
**Рис. 4.** – Зависимость коэффициента турбулентной диффузии  $K(z)$  от высоты от подстилающей поверхности при различных состояниях устойчивости атмосферы (в рамках модели приземного слоя атмосферы): 1 - неустойчивое состояние  $L_0 = -18$ ; 2 - устойчивое состояние  $L_0 = 30$ ,  $\bar{k} = 3,5$  м<sup>2</sup>/с, [20].

Распределения объемной концентрации  $q_V(x)$  (нормированные на максимум распределения) в приземном слое атмосферы в направлении оси выброса (как функции расстояния  $x$ ,  $y = 0$ ) на уровне  $z = 1,5$  при эффективной высоте выброса  $h_{эф} = 100$  м приведены на рисунке 5, а ее поперечное распределение при фиксированных  $x$  и  $z$ , но различных  $x$ , приведены на рисунке 6 (а, б).

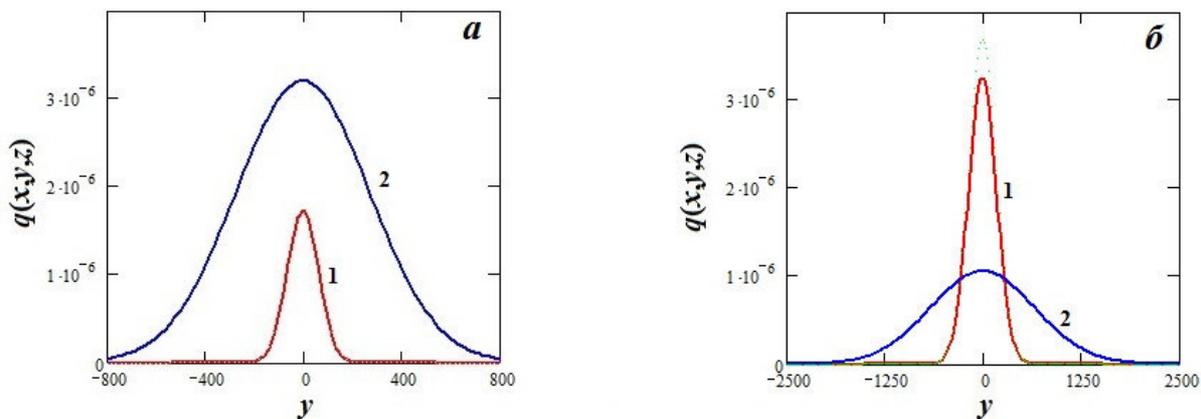
Результаты расчета показывают, что вид как осевого, так и поперечного распределений объемной концентрации  $q_V(x)$  газоаэрозольной примеси существенно зависит от скорости ветра, являющейся одной из основных характеристик состояния устойчивости атмосферы. По мере удаления примеси от источника (при переносе ее

показаниям датчиков метеопараметров. В модели пограничного слоя атмосферы - параметром  $\mu_0 = L_1/L_0$ , где  $L_1$  - масштаб пограничного слоя атмосферы ( $L_1 > 0$ ), а  $L_0$  - приземного, также определяемого по показаниям датчиков метеопараметров. Устойчивость и неустойчивость состояния атмосферы в этом случае определяются знаком отношения ( $\mu_0 > 0$  - устойчивость,  $\mu_0 < 0$  - неустойчивость), а абсолютная величина - характер устойчивости (сильная, слабая) и т.д.

ветром), величина заданной концентрации приходится на более узкий интервал значений «у». Полученные закономерности распределений газоаэрозольной примеси позволяют поставить вопрос о размере санитарно-защитной зоны предприятия, представляющего собой потенциальную угрозу загрязнения окружающей среды и решить вопрос оптимального количества детекторов автоматизированной системы, регистрирующих загрязнение окружающей среды не только качественно (например, выброс пошел в юго-восточном направлении), но и количественно (например, площадь загрязнения составила  $3 \text{ км}^2$  с нагрузкой в 10 ПДК).

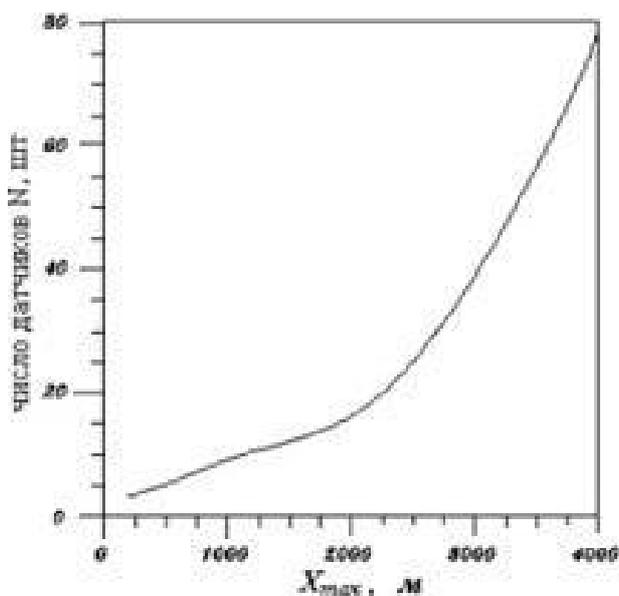


**Рис. 5.** – Осевые распределения выбросов объемной концентрации газоаэрозольной примеси при устойчивом  $q_U(x, y=0, z=1,5)$  и неустойчивом  $q_{NU}(x, y=0, z=1,5)$  состояниях атмосферы. На графике 2 представлена касательная в точке перегиба кривой и значение  $R_H$  на оси абсцисс



**Рис. 6.** – Поперечные распределения объемной концентрации газоаэрозольной примеси при устойчивом (1) и неустойчивом (2) состояниях атмосферы на различных расстояниях от источника выбросов:  $x = 1000$  м (а);  $x = 3000$  м (б) при  $z = 1,5$  и  $h_{эф} = 100$  м

При решении вопроса о размере (эффективном радиусе СЗЗ), в первую очередь, как следует из нормативных документов, следует учитывать мощность выброса примеси из вентиляционных труб соответствующих производств. Мощность выброса примеси непосредственно зависит от мощности предприятий, их финансовых возможностей и метеорологических особенностей региона.



**Рис. 7.** – Зависимость числа датчиков, размещаемых по периметру СЗЗ радиусом  $x_{\max}$ , от величины этого радиуса [27]

Несомненно, что экологический контроль загрязнения окружающей среды необходимо осуществлять, путем размещения датчиков экологического контроля в СЗЗ, но, как показывают результаты расчетов работы [27] и расчеты, представленные авторами, повышая информативность такой системы, предприятие рискует пойти на далеко не оправданный перерасход финансовых средств, поскольку с ростом расстояния от источника число датчиков, осуществляющих экологический контроль, будет расти нелинейно (см. рис. 7). Поэтому, исходя из указанных соображений, следует констатировать, что радиус СЗЗ не должен превышать 2 км, что будет представлять собой верхнюю оценку размера СЗЗ  $R_B$ . С другой стороны, оценивая размер СЗЗ необходимо учитывать характерные метеорологические особенности региона, такие как средняя скорость ветра, температура и влажность воздуха. Если такие параметры найдены, то задаваясь величиной мощности выброса газоаэрозольной примеси, загрязняющей окружающую среду, и, оценивая эффективную высоту выброса, находят решение задачи по распределению примеси в заданном направлении, подобно решению, приведенному на рисунке 5. Далее, находя точку перегиба на ниспадающей ветви кривой, проводят касательную к кривой в этой точке и находят значение абсциссы, в которой прямая пересекает ось абсцисс. Последнее значение и будет представлять собой нижнюю оценку размера СЗЗ  $R_H$  (см. рис. 5).

Решая вопрос оценки оптимального количества датчиков, располагающихся в СЗЗ, будем полагать, что выброс газоаэрозольной примеси все-таки может произойти в любом направлении в диапазоне  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$  ( $0 \leq \varphi \leq 360$ ). Размещение датчиков вокруг предприятия, представляющего собой потенциальный источник экологического загрязнения окружающей среды, целесообразно осуществлять не по розе ветров, а по периметру СЗЗ радиусом  $R_0$ , удовлетворяющим неравенству  $R_H \leq R_0 \leq R_B$  и равномерно по азимуту. Заметим, что только в такой постановке вопроса можно исключить противоречия между экологическими, экономическими и физическими критериями, которым должно удовлетворять размещение датчиков (постов экологического контроля). Именно такой подход реализован при оценке достаточного количества датчиков при реализации АСКРО на АЭС [19, 20, 23].

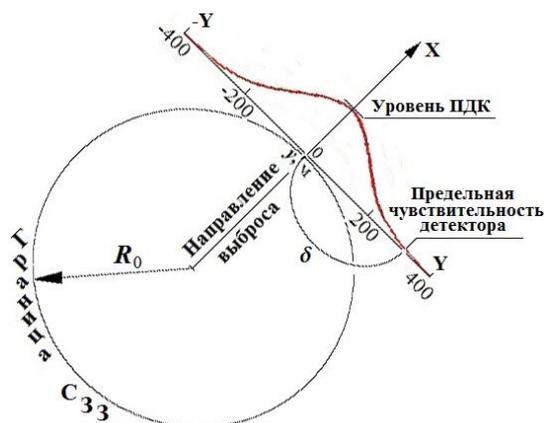


Рис. 8. – Иллюстрация выбора оптимального количества датчиков АСКЭО. На оси ХОУ приведено поперечное распределение газозеролевой примеси, загрязняющей окружающую среду

В выбросе газозеролевой примеси, загрязняющей окружающую среду, могут присутствовать различные компоненты, характеризующиеся различными по степени поражения организм человека свойствами. В таком случае, выбирая предельную чувствительность детектора, настроенного на наиболее поражающую организм примесь (см. рис. 8), найдем поперечное распределение этой примеси на расстоянии  $R_0$  от источника, подобное распределению, приведенным на рисунке 6. Полагая, что в максимуме распределения, т.е. на границе СЗЗ в направлении выброса достигается предельно допустимая концентрация веществ. В полученном распределении находят расстояние, на котором концентрация веществ оказывается равной порогу чувствительности датчика.

Вместе с тем, как показано выше (см. рис. 5, 6), при оценке  $N_n$  следует учитывать, что, как осевые, так и поперечные распределения примеси зависят от состояния устойчивости атмосферы. Последнее непосредственно следует из сравнения поперечных распределений газозеролевой примеси при различных состояниях устойчивости атмосферы, приведенных на рисунке 6 (а, б). Действительно, задаваясь определенным значением объемной концентрации примеси, пользуясь рисунком, находим, что выбранному значению отвечают совершенно различные области (-y,+y), в которых находится это значение примеси при различных состояниях устойчивости атмосферы. Указанное свойство также будет определять зависимость величины  $\delta$  от состояния устойчивости атмосферы. Последнее означает, что  $N_n$  будут различны для устойчивого [ $(N_n)_{уст} \approx 22$ ] и неустойчивого [ $(N_n)_{нуст} \approx 17$ ] состояний атмосферы. Выбирая наиболее худший вариант (устойчивое состояние, при котором  $\delta$  минимальна), находим, что при любом состоянии устойчивости атмосферы необходимое число датчиков будет определяться равенством:

$$(N_n)_{уст} = [\pi R / \delta_{уст}], \tag{9}$$

а достаточное – на единицу больше:

$$(N_d)_{уст} = (N_n)_{уст} + 1. \tag{10}$$

Оценивая экологическую ситуацию Челябинской области, следует заметить, что согласно государственным программам, из бюджета выделяются огромные средства для устранения последствий деятельности промышленных предприятий. Значительные объемы выбросов не являются следствием неверной эксплуатации предприятий. Сами предприятия спроектированы на основе технологий, приводящих к образованию побочных продуктов в виде вредных веществ (диоксид серы, оксид меди, мышьяк и др.). Из-за несоблюдения норм производства и техники безопасности по сей день происходят аварии с человеческими жертвами, финансовым ущербом, исчисляемым

миллионами рублей. Одна из таких аварий произошла 1 октября 2015 года вследствие разгерметизации печи. Как итог – на момент ноября 2015 производство частично остановлено до завершения ремонтных работ [28, 29]. Как показано выше, в политике региональных властей прослеживаются попытки улучшения экологической ситуации в районах расположения металлургических предприятий. Но, можно предположить, что ситуация настолько тяжелая, что выделяемых средств не хватает на реализацию большинства пунктов программы, что и определило практику привлечения иностранных инвестиций для модернизации производств. При этом, выделяемые бюджетные средства, в силу остроты экологической обстановки, сложившейся в регионе, было бы эффективней реализовать не только в виде научно-исследовательских программ по внедрению и освоению новых технологий, но также и для разработки и внедрения автоматизированных систем контроля экологической обстановки на предприятиях металлургической и химической отраслей.

Положительным примером реализации подобных программ можно считать разработку и внедрение автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды (АСКРО) на объектах использования атомной энергии.

В рамках рассматриваемой проблемы также целесообразно сотрудничество и технологический обмен с зарубежными предприятиями, осуществляемые для ускорения темпов разработки и внедрения подобных систем, создания стандартизированной системы на большинстве предприятий металлургических и химических производств в мире.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большина, Е.П.* Экология металлургического производства: курс лекций [Текст] / Н.П. Большина. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.
2. *Смирнов, И.* Катастрофа местного масштаба [Текст] / И. Смирнов // Орская хроника. – 2011. – 9 ноября. – С. 5.
3. Завод «Карабашмедь» и «Кыштымский медеэлектролитный завод» (РМК) [Электронный ресурс] // Фотоотчет участника «ЖЖ». – 2015. – Режим доступа: URL: <http://gelio.livejournal.com/179601.html> – 08.09.2015.
4. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2015 года. Открытые данные Федеральной службы государственной статистики [Текст]. – [Б.м.], 2015.
5. Постановление правительства Челябинской области №16-п от 10 апреля 1997 г. «О мерах по развитию цветной металлургии области на 1997—2005 годы [Текст]. – Челябинск, 1997.
6. ЗАО «Карабашмедь» пытаются закрыть [Электронный ресурс] // Коммерсантъ (Екатеринбург). – 2003 – №203(2806). – 5 ноября. – Режим доступа: URL: <http://www.kommersant.ru/doc/425966> – 08.09.2015.
7. Карабашмедь завершает строительство самой современной в России медеплавильной печи [Электронный ресурс] // Nfogeo.ru – информационно-аналитический портал, посвященный рынкам цветных металлов, металлопроката, рудного сырья и ферросплавов. – 2015. – Режим доступа: URL: <http://www.infogeo.ru/metalls/news/?act=show&news=15561#ixzz3qWO8cUMB> – 04.12.2015.
8. *Тресков, В.Д., и др.* Экологические проблемы г. Карабаш [текст] / В.Д. Тресков, Л.Р. Шарифуллина // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – №5-2. – С. 108.
9. Кислотный туман сжигает легкие жителей Карабаша [Электронный ресурс] // Россия 24. Репортаж Н. Васильева. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=371992> – 08.09.2015.
10. Черные горы, оранжевая река: Карабаш – город-апокалипсис живой природы [Электронный ресурс] // Комсомольская правда. – 2011. – Режим доступа: URL: <http://www.kp.ru/daily/25708/908833/> – 08.09.2015.
11. Приложение №3 к отчёту от 11.10.2005 г. об осуществлении муниципального экологического контроля на территории Карабашского городского округа Челябинской области № 319 от 22.02.2007. Постановление Собрании депутатов Карабашского городского округа Челябинской области [Текст]. – Карабаш, 2007.

12. Черная металлургия. Нынешнее состояние, проблемы и перспективы развития металлургии : интернет-пособие [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: URL: <http://emchezgia.ru/> – 09.10.2015.
13. *Котыхов, М.И.* Изучение закономерностей поведения меди при переработке низкосортных свинцовых концентратов в процессе Ванюкова [Текст] / М.И. Котыхов. Дисс. канд. техн. наук. – М.: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2014.
14. «Карабашмедь» не сокращал выбросы, несмотря на НМУ [Электронный ресурс] / Информационное агентство «Podhod24». – 2015. – Режим доступа: URL: <http://podhod24.ru/news/2015/04/15/Karabashmed-ne-sokraschal-vybrosy-nesmotrya-na-NMU.html> – 08.09.2015.
15. За 10 лет индекс загрязнения в Карабаше изменился с очень высокого до повышенного [Электронный ресурс] / Служба новостей chelindustry.ru. – 2015. – Режим доступа: URL: <http://chelindustry.ru/info.php?tt=3&rt=5&ids=451> – 08.09.2015.
16. Постановление по делу об административном правонарушении 31 марта 2015 года г. Карабаш [Текст] // Дело № 5-10/2015. – Карабаш, 2015.
17. Постановление правительства Челябинской области № 318-П от 15 декабря 2010 года «Об областной целевой Программе природоохранных мероприятий оздоровления экологической обстановки в Челябинской области на 2011–2015 годы» [Текст]. – Челябинск, 2010.
18. Отчет о ходе выполнения в 2012 году областной целевой программы природоохранных мероприятий оздоровления экологической обстановки в Челябинской области на 2011–2015 годы [Текст]. – Челябинск, 2015.
19. *Елохин, А.П.* Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды [Текст] / А.П. Елохин : учебное пособие – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 316 с.
20. *Елохин, А.П.* Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды [Текст] : монография / А. П. Елохин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ядерный ун-т «МИФИ». – М. : НИЯУ МИФИ, 2014. – 520 с.
21. Изменение №2 к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция» (утверждено постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 6 октября 2009 г. №61) Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2555-09 // Система ГАРАНТ. 2015. – Режим доступа: URL: [http://base.garant.ru/12170460/#block\\_1005#ixzz3qoE8W5jB](http://base.garant.ru/12170460/#block_1005#ixzz3qoE8W5jB) – 10.12.2015.
22. *Елохин, А.П.* Выбор оптимальной высоты метеомачты для задач прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросах АЭС [Текст] / А.П. Елохин // Научная сессия МИФИ-99 : Сб. науч. тр. – М., 1999. – Том 1. – С. 31–32.
23. *Елохин, А.П. и др.* Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РБ–053–09. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.06.2010 г. [Текст] / А.П. Елохин, М.В. Жилина, Д.Ф. Рау, Е.А. Иванов. – М., 2010. – №465. – 79 с.
24. *Лайхтман, Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы [Текст] / Д.Л. Лайхтман – Л.: Гидромет. изд-во, 1970. – 340 с.
25. Пат. 2298776 Российская Федерация, МПК G01N1/22. Способ и устройство отбора проб воздуха для последующего анализа газообразных или аэрозольных примесей [Текст] / Н.И. Алимов и др.; заявитель и патентообладатель: Войсковая часть 61469. – Подача заявки: 21.12.04 - 2004137454/12, опублик. 10.05.07 – 10 с.
26. *Лебедев, А.Т.* Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды [Текст] / А.Т. Лебедев. Перевод с английского под общей редакцией А.Т. Лебедева – М.: Техносфера, 2013. – 632 с.
27. *Кюммель, М.* Разработка оптимальной сети измерений для проведения контроля окружающей среды на АЭС [Текст] / М. Кюммель // Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. Кн.5. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 78–89.
28. Авария на «Карабашмеди» произошла из-за скопления 200 тонн пыли [Электронный ресурс] / Программа «Телефакт» Челябинск. – 2015. – Режим доступа: URL: <http://www.telefakt.ru/news/lenta-novostejj/avarija-na-karabashmedi-proizoshla-iz-za-skoplenija-200-tonn-pyli/> – 24.11.2015.
29. Человеческих жертв могло и не быть [Электронный ресурс] // Итоги74.РУ. – Троицк, 2015. – Режим доступа: URL: <http://itogi74.ru/index.php?name=news&op=view&id=5783> – 24.11.2015.

## REFERENCES

- [1] Bolshina E.P. Ekologiya metallurgicheskogo proizvodstva: kurs lekcij [Ecology of metallurgical production: course of lectures]. Novotroitsk. Pub. NF NITU «MISiS» [NUST MISiS], 2012. 155 p. (in Russian)
- [2] Smirnov I. Katastrofa mestnogo masshtaba [Accident of local scale]. Orskaya hronika [Orsk chronicle], 2011, 9 noyabrya [November 9], ISSN 0130-2221, p. 5. (in Russian)
- [3] Zavod «Karabashmed» i «Kyshtymskij medeelektrolitnyj zavod» (RMK) [Karabashcopper and Kyshtymsky Copper Electrolyte Plant (RMC)]. Fotootchet uchastnika «ZhZh» [Photoreport of the participant of "LJ"]. Available at: <http://gelio.livejournal.com/179601.html> (in Russian)
- [4] Chislennost naseleniya Rossijskoj Federacii po municipalnym obrazovaniyam na 1 yanvarya 2015 goda. Otkrytye dannye Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki [Population of the Russian Federation on municipalities for January 1, 2015. Open data of Federal State Statistics Service]. Bez mesta [without place], 2015. (in Russian)
- [5] Postanovlenie pravitelstva Chelyabinskoj oblasti №16-p ot 10 aprelya 1997 g. «O merah po razvitiyu cvetnoj metallurgii oblasti na 1997—2005 gody [The resolution of the government of Chelyabinsk region № 16-p of April 10, 1997. "About measures for development of nonferrous metallurgy of area for 1997 — 2005]. Chelyabinsk, 1997. (in Russian)
- [6] ZAO «Karabashmed» pytayutsya zakryt [JSC Karabashcopper is tried to be closed]. Kommersant (Ekaterinburg) [Kommersant (Yekaterinburg)]. 2003, №203(2806), 5 noyabrya [November 9]. Available at: <http://www.kommersant.ru/doc/425966> (in Russian)
- [7] Karabashmed zavershaet stroitelstvo samoj sovremennoj v Rossii medeplavilnoj pechi [Karabashcopper finishes construction of the most modern in Russia of the copper-smelting furnace]. Nfgeo.ru – informacionno-analiticheskij portal, posvyashhennyj ryнкam cvetnyh metallov, metalloprokata, rudnogo syrja i ferrosplavov [Nfgeo.ru – the information and analytical portal devoted to the markets of non-ferrous metals, metal rolling, ore raw materials and ferroalloys.]. 2015. Available at: <http://www.infogeo.ru/metalls/news/?act=show&news=15561#ixzz3qWO8cUMB> (in Russian)
- [8] Treskov V.D., Sharifullina L.R. Ekologicheskie problemy g. Karabash [Karabash environmental problems]. Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high technologies]. 2014, №5-2, ISSN 1812-7320, p. 108. (in Russian)
- [9] Kislotnyj tuman szhigaet legkie zhitelej Karabasha [Acid fog burns lungs of Karabash residents]. Rossiya 24. Reportazh N. Vasileva [Russia 24. N. Vasilyev's reporting.]. 2010. Available at: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=371992> (in Russian)
- [10] Chernye gory, oranzhevaya reka: Karabash – gorod-apokalipsis zhivoj prirody [Black hills, orange river: Karabash is the city apocalypse of wildlife]. Komsomolskaya pravda [Komsomolskaya Pravda]. 2011, ISSN 0233-433X. Available at: <http://www.kp.ru/daily/25708/908833/> (in Russian)
- [11] Prilozhenie №3 k otchyotu ot 11.10.2005 g. ob osushhestvlenii municipalnogo ekologicheskogo kontrolya na territorii Karabashskogo gorodskogo okruga Chelyabinskoj oblasti №319 ot 22.02.2007. Postanovlenie Sobraniya deputatov Karabashskogo gorodskogo okruga Chelyabinskoj oblasti [The appendix № 3 to the report of 11.10.2005 on implementation of municipal environmental control in the territory of the Karabash city district of Chelyabinsk region №. 319 of 22.02.2007. Resolution of Meeting of deputies of the Karabash city district of Chelyabinsk region]. Karabash, 2007. (in Russian)
- [12] Chernaya metallurgiya. Nyneshnee sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya metallurgii: internet-posobie [Ferrous metallurgy. Present state, problems and prospects of metallurgy development: Internet guide]. 2015. Available at: <http://emchezgia.ru/> (in Russian)
- [13] Kotyhov M.I. Izuchenie zakonomernostej povedeniya medi pri pererabotke nizkosortnyh svincovyh koncentratov v processe Vanyukova [Studying of regularities of copper when processing low-grade lead concentrates in the course of Vanyukov]. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [PhD thesis in Technical Sciences]. M. Pub. Nacionalnyj issledovatel'skij texnologicheskij universitet «MISiS» [National University of Science and Technology MISiS], 2014. (in Russian)
- [14] «Karabashmed» ne sokraschal vybrosy, nesmotrya na NMU [“Karabashcopper ” didn't reduce emissions]. Informacionnoe agenstvo «Podhod24» [Information agency "Podhod24"]. 2015. Available at: <http://podhod24.ru/news/2015/04/15/Karabashmed-ne-sokraschal-vybrosy-nesmotrya-na-NMU.html> (in Russian)
- [15] Za 10 let indeks zagryazneniya v Karabashe izmenilsya s ochen vysokogo do povyshennogo [In 10 years the pollution index in Karabash changed with very high to the raised]. Sluzhba novostej chelindustry.ru [News service of chelindustry.ru]. 2015. Available at:

- <http://chelindustry.ru/info.php?tt=3&rr=5&ids=451> (in Russian)
- [16] Postanovlenie po delu ob administrativnom pravonarushenii 31 marta 2015 goda g. Karabash. Delo № 5-10/2015 [The resolution on the case of an administrative offense on March 31, 2015 Karabash]. Karabash, 2015. (in Russian)
- [17] Postanovlenie pravitelstva Chelyabinskoy oblasti № 318-P ot 15 dekabrya 2010 goda «Ob oblastnoj celevoj Programme prirodoohrannyh meropriyatij ozdorovleniya ekologicheskoy obstanovki v Chelyabinskoy oblasti na 2011–2015 gody» [The resolution of the government of Chelyabinsk region № 318-P of December 15, 2010 "About the regional target Program of nature protection actions of improvement of an ecological situation in Chelyabinsk region for 2011-2015"]. Chelyabinsk, 2010. (in Russian)
- [18] Otchet o hode vypolneniya v 2012 godu oblastnoj celevoj programmy prirodoohrannyh meropriyatij ozdorovleniya ekologicheskoy obstanovki v Chelyabinskoy oblasti na 2011–2015 gody [The report on the performance course in 2012 of the regional target program of nature protection actions of improvement of an ecological situation in Chelyabinsk region for 2011-2015]. Chelyabinsk, 2015. (in Russian)
- [19] Elokhin A.P. Avtomatizirovannye sistemy kontrolya radiacionnoj obstanovki okruzhayushhej sredy : uchebnoe posobie [The automated monitoring systems of a radiation situation of environment: textbook]. M. Pub. NIYaU MIFI [NRNU MEPhI], 2012, ISBN 978-5-7262-1716-1, 316 p. (in Russian)
- [20] Elokhin A.P. Metody i sredstva sistem radiacionnogo kontrolya okruzhayushhej sredy : monografiya [Methods and means of systems of radiation control of environment: monography]. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Nacionalnyj issledovatel'skij yadernyj universitet «MIFI» [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National research nuclear university "MEFhI"]. M. Pub. NIYaU MIFI [NRNU MEPhI], 2014, ISBN 978-5-7262-1957-8, 520 p. (in Russian)
- [21] Izmenenie №2 k SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Sanitarno-zashhitnye zony i sanitarnaya klassifikaciya predpriyatij, sooruzhenij i inyx obektov. Novaya redakciya» (utverzhdeno postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 6 oktyabrya 2009 g. №61) Sanitarno–epidemiologicheskie pravila i normy. SanPiN 2.2.1/2.1.1.2555-09 [Change № 2 to the SanRN 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Sanitary protection zones and sanitary classification of the enterprises, constructions and other objects. New edition" (it is approved as the resolution of the Chief state health officer of the Russian Federation of October 6, 2009 № 61) Sanitary and epidemiologic rules and norms. SanRN 2.2.1/2.1.1.2555-09]. Sistema GARANT [System GUARANTOR]. 2015. Available at : [http://base.garant.ru/12170460/#block\\_1005#ixzz3qoE8W5jB](http://base.garant.ru/12170460/#block_1005#ixzz3qoE8W5jB) (in Russian)
- [22] Elokhin A.P. Vybór optimalnoj vysoty meteomachty dlya zadach prognozirovaniya radioaktivnogo zagryazneniya okruzhayushhej sredy pri vybrosah AES [Choice of optimum height of a meteor mast for problems of forecasting of radioactive environmental pollution at emissions of the NPP]. Nauchnaya sessiya MIFI-99 [Scientific MEFhI-99 session]: sbornik nauchnyh trudov [collection of scientific works]. M., 1999, Vol. 1, ISBN 5-7262-0311-9, pp. 31–32. (in Russian)
- [23] Elokhin A.P., Zhilina M.V., Rau D.F., Ivanov E.A. Polozhenie o povyshenii tochnosti prognosticheskikh ocenok radiacionnyh harakteristik radioaktivnogo zagryazneniya okruzhayushhej sredy i dozovyh nagruzok na personal i naselenie. Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii, Federalnaya sluzhba po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru RB–053–09. Utverzhdeno prikazom Federalnoj sluzhby po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 08.06.2010 g [Provision on increase of accuracy of predictive estimates of radiation characteristics of radioactive environmental pollution and dose loads of the personnel and population. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation, Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of RB-053-09. It is approved as the order of Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of 08.06.2010.]. M. 2010, №465, 79 p. (in Russian)
- [24] Lajhtman D.L. Fizika pograničnogo sloya atmosfery [Physics of atmosphere interface]. Leningrad. Pub. Izdatel'stvo Gidromet [Gidromet publishing house], 1970. 340 p. (in Russian)
- [25] Patent 2298776 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N1/22. Sposob i ustrojstvo otbora prob vozduxa dlya posleduyushhego analiza gazoobraznyh ili aeroliznyh primesej. N.I. Alimov i dr. Zayavitel i patentoobladatel Vojskovaya chast 61469. Podacha zayavki [Patent 2298776 Russian Federation, MPK G01N1/22. A way and the device of sampling of air for the subsequent analysis of gaseous or aerosol impurity/ N. I. Alimov, etc.; applicant and patent holder: Military unit 61469]: 21.12.04 - 2004137454/12, opubl [Published]. 10.05.07. 10 p. (in Russian)
- [26] Lebedev A.T. Mass-spektrometriya dlya analiza obektov okruzhayushhej sredy [Mass spectrometry for the analysis of objects of environment]. Perevod s anglijskogo pod obshej redakciej A.T.

- Lebedeva [The translation from English is edited by A.T. Lebedev]. M. Pub. Tehnosfera [Technosphere], 2013, ISBN 978-5-94836-363-9, 632 p. (in Russian)
- [27] Kyummel M. Razrabotka optimalnoj seti izmerenij dlya provedeniya kontrolya okruzhayushhej sredy na AES. Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti pri ekspluatcii AES [Development of an optimum network of measurements for the NPP environment monitoring]. Kniga[Book] 5. M. Pub. Energoatomizdat [Energoatomizdat], 1984. pp. 78–89. (in Russian)
- [28] Avariya na «Karabashmedi» proizoshla iz-za skopleniya 200 tonn pyli [Accident on "Karabashcopper" happened because of a congestion of 200 tons of dust]. Programma «Telefakt» ["Telefakt program"]. Chelyabinsk, 2015. Available at: <http://www.telefakt.ru/news/lenta-novostejj/avarija-na-karabashmedi-proizoshla-iz-za-skoplenija-200-tonn-pyli/> (in Russian)
- [29] Chelovecheskih zhertv moglo i ne byt [Loss of human life could not be]. Itogi74.RU [Results 74.RU]. Troitsk, 2015. Available at: <http://itogi74.ru/index.php?name=news&op=view&id=5783> (in Russian)

## Use of Automated Systems for Environmental Monitoring in the Area Surrounding Ferrous, Nonferrous Metallurgical Enterprises and Nuclear Industry

I.A. Starodubtcev\*, A.P. Elokhin\*\*

*National Research Nuclear University «MEPhI»,  
31 Kashirskoye shosse, Moscow, Russia 115409*

*\* e-mail: 81-720@mail.ru ; \*\* e-mail: elokhin@yandex.ru*

**Abstract** – The problems of modernization of ARMS are considered for an ecological situation assessment in regions where the ferrous and nonferrous metallurgical enterprises are situated. These enterprises are characterized by considerable emissions and dumpings of the substances polluting the environment. The characteristic of specified enterprises emissions and their damage is provided. Introduction of the automated systems for environmental monitoring (ASEM) is offered for environmental control within the sanitary protection zone (SPZ) of the relevant enterprises. The main requirements to system, the principles of its work, the upper and lower estimates of the SPZ sizes are submitted. The principle of an assessment of optimum number of sensors of monitoring system is given.

*Keywords:* ecology, environmental pollution; production waste emissions; ferrous and non-ferrous metallurgy, material and financial costs, automated systems for environmental monitoring, NPP.