

3. Установлена формула приближенного расчета концентрация пыли на оси факела облака. Полученное уравнение можно использовать для оценки загрязнения атмосферы и почвы пылью из ПГО и определения размеров территории сельскохозяйственных угодий с возможным нарушением почвенного баланса под воздействием химических элементов, содержащихся в пыли ПГО.

4. Установлено, что растения, произрастающие на территории Первомайского карьера СевГОКа в очень высоких концентрациях накапливают железо (в 9 раз выше фона), никель (в 5 раз выше фона), кадмий (в 6 раз выше фона), фтор (в 3 раз выше фона). Для почв характерно загрязнение железом, никелем, цинком, кадмием, кальцием.

5. Жизнеспособность семян в районе СевГОКа на 81% меньше, чем у семян контрольного тест-полигона, это свидетельствует о том, что техногенные популяций растений практически не способны к самовоспроизведению и самовосстановлению.

6. Установлено, что наличие пыли в ПГО в почве в количестве 100 мг на 1 кг почвы снижает активность уреазы на 14%, а инвертазы на 13%, что может привести к снижению способности почв к самоочищению.

7. Токсичность пыли ПГО зависит от состава субстрата, причем с повышением содержания в нем физической глины на 20% токсичность пыли ПГО возрастает в 1,7-2,6 раза.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собко Б.Ю.  
Надійшла до редакції 20.01.2015*

УДК 504.064

© В.Е. Колесник, Ю.В. Бучавый, А.Ю. Михайлов

## **МОНИТОРИНГ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДНЕПРОПЕТРОВСКА**

Выполнен анализ динамики экологически опасных загрязнителей атмосферы в Днепропетровске. Дан прогноз ожидаемых концентраций некоторых загрязнителей с учетом метеорологических факторов. Выбрано техническое решение для уменьшения влияния выбросов загрязняющих веществ на участках с большим потоком автотранспорта.

Виконано аналіз динаміки екологічно небезпечних забруднювачів атмосфери в Дніпропетровську. Дано прогноз очікуваних концентрацій деяких забруднювачів з урахуванням метеорологічних факторів. Обрано технічне рішення для зменшення впливу викидів забруднюючих речовин на ділянках з великим потоком автотранспорту.

The dynamics of environmentally hazardous air pollutants in Dnepropetrovsk was analysed. The forecast of the expected concentrations of certain pollutants, taking into account meteorological

factors are suggested. The technical solution to reduce the impact of emissions in areas with a large flow of vehicles was recommended.

**Постановка задачи.** Для мониторинга окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, на территории Днепропетровской области, в городах Днепропетровск, Днепродзержинск и Кривой Рог действует сеть постов наблюдения. В частности, в г. Днепропетровске работает лаборатория наблюдения за загрязнением окружающей среды (ЛНЗОС), которая в настоящее время входит в состав Днепропетровского областного центра гидрометеорологии. Для регулярных наблюдений в городе оборудованы посты, которые представлены на картосхеме города пронумерованными треугольниками (рис.1).

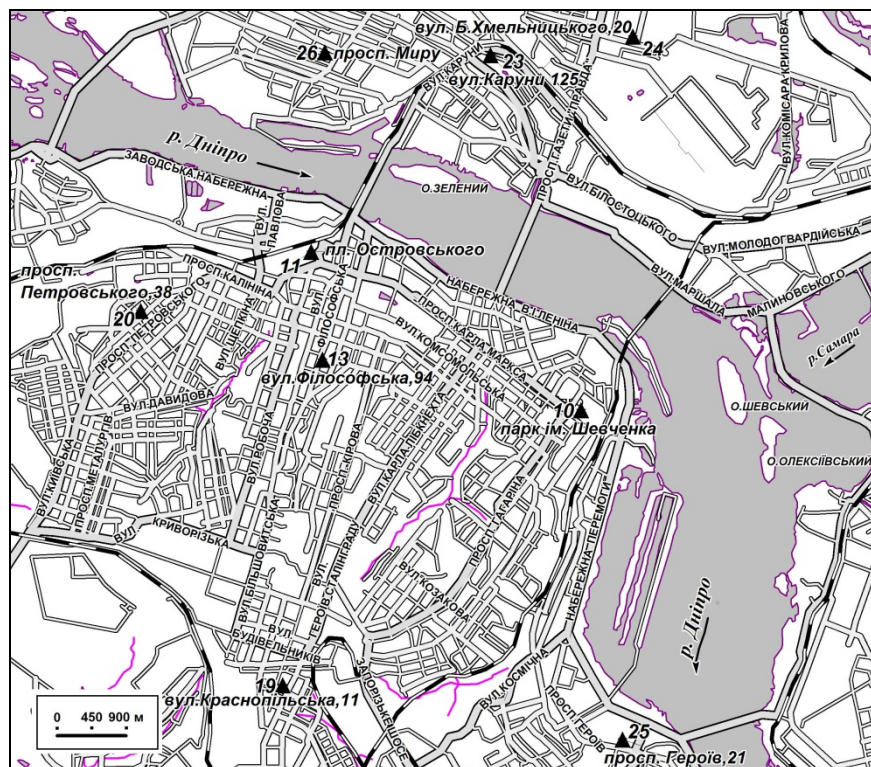


Рис. 1. Сеть постов наблюдения за загрязнением воздуха в городе

На этих постах одновременно с отбором проб воздуха определяются метеорологические параметры, в частности направление и скорость ветра, температура воздуха, а также состояние погоды и подстилающей поверхности.

На основе лабораторных данных авторами ставилась задача анализа динамики экологически опасных загрязнителей атмосферы в г. Днепропетровске, прогноза ожидаемых концентраций этих загрязнителей и уменьшения их влияния на городскую среду.

**Основные результаты.** Главными источниками загрязнения воздуха в городе, являются выбросы предприятий промышленной отрасли: металлургии, энергетики, химической промышленности, а также производство строительных материалов, которые широко представлены в Днепропетровске. Вклад в

загрязнение городского воздуха вносят выбросы автотранспорта, а также выбросы многочисленных котельных и других источников.

Очевидно, что выбросы указанных объектов в атмосферу города представляют определенную угрозу для его населения. Поэтому нами, в первую очередь, анализировалась динамика содержания приоритетных загрязнителей, при этом анализировались и другие загрязнители, включая тяжелые металлы. Для оценки из динамики обобщались результаты наблюдений за 5 лет с 2008 по 2012 год, которые представлены в табл.1.

Таблица 1

Изменение среднего уровня ( $q_{cp}$ ) загрязнения атмосферного воздуха по г.Днепропетровску за 5 лет (2008 – 2012 гг.)

№ п/п	Примеси	ПДК	Значения показателя $q_{cp}$ /по годам, мг/м <sup>3</sup>					Тенденция «Т»
			2008	2009	2010	2011	2012	
1	Пыль (взвеси)	0,15	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	+0,02
2	Двуокись серы	0,05	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	+0,0003
3	Оксид углерода	3	2	2	2	2	3	+0,2
4	Двуокись азота	0,04	0,09	0,07	0,07	0,09	0,09	+0,002
5	Оксид азота	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
6	Сероводород	0,008	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	+0,0001
7	Фенол	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	+0,0001
8	Аммиак	0,004	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	+0,003
9	Формальдегид	0,003	0,013	0,007	0,009	0,010	0,011	+0,0001
10	Бенз/а/пирен * 10 <sup>-6</sup> мг/м <sup>3</sup>	0,000001	1,6	0,8	0,9	0,9		
11	Кадмий	0,0003	0,006	0,01	0	0,002	0,0008	-0,0018
12	Железо	0,04	0,85	1,27	0,59	0,70	0,74	-0,079
13	Марганец	0,001	0,06	0,07	0,04	0,04	0,04	-0,0066
14	Медь	0,002	0,06	0,15	0,11	0,07	0,03	-0,0136
15	Никель	0,001	0,004	0,02	0,01	0,01	0,008	-0,0001
16	Свинец	0,0003	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	-0,0018
17	Хром	0,0015	0,003	0,01	0,008	0,01	0,01	+0,0014
18	Цинк	0,05	0,06	0,06	0,09	0,07	0,06	+0,0008

Как видим, концентрации загрязнителей атмосферного воздуха, представленных в позициях 1-9 в таблицы, а также содержание тяжелых металлов хрома и цинка (позиции 17, 18) имеют тенденцию к увеличению. Остальные тяжелые металлы (позиции 11–16) имеют тенденцию к убыванию. Содержание бенз/а/пирена можно считать установившимся на уровне  $0,9 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>.

Проанализируем индексы наиболее опасных с экологической точки зрения загрязнителей атмосферы в г. Днепропетровске (табл. 2).

Таблица 2

Индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) в Днепропетровске за 2011-2012 г.

ИЗА		Приоритетные примеси	Отрасли промышленности, предприятия которых существенно влияют на состояние загрязнения воздуха
2011	2012		
4,17	5,41	Формальдегид	Металлургия, энергетика, химическая промышленность, автотранспорт, производство строительных материалов
1,69	2,25	Двуокись азота	
1,33	2,00	Пыль (взвеси)	
1,22	1,22	Аммиак	
0,75	1,00	Фенол	
<b>9,16</b>	<b>11,88</b>	Комплексный (суммарный) ИЗА города	

Как видим, наибольший индекс загрязнения атмосферы в городе имеет формальдегид, вклад которого в комплексный (суммарный) ИЗА города составляет около 45 %. Далее следует двуокись азота (вклад – 18-19 %) и пыль (взвесь), вклад которой составляет 15-17 %. Вклады аммиака и фенола составляют оставшиеся 19-22 %.

Характерно, что суммарный индекс загрязнения городского воздуха по приоритетным загрязнителям, включая формальдегид, диоксида азота, оксида углерода, фенол, фтористый водород, бенз(а)пирен, взвешенные вещества (пыль), аммиак, достиг в 2013 г. величины 12,45 [1], что согласуется с выявленной тенденцией и поставило Днепропетровск на пятое место в списке городов Украины с наиболее загрязненной атмосферой.

Отметим, что формальдегид применяется в производстве смол, пластиков, красок, текстиля, а также в качестве дезинфицирующего и консервирующего средства. Это – раздражающий газ, который вызывает дегенеративные процессы в паренхиматозных органах, сенсibiliзирует кожу. Свободный формальдегид инактивирует ряд ферментов в органах и тканях, угнетает синтез нуклеиновых кислот, повышает обмен витамина С, имеет мутагенные свойства. Негативно воздействует на генетический материал, репродуктивные органы, дыхательные пути, глаза, кожный покров. Оказывает сильное действие на центральную нервную систему. Внесён в список канцерогенных веществ ГН 1.1.725-98 в разделе «вероятно канцерогенные для человека», с повышенным риском развития раковых опухолей носоглотки. При этом доказано его канцерогенность для животных. Предельно допустимая среднесуточная концентрация формальдегида в воздухе (ПДК с.с.), которая не оказывают вреда при неограниченном воздействии составляют 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

Негативное влияние двуокиси азота (ПДК с.с. = 0,04 мг/м<sup>3</sup>) на окружающую среду и здоровье населения общеизвестны. Что касается пыли, то ее влияние не так однозначно. Так, для инертной пыли в атмосфере населенных пунктов установлено относительно невысокое значение ПДК с.с. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>. Однако, опасность пыли заключается в том, что она может содержать тяжелые металлы с различной степенью агрессивности и воздействия на человека.

Поскольку концентрации загрязнителей меняются в течение года, проследим помесечную динамику приоритетных загрязнителей в 2013 г. (рис.1).

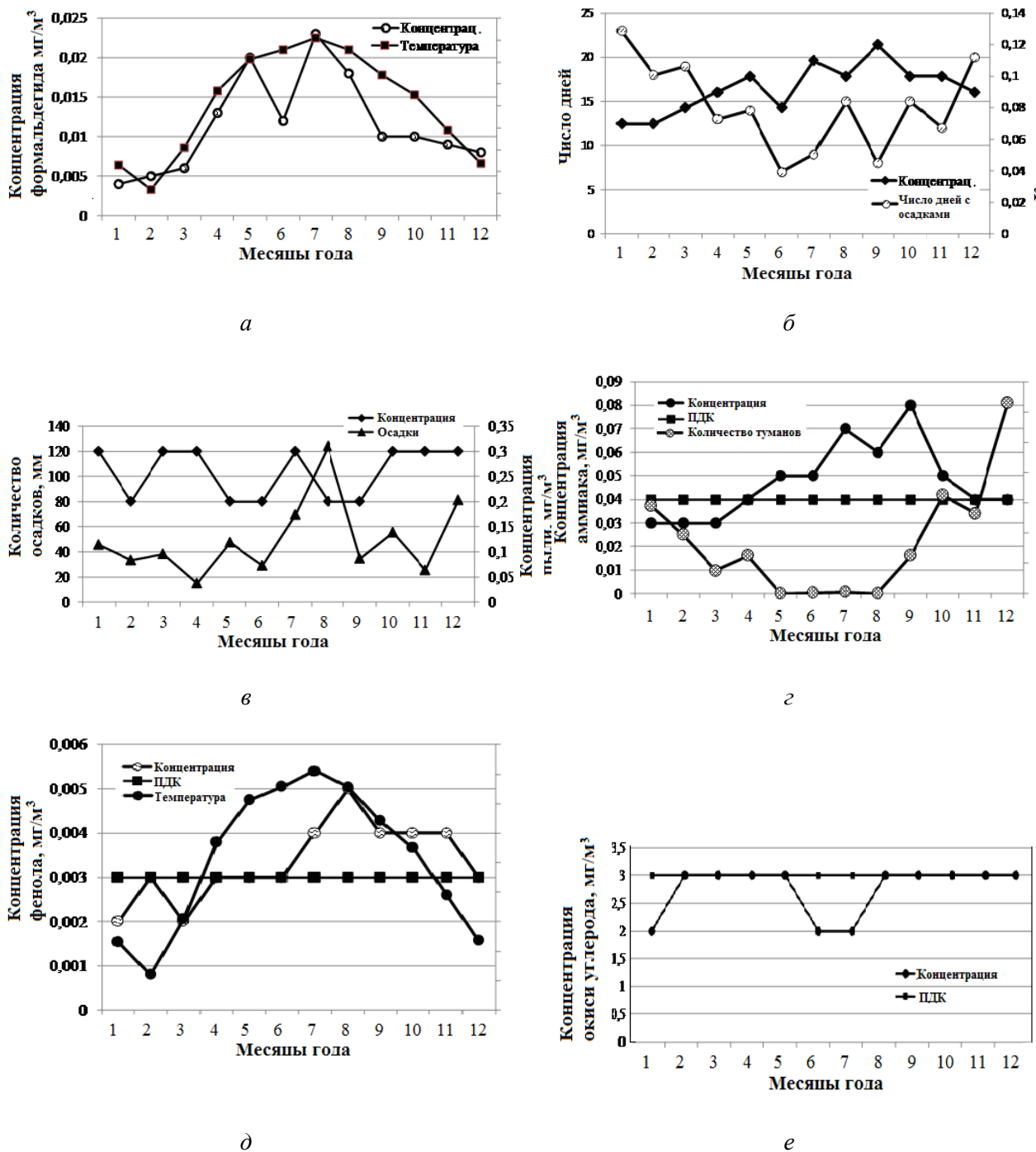


Рис.1. Помесечная динамика концентрации приоритетных загрязнителей в атмосфере г. Днепропетровска и влияющих на них метеорологических элементов (температура, осадки): а - е – соответственно формальдегида, двуокиси азота, пыли, аммиака, фенола и окиси углерода

Анализ представленных на рис.1 диаграмм показывает, что годовой ход средних концентраций имеет вариацию для разных примесей, что обусловлено особенностями их рассеивания в атмосфере при разных погодных условиях и неодинаковых степенях солнечной активности, а также от циклической деятельности человека. Наиболее неблагоприятными для рассеивания промышленных выбросов в атмосферу с метеорологической точки зрения были: декабрь – туман; май, сентябрь – слабый ветер; июнь – сухая погода.

Примечательно, что среднее содержание формальдегида (диаграмма а) на протяжении всего года превышало ПДК = 0,003 мг/м<sup>3</sup>. Причем среднее превышение составило 3,7 ПДК. Несмотря на выявленную за 5 предшествующих лет тенденцию возрастания содержания формальдегида в воздухе, наблюдаем снижение его концентрации и соответствующего ИЗА. Характерно, что увеличение средних концентраций формальдегида наблюдалось в теплые и засушливые периоды года. При этом выявилась довольно сильная корреляция между содержанием формальдегида в атмосфере города и температурой воздуха, что позволило по представленным на диаграмме экспериментальным значениям получить зависимость концентрации формальдегида от температуры воздуха в виде линии регрессии (рис. 3)

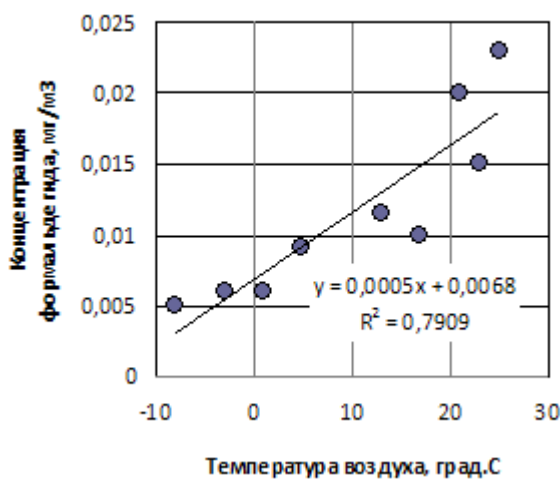


Рис.3. Зависимость концентрации формальдегида – у от температуры воздуха – х (сплошная линия на графике – это линия регрессии)

Полученное уравнение регрессии в виде линейного тренда  $y = 0,000x + 0,006$  характеризуется достаточно тесной связью между переменными ( $R^2 = 0,790$ ) и может быть использовано для прогноза ожидаемой концентрации формальдегида при определенной температуре воздуха. Иными словами, подставив в уравнение значение средней температуры воздуха, можно вычислить ожидаемую концентрацию формальдегида в условиях г. Днепропетровска даже без трудоемких измерений его концентрации.

Среднее содержание двуокиси азота (диаграмма б) значительно превышало безопасный уровень – ПДК = 0,04 мг/м<sup>3</sup>, а ИЗА составил 2,3. Возможно, это связано с метеорологическими условиями высокого загрязнения



и с сухой погодой на протяжении года. Удалось установить зависимость концентрации двуокиси азота от количества дней с осадками в виде линейного уравнения регрессии  $y = -0,002x + 0,1206$  (рис.4). Величина, характеризующая тесноту связи и достоверность ( $R^2 = 0,3958$ ) оказалась несколько меньшей, чем в предыдущем случае, из-за более высокой дисперсии экспериментальных данных. При этом коэффициент парной линейной корреляции оказался отрицательным, т.е. с увеличением числа дней с осадками концентрация двуокиси азота в атмосфере снижается. Это обусловлено тем, что двуокись азота хорошо растворяется в воде осадков, образуя азотную кислоту, и «вымывается» из атмосферы.

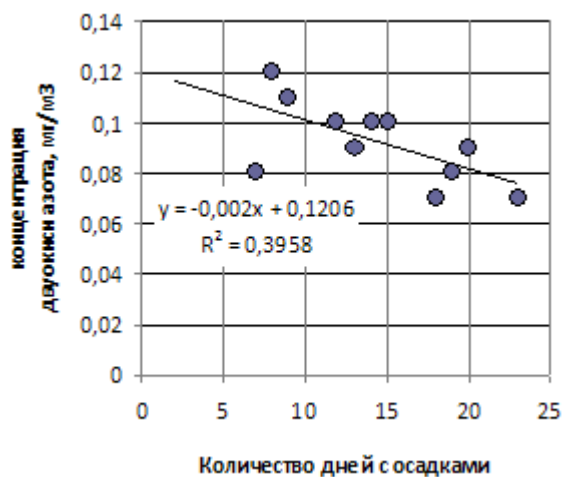


Рис.4. Зависимость концентрации двуокиси азота – y от количества дней с осадками – x (линейный тренд обозначен сплошной линией)

Полученное уравнение тоже можно использовать для прогноза содержания двуокиси азота в условиях Днепропетровска, в зависимости от количества дней с осадками.

Среднее содержание пыли в воздухе (диаграмма в) в каждом месяце превышало ПДК = 0,15 мг/м<sup>3</sup>, а среднегодовой ИЗА составил 2,0. Значительное увеличение средних концентраций пыли наблюдались в периоды с незначительным количеством осадков. Однако выявить достаточно достоверную зависимость между этими двумя показателями по представленной диаграмме не удалось из-за низкого значения  $R^2$ .

Среднемесячные концентрации аммиака (диаграмма з) в атмосферном воздухе города в первом квартале держалось ниже ПДК = 0,004 мг/м<sup>3</sup>, но превышали всю остальную часть года. В результате, ИЗА составил около 1,2. Превышение концентраций наблюдалось в преимущественно теплый период года, хотя достоверная корреляция между температурой воздуха или количеством туманов, в каплях которого растворяется аммиак с образованием аммиачной воды, не обнаруживается.

Среднемесячные концентрации фенола (диаграмма *d*) в атмосферном воздухе главным образом превышали ПДК = 0,003 мг/м<sup>3</sup>, а его ИЗА составил 1,3.

Среднее содержание окиси углерода (диаграмма *e*) в первом полугодии не превышало среднесуточную ПДК = 3 мг/м<sup>3</sup>, а во втором – постепенно приблизилось к ее значению. Зависимость содержания окиси углерода от метеорологических факторов тоже не выявлена.

Локальные значения содержания примесей в отдельных районах несколько отличались от средних значений по городу.

Принимая во внимание то, что мониторинг, помимо контроля и прогноза, предполагает и управление качеством воздуха, в рамках магистерского исследования ставилась задача выбора технического решения для уменьшения влияния выбросов в атмосферу города загрязненного воздуха на участках с большим потоком автотранспорта, выхлопы которого в определенной мере содержат проанализированные выше приоритетные загрязнители.

В качестве возможного технического решения нами предлагается использовать известные придорожные защитные экраны, рассмотренные в [2]. Такие экраны достаточно широко используются за рубежом, где их обычно изготавливают из прозрачного материала (углепластика) и устанавливают вдоль авто- и железнодорожных магистралей. При этом экраны выполняют двойную функцию – шумозащитную и ограничительную, ограничивая в определенной мере распространение вредных веществ и их приземные, на уровне человеческого роста, концентрации. Защитную эффективность экранов наглядно демонстрирует рис. 5, где представлены распределения концентрации СО вдоль автомагистрали в случае отсутствия экранов и при наличии экранов высотой  $h = 4$  м.

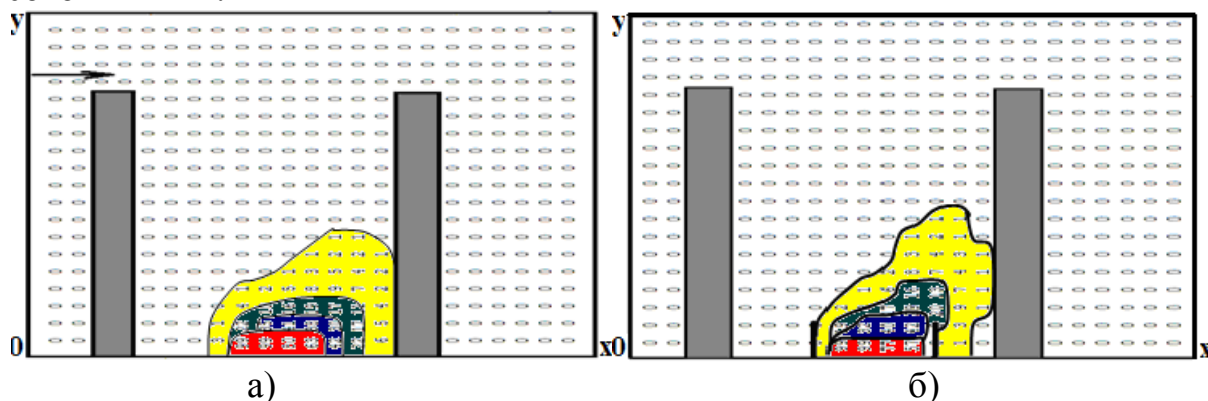


Рис. 5. Распределения четырех изолиний концентрации СО у автомагистрали в вертикальной плоскости; а) – в случае отсутствия экранов; б) – при наличии экранов высотой  $h=4$  м. [2] (Направление ветра указано стрелкой, а высотные здания изображены в виде прямоугольников)

Численный расчет рассеяния, результаты которого приведены на рис. 5, выполнялся для скорости ветра на уровне крыши зданий 4,1 м/с. Анализ результатов расчета показал, что экраны высотой 2-4 м позволяют уменьшить концентрацию загрязнителя на примагистральных участках на величину до 30 %.[2]. Практическим же примером реализации упомянутого экрана в



условиях Днепропетровска может служить забор вблизи массива, примыкающего к выезду из главного автодорожного моста города на левобережье (рис. 6).



Рис.6. Типовая схема размещения экрана высотой 2,5 м: а) – вид со стороны автострады на мосту; б) – вид со стороны жилого массива, соответственно

В данном случае забор-экран, выполнен из окрашенного «профнастила», но возможно использование рекламных щитов или прозрачного поликарбоната, что обойдется дороже, но будет выглядеть эстетичнее.

**Выводы.** Анализа концентраций приоритетных загрязнителей в городском воздухе показал, что наибольший индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) имеет формальдегид. Его доля в комплексном (суммарном) ИЗА города составила около 45%. Далее следует двуокись азота (вклад – 18-19 %) и пыль (взвеси), вклад которой составляет 15-17 %. Вклады аммиака и фенола достигают 19-22 %.

Из проанализированных загрязнителей атмосферы города лишь содержания формальдегида и двуокиси азота с достаточно высокой достоверностью зависят от таких метеорологических параметров, как температура воздуха и количество дней с осадками, соответственно. Полученные уравнения регрессии в виде прямых линий можно использовать для прогноза указанных примесей в атмосфере города по значениям указанных метеорологических элементов без трудоемкого анализа проб.

Для ограничения распространения вредных веществ и их приземных концентраций на участках с большим потоком автотранспорта, выхлопы которого в определенной мере содержат приоритетные загрязнители, предлагается использовать известные придорожные защитные экраны, которые позволяют уменьшить концентрации загрязнителей на примагистральных участках.

#### Список литературы

1. Центральна геофізична обсерваторія. (Електронний ресурс)/Режим доступу: URL: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1). – Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2013 році.

2. Беляев Н.Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов [Текст]: моногр. / Н.Н. Беляев, Т.И. Русакова, П.С. Кириченко. –Д.: Акцент ПП, 2014.– 159 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 27.01.2015*

УДК 621.311

© Б.И. Кулик

## **УПРАВЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМА**

Рассмотрено управление реактивной мощностью в действующих электрических системах с учетом функциональных связей между параметрами режима. Показано влияние функционально-статистических связей между исходными параметрами режима системы на прогнозирование целевых режимов работы сети и эффективность их реализации в процедурах адаптационного управления реактивной мощности.

Розглянуто управління реактивної потужності в діючих електричних системах з врахуванням функціональних зв'язків між параметрами режиму. Виявлено вплив функціонально-статистичних зв'язків між початковими параметрами режиму системи на прогнозування цільових режимів роботи мережі і ефективність їх реалізації у процедурах адаптаційного управління реактивної потужності.

Reactive power control in existing electrical power systems with the functional connections between the mode parameters is considered. The influence of functional and statistical connections between initial parameters of system mode on prediction of target power grid mode and the efficiency of their implementation in the procedures of reactive power adaptive control are shown.

Передача реактивной энергии в действующих электрических системах (ДЭС) сопровождается дополнительным нагревом токоведущих частей сетевых электроустановок, а значит, и дополнительными потерями активной энергии и напряжения. Эффективным способом снижения потерь активной энергии и повышения качества потребляемой электроэнергии в ДЭС является компенсация реактивной мощности [1]. Если проектные задачи расчета и распределения средства искусственной компенсации реактивной мощности (СИКРМ) в сетях потребителя сравнительно глубоко теоретически проработаны [2], то эксплуатационные вопросы оперативного управления СИКРМ остаются нерешенными, т. к. тесно связаны с рядом задач адаптационного (гибкого) управления: непрерывностью притока новой информации об энергетических состояниях действующей сети, наличием неопределенностей и трудно формализуемых факторов управления (что нередко приводит к необходимости изменения критериев управления в соответствии с реальной тенденцией энергетического состояния ДЭС). К тому же существующие принципы, лежащие в основе оперативного управления СИКРМ, характеризуются высокой инерционностью, что приводит к