

при ликвидации последствий аварийных разливов / А. Н. Пшинько, Н. Н. Беляев, И. В. Калашников – Д.: Нова ідеологія, 2011. – 173 с.

Беляева В. В., Перкин В. С., Якубовская З. Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИКВИДАЦИИ КИСЛОТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Разработка численной модели для быстрого расчета процесса нейтрализации загрязнения в подземных водах. Нейтрализация проводится путем подачи реагента через скважины в подземный поток. Построенная модель, основана на уравнениях фильтрации и геомиграции. Для численного решения моделирующих уравнений используются разностные схемы. Разработан пакет программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН. Представлены результаты вычислительного эксперимента по исследованию динамики процесса нейтрализации загрязнения в подземных водах. Разработанная модель может быть использована для выбора оптимального режима ликвидации загрязнения в подземных водах.

Ключевые слова: загрязнение подземных вод; численное моделирование; нейтрализация.

Біляєва В. В., Перкін В. С., Якубовська З. М. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІКВІДАЦІЇ КИСЛОТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ

Розробка чисельної моделі для швидкого розрахунку процесу нейтралізації забруднення в підземних водах. Нейтралізація проводиться шляхом подачі реагенту через свердловини до підземного потоку. Побудована модель, заснована на рівняннях фільтрації і геоміграції. Для чисельного розв'язання моделюючих рівнянь використовуються різницеві схеми. Розроблено пакет програм на алгоритмічній мові ФОРТРАН. Представлені результати обчислювального експерименту по дослідженню динаміки процесу нейтралізації забруднення в підземних водах. Розроблена модель може бути використана для вибору оптимального режиму ліквідації забруднення в підземних водах.

Ключові слова: забруднення підземних вод; чисельне моделювання; нейтралізація.

УДК 519.6:504.3.054

Біляєв М. М.,

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
(вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49000, Україна; e-mail: berlovaalexandrr@gmail.com)*

Русаківа Т. І.

*Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара,
(пр-т Гагаріна, 72, Дніпро, 49000, Україна)*

ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ПРОМИСЛОВІЙ ЗОНІ

Розробка методики чисельного розрахунку для дослідження та оцінки рівня забруднення атмосферного повітря за рахунок діяльності Дніпровського меткомбінату та ПАТ Євраз Дніпродзержинського коксохімічного заводу, яка базується на математичній моделі для розрахунку концентрації забруднювача (діоксиду сірки), що враховує процеси хімічної трансформації діоксиду сірки в атмосфері. Розв'язання рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки (забруднювача) виконується із застосуванням неявних різницевоїх схем. Створено програмне забезпечення, яке дозволяє проводити ряд обчислювальних експериментів по дослідженню зон забруднення атмосферного повітря викидами діоксиду сірки підприємствами м. Каменського. У результаті виконання розрахунків визначено райони, які найбільш схильні до забруднення з урахуванням певних метеорологічних умов. Проведені дослідження необхідні для екологічно безпечного функціонування вказаних підприємств, що впливають на навколишнє середовище.

Ключові слова: промислові підприємства, інтенсивність викиду забруднювача, концентрація забруднювачої речовини, хімічна трансформація, рівняння переносу домішки, чисельна модель.

Постановка проблеми. Металургія залишається головною промисловою галуззю України, на яку припадає більше третини валютних надходжень країни. За даними Всесвітньої асоціації виробників сталі (Worldsteel) за 11 місяців 2016 року наша країна утримувала 10-е місце в світовому рейтингу виробництва сталі. Вітчиз-

няні заводи виробили 22,2 млн. тонн, показавши зростання на 5,6 % в порівнянні з 2015 роком. У той же час Україна втрачає зарубіжні ринки залізничної сировини, перш за все китайський, звідки її витісняють Австралія та Бразилія. Частково втрата китайського ринку була компенсована зростанням поставок до Сербії, Японії, Кореї,

а також збільшилися поставки на внутрішній ринок на 2,8 млн. тонн. У квітні 2017 року порівняно з квітнем 2016 року Україна скоротила виробництво сталі на 28,6 % (до 1,572 млн. тонн), зайнявши 14-е місце серед 67 країн-виробників чорних металів. У січні-травні поточного року, в порівнянні з аналогічним відрізком часу 2016 року, виробництво сталі виявилось менше на 18 % (8,7 млн. тонн), металопрокату – на 20 % (7,46 млн. тонн), виробництво чавуну скоротилося на 22 % , коксу – на 25 % (до 4,18 млн. тонн). У травні на Україні в порівнянні з квітнем виробництво почало зростати.

Публічне акціонерне товариство «Дніпровський металургійний комбінат» – одне з найбільших підприємств промислового комплексу України з повним металургійним циклом з випуску 5600 тис. тонн агломерату, 4350 тис. тонн чавуну, 3850 тис. тонн сталі, 3829 тис. тонн готового прокату. ПАТ «ДМК» – єдиний в Україні постачальник катаної осьової заготовки для залізничного транспорту, шпунтових паль типу Ларсен, рейок контактних для метрополітену, сталевих куль, трубної заготовки. Сталеплавильний комплекс оснащений сучасними технічними засобами і технологією, що забезпечують високу якість киснево-конверторної сталі по макро- і мікроструктурі.

На комбінаті функціонує служба охорони навколишнього середовища, що входить до складу управління промислової безпеки комбінату. Ця служба виконує аналіз об'єктів навколишнього середовища за більш ніж 30 інгредієнтами: пилогазові викиди, скиди в річку Дніпро і якість атмосферного повітря в санітарно-захисній зоні комбінату. Служба бере діяльну участь в здійсненні екологічної програми Каменського і Дніпропетровської області, для чого впроваджуються системи автоматичного екологічного моніторингу. При введенні в експлуатацію нового технологічного обладнання, для мінімізації викидів, в обов'язковому порядку будуються газо-пилоочисні установки. Зараз комбінатом експлуатується понад 150 газо-пилоочисних споруд,

викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від джерел комбінату знизилися на 12,5 тис. тонн. Розподіл основних викидів описується таблицею 1, де представлені річні викиди ПАТ «ДМК».

Таблиця 1 - Річні викиди ПАТ «ДМК»

Забруднюючі речовини	Усього викидів, т/рік	До загального обсягу викидів об'єкту, %	До загального обсягу викидів населеного пункту, %
SO ₂	9367,384	8,6	92,6
NO _x	4003,362	3,7	62,2
CO	80513,972	74,1	97,8
Тверді речовини	14085,067	13,0	95,9

ПАТ «Дніпродзержинський КХЗ» одне з підприємств галузі України з повним циклом переробки хімічних продуктів коксування. Тут здійснюється підготовка вугільної шихти, виробництво коксу, уловлювання хімічних продуктів коксування, переробка кам'яновугільної смоли. Підприємство виробляє широкий спектр коксової і хімічної продукції, яка відповідає європейським і міжнародним стандартам. Продукція, що випускається, знаходить своїх споживачів серед металургійних, енергетичних, хімічних та інших промислових компаній.

Кам'янське – промислове місто, тому проблеми забруднення навколишнього середовища стоять дуже гостро. З огляду на важливість і актуальність проблеми охорони навколишнього природного середовища для міста в ПАТ «Дніпродзержинському КХЗ» щорічно розробляється комплекс природоохоронних заходів, реалізація яких дає можливість зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Для цього на підприємстві працює пилогазоочисне обладнання, встановлено ряд технічних заходів з охорони атмосферного повітря, в тому числі: аспірація повітря від місця видалення вугільного та коксового пилу з його подальшим очищенням; бездимне завантаження коксових печей; гасіння коксу обесфеноленою водою, очищеною на біохімічній установці; установка

дихальних клапанів на сховищах; ремонт газовідвідної арматури коксових батарей. Розподіл основних викидів описується таблицею 2, де представлені річні викиди ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ».

Таблиця 2 - Річні викиди ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ»

Забруднюючі речовини	Усього викидів, т/рік	До загального обсягу викидів об'єкту, %	До загального обсягу викидів населеного пункту, %
SO ₂	413,750	32,7	4,1
NO _x	403,688	31,9	6,3
CO	311,542	24,7	0,4
Тверді речовини	102,563	8,1	0,7

Аналіз останніх досліджень. Розрахунки з дослідження поширення викидів від великих промислових підприємств в атмосферному повітрі виконуються з використанням основних груп моделей [4–7]: модифіковані моделі Гауса, Лагранжеві моделі, які дозволяють розраховувати поле концентрації забруднюючої речовини при стаціонарному точковому джерелі забруднення без великих витрат комп'ютерного часу. Як за кордоном, так і в Україні чисельні моделі лежать в основі готових дуже коштовних програмних пакетів. Тому, залишається актуальною задача проведення оперативних розрахунків по розсіюванню викидів в атмосфері на основі чисельного моделювання, щоб забезпечити своєчасний контроль над великими промисловими підприємствами з урахуванням їх екологічно безпечного функціонування.

Мета та задачі. Метою даної роботи є створення програмного забезпечення для оперативного проведення обчислювальних експериментів з дослідження техногенного впливу на атмосферне повітря газових викидів ПАТ «ДМК» і ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ» м. Каменського. Оцінка зон забруднення і їх впливу на прилеглі території, що примикають до досліджуваних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Процес розсіювання в атмосфері супроводжується рядом хімічних реакцій [3]. При вирішенні поставленого завдання враховується процес утворення сірчаної кислоти при взаємодії з водяними парами. В цьому випадку моделюючими рівняннями є [2, 5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} C) +$$

$$+ \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \tag{1}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\sigma \cdot C \cdot W, \tag{2}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial uW}{\partial x} + \frac{\partial vW}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} W), \tag{3}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial uA}{\partial x} + \frac{\partial vA}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} A) \tag{4}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \sigma \cdot C \cdot W \tag{5}$$

де C – концентрація SO₂; W – концентрація водяних парів; A – концентрація сірчаної кислоти H₂SO₄; u, v – компоненти вектора швидкості вітру, усередненні за висотою перенесення [1, 2]; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнт турбулентної дифузії; Q – інтенсивність викиду забруднювача SO₂; $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$ – дельта-функція Дірака; x_i, y_i – координати джерела викиду; σ – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад SO₂, $\sigma = 0,027 \text{ год}^{-1}$ [3]; t – час. Вміст водяної пари в атмосфері 60%.

Рівняння (1), (3), (4) описують розсіювання викидів SO₂, водяних парів і сірчаної кислоти під дією вітру і атмосферної дифузії. Рівняння (2), (5) враховують зміни концентрації SO₂ за рахунок утворення сірчаної кислоти і її хімічної трансформації в атмосфері.

Чисельне інтегрування рівнянь переносу домішки (1), (3), (4) проводиться за допомогою неявної різницевої схеми розщеплення [2, 3]. Аналогічним чином виконується чисельне інтегрування рівнянь (2), (5).

Розроблена чисельна модель була застосована для вивчення динаміки забруднення атмосферного повітря при стаціонарних викидах діоксиду сірки ПАТ «ДМК» і

ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ» в місті Кам'янському.

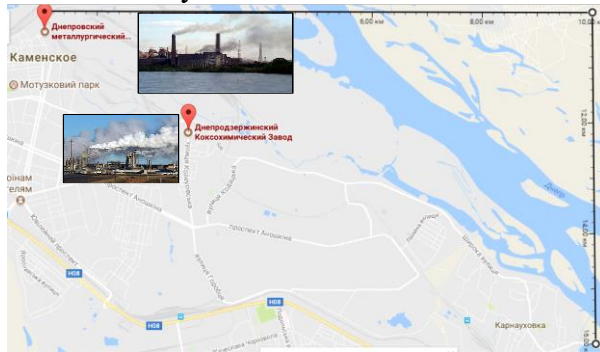


Рис. 1. Розташування джерел викиду діоксиду сірки: ПАТ «ДМК» і ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ» в місті Кам'янському

Джерела емісії є постійно діючими. Згідно з даними екологічного паспорту м. Дніпра щодо викидів в атмосферу великих підприємств, інтенсивність викиду діоксиду сірки ПАТ «ДМК» становить $Q=297$ г/с, ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ» – $Q=13,12$ г/с. Розрахунок виконувався при наступних параметрах: розміри розрахункової області 10 км на 6 км, рис. 1; коефіцієнт дифузії, згідно [1] $\mu = (0,1 \div 1) \cdot U$; усереднення за висотою перенесення 600 м, швидкість вітру становила $U = 10$ м/с при направленні вітру з північного заходу $\alpha = 35^\circ$ (рис. 3), $t=52$ хв.

На цих малюнках значення концентрації представлено у відсотках від величини максимальної концентрації на даний момент часу. Добре видно, як з часом формується складна зона забруднення. Зона забруднення дуже швидко охоплює прилеглі райони, що знаходяться за напрямком вітру.

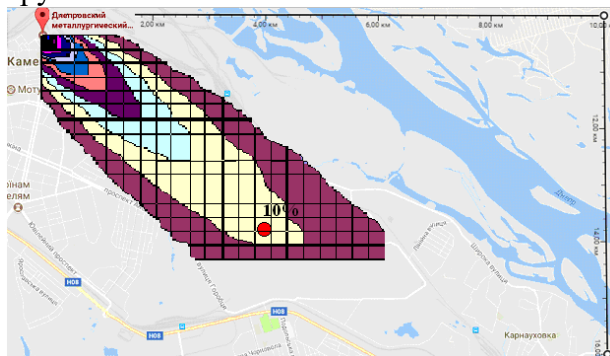


Рис. 2. Зона забруднення повітря діоксидом сірки при направленні вітру з північного заходу $\alpha = 35^\circ$, одне джерело забруднення

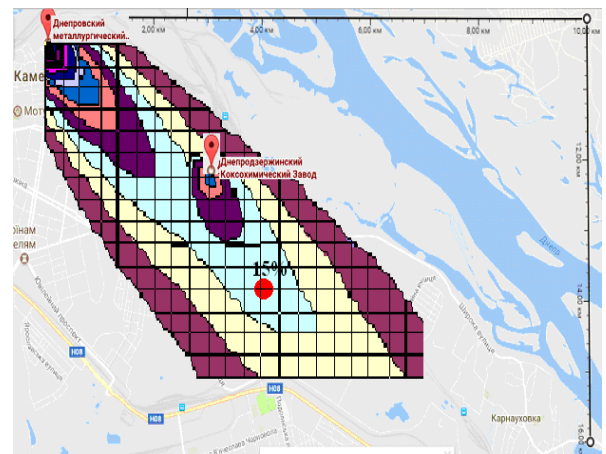


Рис. 3. Зона забруднення повітря діоксидом сірки при направленні вітру з північного заходу $\alpha = 35^\circ$, два джерела забруднення

При розгляді метеорологічної ситуації з урахуванням одного джерела ПАТ «ДМК» (рис. 2) в зону забруднення потрапляють вулиці, де концентрація ді-оксиду сірки змінюється за такою залежністю: Мотузковий парк – до 52 %, вул. Широка – до 43 %, вул. Колеусівська – до 30 %, вул. Козацька та проспект Антошкіна – до 10-20 %, вул. Горобця – менше 8 %.

При розгляді метеорологічної ситуації (рис. 3) при дії двох джерел ПАТ «ДМК» і ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ» зона забруднення охоплює ті ж вулиці доходячи до вул. Лінійної. Концентрація діоксиду сірки змінюється за такою залежністю: Мотузковий парк – до 52 %, вул. Широка – до 43 %, вул. Колеусівська – до 40 %, вул. Козацька та проспект Антошкіна – до 20-30 %, вул. Горобця – до 10 %, вул. Лінійна – менше 6 %.

Для оцінки впливу викидів другого підприємства на рівень забруднення атмосферного повітря була обрана розрахункова точка на відстані 4 км (по осі x) і 4 км (по осі y) від джерела викиду ПАТ «ДМК». При викиді тільки від ПАТ «ДМК» (рис. 2) концентрація забруднення в реперній точці становить порядку 10 % від концентрації на виході з промислових труб, а при наявності другого джерела забруднення – ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ», концентрація в даній точці збільшується і становить близько 15%, тобто рівень забруднення збільшується в 1,5 рази. Таким чином, за допомогою розробленої чисельної моделі мо-

жна прогнозувати вплив викидів на формування зон забруднення атмосферного повітря в місті з урахуванням роботи двох і більше підприємств, при будівництві нових підприємств або при реконструкції вже існуючих.

Висновки. В результаті вирішення поставленого завдання були отримані наступні результати:

- розроблений комплекс програм, що дозволяє оперативно проводити ряд обчислювальних експериментів по оцінці рівня забруднення атмосферного повітря викидами великих промислових підприємств з урахуванням хімічної трансформації забруднювачів в атмосфері;

- проведено дослідження рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки в зоні впливу окремо діючого ПАТ «ДМК» і спільно діючих ПАТ «ДМК» і ПАТ «Дніпродзержинського КХЗ»;

- показана можливість урахування будь-якої кількості підприємств на формування зон забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки в зоні їх взаємного впливу.

Дослідження даного класу є необхідними для оцінки екологічного стану атмосферного повітря при роботі великих промислових підприємств, які є джерелами надходження шкідливих забруднюючих речовин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г.И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320 с.
2. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
3. Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises / M.M. Biliaiev, T.I. Rusakova, V.Ye. Kolesnic, A.V. Pavlichenko // Науковий вісник НГУ, 2017. – № 3. – С. 100-106.
4. Gorle, J.M.R. Dispersion modeling of thermal power plant emissions on stochastic space [Text] / J.M.R. Gorle, N.R. Sambana // Theoretical and Applied Climatology, May 2016. – Vol. 124, Issue 3. – P. 1119–1131.
5. Khandakar Md Habib Al Razi Modeling of atmospheric dispersion of mercury from coal-fired power plants in Japan [Text] / Md Habib Al Razi

- Khandakar, Hiroshi Moritomi // Atmospheric Pollution Research, April 2012. – Vol. 3, Issue 2. – P.226-237.
6. Khamsimak, P. Dispersion Modeling of SO₂ Emissions from a Lignite Fired Thermal Power Plant using CALPUFF [Text] / P. Khamsimak, S. Koonaphapdeelert, N. Tippayawong // Energy and Environment Research, 2012. – Vol. 2, No. 2. – P.256-264.
 7. Vairo, T. Atmospheric Emissions from a Fossil Fuel Power Station: Dispersion Modelling and Experimental Comparison [Text] / T. Vairo, F. Curro, S. Scarselli // A publication of The Italian Association of Chemical Engineering, 2014. – Vol. 36. – P. 15-28.

Беляев Н. Н., Русакова Т. И. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЕ

Разработка методики численного расчета для исследования и оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха за счет деятельности Днепропетровского меткомбината и ОАО Евраз Днепропетровского коксохимического завода, которая основывается на математической модели для расчета концентрации загрязнителя (диоксида серы), учитывающей процессы химической трансформации диоксида серы в атмосфере. Решение уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси (загрязнителя) выполняется с применением неявных разностных схем. Созданное программное обеспечение позволяет проводить ряд вычислительных экспериментов по исследованию зон загрязнения атмосферного воздуха выбросами диоксида серы предприятиями г. Каменского. В результате выполнения расчетов определены районы, наиболее подверженные загрязнению с учетом определенных метеорологических условий. Проведенные исследования необходимы для безопасного функционирования указанных предприятий, деятельность которых влияет на состояние окружающей среды.

Ключевые слова: промышленные предприятия, интенсивность выброса загрязнителя, концентрация загрязняющего вещества, химическая трансформация, уравнение переноса примеси, численная модель.

Biliaiev M. M., Rusakova T. I. EVALUATION OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE INDUSTRIAL ZONE

The numerical calculation method was developed for research and assessment of the level of atmospheric air pollution due to the activities of the Dneprovsky Metals and Evraz of the Dneprodzerzhinsk Coke Plant, which is based on a mathematical model for calculating the concentration of pollution (sulfur dioxide), taking into account the processes of chemical transformation of sulfur dioxide in the atmosphere. The solution of the equation of convective-diffusion transfer of an impurity (contaminant) is performed using implicit difference schemes. The created software makes possible to carry

out a number of computational experiments to study zones of atmospheric air pollution by sulfur dioxide emissions from enterprises of Kamensky. The result of calculations makes possible to determine the most polluted areas, taking into account meteorological condi-

tions. Carried out researches are necessary for safe functioning of the enterprises which activity influences the environment condition.

Key words: industrial enterprises, pollution emission intensity, pollution concentration, chemical transformation, impurity transfer equation, numerical model.

УДК 697.7

Болотских Н.Н.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: tgvter@gmail.com)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СИСТЕМ ИНФРАКРАСНОГО ПАНЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Приведены результаты исследований систем инфракрасного панельного электрического отопления помещений, а также алгоритм усовершенствованной методики расчета.

Ключевые слова: инфракрасный нагреватель, тепловой комфорт, интенсивность облучения, алгоритм методики расчета.

Введение. Для отопления помещений различного назначения с высотой потолков от 2 до 15 м в мировой практике широко используются децентрализованные энергоэффективные инфракрасные системы на базе электрических панельных нагревателей. С их применением в рабочих зонах помещений обеспечивается необходимый тепловой комфорт для находящихся в них людей, а также экономятся при этом энергоресурсы.

Исследованиям и разработке методик расчета систем инфракрасного электрического панельного отопления в отечественной и зарубежной научно-технической литературе посвящен ряд работ [1-5]. В ХНУСА выполнен подробный анализ этих исследований и разработок. Главным выводом из этого анализа является то, что описанные методы расчета нуждаются в дальнейшем совершенствовании и развитии. Прежде всего необходима разработка специального алгоритма расчета оптимальных параметров микроклимата в рабочих зонах помещений в соответствии с действующими в Украине санитарными нормами ДСН 3.3.6.042-99 [6] при минимальных расходах электроэнергии на отопление. Кроме того, для исключения возможных случаев неблагоприятного воздействия инфракрасного облучения на организм человека при расчетах необходимо учитывать

не только допустимую интенсивность облучения (плотность теплового потока) в рабочей зоне, но и длину волны электромагнитного излучения. С учетом этих выводов и рекомендаций в ХНУСА выполнены дополнительные исследования и разработки. В результате была создана усовершенствованная методика расчета, описанию которой и посвящается настоящая статья.

Целью настоящего исследования является создание усовершенствованной методики расчета систем инфракрасного панельного электрического отопления помещений, позволяющей обеспечить на практике оптимальных параметров микроклимата в рабочих зонах в соответствии с санитарными нормами ДСН 3.3.6.042-99 при минимальных расходах электроэнергии.

Основное содержание. Расчет инфракрасного отопления с использованием электрических панельных нагревателей включает в себя: определение тепловых потерь в помещении (необходимой тепловой мощности); выбор типа, конструкции и количества нагревателей; выбор места установки нагревателей в отапливаемом помещении и обеспечение равномерности распределения теплового излучения; проверка соблюдения установленных санитарно-гигиенических норм при использовании про-