

Днепродзержинский государственный технический университет

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ СВАРКЕ

Введение. В настоящее время для оценки опасности в условиях производства широкое развитие получила концепция экологического риска, который является критерием частоты реализации опасности при воздействии на человека опасных и вредных факторов в рабочей зоне и позволяет количественно определить степень вреда для его здоровья.

В экономически развитых странах, исходя из социальных и экономических аспектов, законодательно установлено, что современные технические системы повышенной энергетической мощности должны иметь величину „принятого” или „предельно допустимого” максимального уровня риска гибели человека $R = 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ и менее при всех видах воздействия на систему „человек - машина - окружающая среда”. Принятый риск служит компромиссом между уровнем безопасности и возможностями ее достижения [1].

Постановка задачи. Сварка находит широкое применение в различных отраслях промышленности и относится к числу вредных производств по санитарно-гигиеническим условиям труда. Количество выделяющихся сварочного аэрозоля и летучих соединений при сварке составляет до 150 г и более на 1 кг расплавленного электродного металла. Основными составляющими вредных выбросов являются оксиды железа (до 70%), марганца, кремния, хрома, фтористые соединения, а также оксиды азота, углерода и другие. По способу наиболее вредной является сварка покрытыми электродами и менее – автоматическая и механизированная.

Средняя продолжительность жизни сварщиков на 8-12 лет ниже средней продолжительности жизни мужчин по стране.

Основными условиями безопасного и высокопроизводительного труда сварщиков являются оптимизация технологических режимов, механизация и автоматизация сварочного производства, а также создание нормальных условий труда, соответствующих требованиям санитарно-гигиенических и других норм, в которых установлены классы опасности производств, веществ, предельно допустимых концентраций ПДК_{р.з.}, ПДК_{м.р.}, ПДК_{сс} и ОБУВ [2, 3].

Нормативный подход для оценки антропогенного влияния на биосферу с использованием ПДК не связан причинно-следственными связями с техносферой, и это не позволяет в полной мере оценить ущерб и потери общества из-за ухудшения окружающей среды и использовать экономико-социальные рычаги для управления экологической безопасностью.

Для численной оценки риска в основном используются статистические данные, фиксирующие свершившиеся факты, которые уже нельзя изменить, а тем более предотвратить. Использование экологического риска позволяет количественно оценить степень вреда для здоровья человека от концентрации ксенобиотиков в атмосферном воздухе.

Результаты работы. На основе концепции экологического риска оценивалось влияние качества атмосферного воздуха рабочей зоны на среднюю продолжительность жизни и изменение срока рабочего стажа сварщика при механизированной сварке MIG/MAG на форсированном режиме изделий машиностроения в смеси CO₂+O₂.

Основной металл – сталь 09Г2С, электродная проволока Св-08Г2С диаметром 2 мм, тип сварного шва ТЗ с катетом 6 мм, расход защитной смеси 17-20 л/мин. и скорость сварки 20 м/ч. Количество вредных веществ (ВВ), выделяющихся при сварке в смеси $\text{CO}_2 + \text{O}_2$, составляет, г/кг: пыль (Fe_2O_3) – 7,48; сварочный аэрозоль ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\% \text{MnO}_2$) – 9,70; MnO_2 – 0,50; Cr_2O_3 – 0,02; NO_2 – 14,0; CO – 14,0; O_3 – 0,02. Категория тяжести работы сварщиков – Пб. Выделяющиеся при сварке в атмосферный воздух рабочей зоны аэрозольно-пылевые фиброгенные и токсичные ксенобиотики отрицательно воздействуют на здоровье и продолжительность жизни сварщика.

Количество выбросов вредных веществ в воздух рабочей зоны при сварке определяется по формуле [3]:

$$Z = 1000 \cdot m \cdot Z_b, \text{ мг/ч}, \quad (1)$$

где m – масса наплавленного металла, кг/ч; Z_b – удельные выделения ВВ, г/кг.

Масса наплавленного металла шва

$$m = \alpha \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot t, \text{ кг/ч}, \quad (2)$$

где α – коэффициент наплавки = 14-18 г/(А·ч); I – сила тока, А; t – время, ч.

$$m = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 440 \cdot 1 \approx 7,0 \text{ кг/ч}.$$

Количество выбросов некоторых ВВ в воздух рабочей зоны:

а) сварочный аэрозоль:

$$Z = 1000 \cdot 7 \cdot 9,70 = 67900 \text{ мг/ч}.$$

Количество приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$L_{\text{пр}} = Z / \text{ПДК}_{\text{рз}} = 67900/4 = 17000 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (3)$$

б) диоксид азота, NO_2 :

$$Z = 1000 \cdot 7 \cdot 8 = 56000 \text{ мг/ч}.$$

Количество приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$L_{\text{пр}} = Z / \text{ПДК}_{\text{рз}} = 56000/2 = 28000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Общее количество пыли, аэрозоля, оксидов металлов и газообразных экоплютантов, выделяющихся в воздух рабочей зоны, и их концентрации при сварке в смеси $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ приведены в табл.1.

Таблица 1 – Масса и концентрация вредных веществ

Вещество	Класс опасности	ПДК _{рз} , мг/м ³	ПДК _{сс} , мг/м ³	Выброс ВВ, мг/ч	Количество приточного воздуха, м ³ /ч	С _{рз} , мг/м ³
Пыль (Fe_2O_3)	4	6,0	0,15	52500	8750	6,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\% \text{MnO}_2$	4	4,0	0,15	67900	17000	4,0
MnO_2	2	0,30	0,10	3500	11700	0,3
Cr_2O_3	3	1,0	0,01	140	140	1,0
NO_2	2	2,0	0,04	56000	28000	2,0
CO	4	20,0	3,0	70000	3500	20,0
O_3	1	0,10	0,03	140	1400	0,10
Всего	-	-	-	250180	70490	-

Данные табл.1 показывают, что при нормально работающей приточно-вытяжной и местной вентиляции концентрация выделяющихся ВВ в рабочей зоне $C_{pz} = ПДК_{pz}$. Кратность воздухообмена в сварочных цехах по санитарным нормам должна составлять $K = 3-10 \text{ ч}^{-1}$ в зависимости от объема и производственной мощности цеха.

В результате нарушения технологии, неполадок в работе оборудования, систем вентиляции или аварий увеличивается воздействие ВВ на сварщика в течение рабочего стажа, что повышает экологический риск заболевания, сокращение средней продолжительности рабочего стажа и жизни.

Аэрозольно-пылевая фиброгенная нагрузка (АПФН) на сварщика, класс условий труда и допустимый стаж работы при повышении концентрации C_{cm} сварочного аэрозоля в рабочей зоне с 4,0 до 4,5 мг/м^3 определяются согласно руководству [4]:

а) аэрозольно-пылевая фиброгенная нагрузка за 35 лет стажа при $C_{cm} = ПДК_{pz} = 4 \text{ мг/м}^3$:

$$АПФН = C_{cm} \cdot N \cdot T_k \cdot Q = 4 \cdot 251 \cdot 35 \cdot 7 = 245980 \text{ мг}, \quad (4)$$

где C_{cm} – фактическая среднесменная концентрация пыли или аэрозоля в зоне дыхания сварщика, мг/м^3 ;

N – количество рабочих смен в календарном году;

T_k – количество лет контакта с АПФ веществами;

Q – объем легочной вентиляции за смену для категории тяжести работы Пб, равный 7 м^3 ;

б) аэрозольно-пылевая фиброгенная нагрузка за 35 лет при $C_{cm} = 4,5 \text{ мг/м}^3 > ПДК_{pz}$

$$АПФН = 4,5 \cdot 251 \cdot 35 \cdot 7 = 276728 \text{ мг};$$

в) контрольная пылевая нагрузка

$$КПН_{35} = ПДК_{pz} \cdot N \cdot T \cdot Q = 4 \cdot 251 \cdot 35 \cdot 7 = 245980 \text{ мг}; \quad (5) \square$$

г) величина превышения $КПН_{35}$

$$\frac{АПФН}{КПН_{35}} = \frac{276728}{245980} = 1,13. \quad (6)$$

Фактическая АПФН превышает $КПН_{35}$ за тот же период работы в 1,13 раза и согласно [5, табл.4.4, п.3.1] – *класс условий труда сварщика – вредный*.

д) допустимый стаж работы при повышении C_{cm} от 4 до 4,5 мг/м^3

$$T_1 = \frac{АПФН_{35}}{C_{cm} \cdot N \cdot Q} = \frac{245980}{4,5 \cdot 251 \cdot 7} = 31,11 \text{ года}. \quad (7)$$

В данных условиях труда сварщик может проработать не более 31 года без значительных патологических изменений в организме.

Изменение допустимого рабочего стажа по сравнению с установленным 35 лет при увеличении концентрации ВВ при сварке в атмосферном воздухе рабочей зоны приведено в табл.2.

Уравнения полиномиальной аппроксимации линии тренда и расчета изменения рабочего стажа от концентрации ВВ в атмосферном воздухе рабочей зоны следующие.

Вещества АПФ действия:

Fe_2O_3 – пыль:

$$y = - 2,4325^2 + 20,414; \quad R^2 = 0,9987. \quad (8)$$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\% \text{MnO}_2$ – сварочный аэрозоль:

$$y = -4,15x^2 + 25,33x; \quad R^2 = 0,9963.$$

Таблица 2 – Зависимость допустимого рабочего стажа от концентрации вредных веществ

Вещество	$\frac{\text{ПДК}_{\text{рз}}}{C_{\text{см}}}$, мг/м ³	Класс опас- ности	АПФ и токсичная нагрузка, мг*	КПН ₃₅	Превы- шение КПН ₃₅	Допустимый стаж работы, лет
Fe_2O_3	6,0 / 6,5	4	368970 / 399718	368970	1,08	32
$\text{Fe}_2\text{O}_3 +$ $+6\%\text{MnO}_2$	4,0 / 4,5	4	245980 / 276728	245980	1,13	31
MnO_2	0,30 / 0,35	2	18449 / 21523	18449	1,17	30
Cr_2O_3	1,0 / 1,5	2	61495 / 92243	61495	1,50	23
NO_2	2,0 / 2,5	3	122990 / 153738	122990	1,25	28
CO	20,0 / 25,0	4	1229900/1537375	1229900	1,25	28
O_3	0,03/0,035	2	1845 / 2152	1845	1,17	30

* числитель – нагрузка при $\text{ПДК}_{\text{рз}}$; знаменатель – нагрузка при $C_{\text{см}} > \text{ПДК}_{\text{рз}}$

Вещества токсичного действия:

$$\text{MnO}_2 \quad y = -615,88x^2 + 300,7; \quad R^2 = 0,9919.$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \quad y = -28,93x^2 + 62,828x; \quad R^2 = 0,8189.$$

$$\text{NO}_2 \quad y = -12,715x^2 - 43,022x; \quad R^2 = 0,9945.$$

$$\text{CO} \quad y = -0,125x^2 + 4,2517x; \quad R^2 = 0,9950.$$

$$\text{O}_3 \quad y = -61,588x^2 + 3007x; \quad R^2 = 0,9919.$$

С целью нормализации санитарно-гигиенических условий труда сварщиков и качества атмосферного воздуха в цехах используются аэрация, общеобменная механическая приточно-вытяжная (ОПВВ) и местная вытяжная вентиляции (МВВ).

При использовании ОПВВ в цех необходимо подавать в среднем 14000-16000 м³ воздуха на одного сварщика. Потребляемая мощность вентилятора $W \approx 7,5$ кВт. При односторонней работе в течение 251 рабочего дня (2002 ч) при 40-часовой рабочей неделе расход электроэнергии достигает 15015 кВт·ч, и при стоимости 1 кВт·ч = 1,10 грн. затраты составляют $Z_1 \approx 16517$ грн./год.

Для нагрева 16000 м³/ч приточного воздуха в холодный период года (125 дней – 998 ч) на одного сварщика при расходе тепловой энергии 154 Гкал/чел·год и стоимости 1 Гкал ≈ 1000 грн. затраты составляют $Z_2 = 154000$ грн./год.

Ежегодные затраты при обслуживании 50 сварщиков на эксплуатацию системы ОПВВ и подогрев воздуха составляют:

$$Z_{1\text{ОПВВ}} = (Z_1 + Z_2) \cdot 50 = (16517 + 154000) \cdot 50 = 853085 \text{ грн./год.} \quad (9)$$

Дополнительные затраты с учетом снижения производительности труда при работе в условиях повышенной запыленности воздуха (в США они составляют 15%), выплаты по больничным листам и надбавки за работу во вредных условиях, выплаты пенсий людям, ушедшим досрочно по причине профзаболеваний (8-10% в год), на обучение персонала, заменяющего выбывших специалистов и ущерба, наносимого окружающей среде, составляют $\approx 50\%$.

С учетом этих затрат ($\kappa = 50\%$) общие затраты на ОПВВ

$$Z_{\text{ОПВВ}} = \kappa \cdot Z_{1\text{ОПВВ}} = 1,5 \cdot 853085 = 1279627,5 \text{ грн./год.} \quad (10)$$

Улучшению условий труда и снижению концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ВВ) при сварке способствует местная вытяжная вентиляция (МВВ), в которой применяются малогабаритные стационарные и передвижные энергосберегающие гибкие системы типа Carryvac P150/150ACT, IPERJET, AFAflex 4F, WELDY, JET и другие с отсосом воздуха из зоны сварки, которые обеспечивают 75-80% эффективного улавливания вредных выделений и очистку на 90-95% удаляемого воздуха перед выбросом его в атмосферу.

Влияние снижения на 90% концентрации ВВ в воздухе рабочей зоны на рабочий стаж сварщика за счет установки устройств МВВ в цехе приведены в табл.3.

Таблица 3 – Зависимость рабочего стажа от снижения концентрации ВВ

Вещество	$\frac{\tilde{N}_{\text{н}}^*}{\tilde{A}\tilde{E}_{\delta\zeta}},$ мг/м ³	Класс опасности	АПФН** и токсичная нагрузка, мг	КПН ₃₅	$\frac{\tilde{E}\tilde{I}_{35}}{\tilde{A}\tilde{I}\tilde{O}\tilde{I}}$	Допустимый стаж работы, лет
Fe ₂ O ₃	0,6 / 6,0	4	36897 / 367500	36897	0,10	35,0
Fe ₂ O ₃ + + 6%MnO ₂	0,4 / 4,0	4	24598 / 245980	24598	То же	То же
MnO ₂	0,03 / 0,30	2	1845 / 18375	1845	-«-	-«-
Cr ₂ O ₃	0,1 / 1,0	2	6150 / 61250	6150	-«-	-«-
NO ₂	0,2 / 2,0	3	12299 / 122500	12299	-«-	-«-
CO	2 / 20,0	4	122990 / 1229900	122990	-«-	-«-
O ₃	0,003 / 0,03	2	185 / 1845	185	0,10	35,0

* числитель – концентрация С_{см} при установке устройств МВВ;

** числитель – концентрация С_{см} < ПДК_{рз}; знаменатель – нагрузка при С_{см} = ПДК_{рз}.

Данные табл.3 показывают, что при установке устройств местной вытяжной вентиляции (МВВ) на всех постах цеха сварщик может проработать 35 лет без ущерба для здоровья.

При установке на всех сварочных постах цеха устройств МВВ общеобменной вентиляции необходимо подавать не 16000 м³/ч, а только 1200 м³/ч воздуха на одного сварщика, что снижает затраты примерно в 13,5 раза, или на 50 сварщиков:

$$З_{\text{в}} = (З_1 / 13,3) \cdot \approx 1242 \cdot 50 = 62500 \text{ грн/год.} \quad (11)$$

Тогда для нагрева 1200 м³/ч приточного воздуха в холодный период года (125 дней) при расходе тепловой энергии 12 Гкал/чел·год и стоимости 1 Гкал ≈ 1000 грн., затраты на одного сварщика составляют 12000 грн/год, а на 50 сварщиков З_н = 600000 грн/год.

Суммарные затраты на подачу и подогрев воздуха МВВ

$$З = З_{\text{в}} + З_{\text{н}} = 62500 + 600000 = 662500 \text{ грн·год.} \quad (12)$$

Снижение затрат при переходе на подачу и подогрев воздуха МВВ

$$З_{\text{пп}} = З_{\text{опвв}} - З_{\text{вн}} = 12796275 - 662500 = 12133775 \text{ грн/год.} \quad (13)$$

Устройство МВВ мощностью 2,0 кВт и производительностью 2000 м³/ч удаляемого загрязненного воздуха расходует при односменной работе на одного сварщика в течение 251 дня (2002 ч) 4002 кВт·ч электроэнергии, а на 50 сварщиков – 200100 кВт·ч при стоимости 1 кВт·ч = 1,10 грн.

Стоимость одного устройства MBV ≈ 25000 грн., а 50-и устройств – $C_y = 1250000$ грн. и их монтажа $C_m \approx 166667$ грн.

Общие затраты на оборудование MBV

$$Z_{2MBV} = Z_3 + C_y + C_m = 200100 + 1250000 + 166667 = 1616767 \text{ грн/год.} \quad (14)$$

Суммарные затраты на установку и работу MBV составляют:

$$Z_{MBV} = Z_{1MBV} + Z_H + Z_{2MBV} = 61200 + 698400 + 1616767 = 2376367 \text{ грн/год.} \quad (15)$$

Это составляет 16,30% затрат от общих расходов на ОПВВ.

Экономическая эффективность от уменьшения количества воздуха, подаваемого ОПВВ и установки MBV,

$$E = Z_{ОППП} - Z_{MBV} = 12796275 - 2376367 = 10419908 \text{ грн/год,} \quad (16)$$

что составляет 81,43%.

Вредные вещества, выбрасываемые после сварки в атмосферу, оказывают негативное влияние на окружающую среду. Устройства MBV снабжены фильтрами и катализаторами, которые на 90-95% улавливают сварочные аэрозоли, окисляют CO в CO₂ и разлагают NO₂, O₃ в молекулы N₂, O₂, не обладающие токсичностью, что снижает ущерб, наносимый человеку и природе.

Масса загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздушный бассейн при сварке MIG/MAG в смеси CO₂+O₂,

$$M_i = [B \cdot 10^{-3} \cdot t (1 - \eta_i)] \cdot N, \text{ кг/год,} \quad (17)$$

где B – расход электродных материалов, кг/ч; K_m^x – удельный показатель выделения загрязняющего вещества «х» на единицу массы расходуемых материалов, г/кг; t – количество часов работы очистного аппарата, η – степень очистки воздуха в аппаратах MBV; N – количество сварочных постов.

Масса выброса сварочного аэрозоля без установок MBV

$$M_i = [7 \cdot 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2002] \cdot 50 \approx 6797 \text{ кг/год,}$$

а с установками MBV и $\eta = 90\%$

$$M_{MBV} = [7 \cdot 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2002(1 - 0,90)] \cdot 50 \approx 680 \text{ кг/год.}$$

Сбор за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками определяется по формуле [5]

$$P_{ат} = \sum_{i=1}^n (H_{ип} \cdot M_{иф} \cdot K_{ип}) \cdot K_T \cdot K_n \cdot K_{ин}, \quad (18)$$

где $P_{ат}$ – сбор за выбросы загрязняющих веществ, грн.; $H_{иф}$ – нормативы платы за фактические выбросы в атмосферу 1 тонны i-го загрязняющего вещества, грн./т; $M_{иф}$ – масса выброса в атмосферу i-го загрязняющего вещества, т/год; $K_{ип}$ – коэффициент кратности платы за превышение выброса в атмосферу i-го загрязняющего вещества, который для города составляет 5; K_T – коэффициент, учитывающий территориальные, экологические и социально-экономические особенности города:

$$K_T = K_{нас} + K_{ф},$$

где $K_{нас} = 1,35$ – коэффициент, зависящий от численности населения города;

$K_{\phi} = 1,25$ – коефіцієнт, учитывающий значение города, тогда

$$K_T = 1,35 \cdot 1,25 = 1,69;$$

K_{Π} – коэффициент, учитывающий повышение оплаты за превышение выбросов;
 $K_{ин} = 1,20$ – коэффициент индексации.

Плата за выбросы в атмосферу сварочного аэрозоля без MBV

$$\Pi_{ат} = \sum_{i=1}^n (130 \cdot 24,167 \cdot 5) \cdot 1,69 \cdot 1,2 = 26798,0 \text{ грн/год},$$

с установкой MBV и очисткой воздуха на 90% перед выбросом в атмосферу

$$\Pi_{ат} = \sum_{i=1}^n [(130 \cdot 24,167 \cdot 5) \cdot (1 - 0,90)] \cdot 1,69 \cdot 1,2 = 2680,0 \text{ грн/год},$$

Масса выбросов ВВ в атмосферу (2002 ч/год) до и после установки MBV и плата за загрязнение атмосферы приведены в табл.4.

Таблица 4 – Масса выбросов и плата за загрязнение атмосферы

Вещество	Выбросы в атмосферу, кг/ч	Выбросы в атмосферу, кг/год	Плата за выбросы, грн.
Пыль (Fe_2O_3)	2,625 / 0,263	5255 / 525	2068 / 207
$Fe_2O_3 + 6\% MnO_2$	3,400 / 0,340	6797 / 680	86933 / 8693
MnO_2	0,175 / 0,018	350 / 35	4477 / 448
Cr_2O_3	0,007 / 0,0007	14 / 1,40	186 / 18
NO_2	2,800 / 0,280*	5606 / 561	74566 / 7457
CO	3,500 / 0,350*	7007 / 701	1368 / 137
O_3	0,007 / 0,0007*	14 / 1,40	681 / 68
Всего	12,399 / 1,252	25043 / 2504	170279 / 17028

числитель – без установки MBV; знаменатель – с установкой MBV и катализаторами для окисления NO_2 , CO и O_3^*

Снижение выплат за загрязнение атмосферы

$$\mathcal{E}_{ат} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 170279 - 17028 = 153251 \text{ грн/год, (90,0\%)}.$$
 (19)

Общая эколого-экономическая выгода от уменьшения количества воздуха, подаваемого ОПВВ, и применения MBV с очисткой воздуха

$$E = (3_{опвв} - 3_{мвв}) + \mathcal{E}_{ат} = (12796275 - 2376367) + 153251 = 10573159 \text{ грн/год, (20)}$$

что составляет 82,63%.

Выводы. 1. Использование концепции экологического риска совместно с нормативными данными позволяет количественно оценить снижение средней продолжительности рабочего стажа и жизни сварщика в зависимости от степени загрязнения ксенобиотиками атмосферного воздуха рабочей и селитебной зон, а также наносимый ущерб здоровью и окружающей среде.

2. Ухудшение качества воздуха рабочей зоны снижает установленную продолжительность безопасного рабочего стажа на 3-13 и жизни – на 7-10 лет.

3. Применение малогабаритных стационарных и передвижных энергосберегающих гибких систем местной вытяжной вентиляции с очисткой воздуха и окислением токсичных веществ перед выбросом в атмосферу позволяет на 80-85% снизить общие за-

траты на комбинированную вентиляцию цеха, обеспечить эргономичные условия труда и уменьшить на 90-95% объем вредных выбросов в атмосферу.

4. Местная вытяжная вентиляция улучшает условия труда, способствует повышению производительности на 10-20%, снижению себестоимости продукции и улучшению экологической обстановки.

5. Комплекс мероприятий по применению концепции эколого-экономического риска при сварке позволяет кроме экономического также получить социальный эффект.

6. При разработке новых санитарно-гигиенических норм необходимо ввести критерий принимаемого экологического риска в нормативную базу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джигирей В.С. Безпека життєдіяльності / В.С.Джигирей, В.Ц.Жидецкий. – Львів: Афіша, 2000. – 256с.
2. Беспаятнов Г.П. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.П. Беспаятнов, Ю.А.Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 177с.
3. ПДК вредных веществ воздуха рабочей зоны: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03. – М., 2003. – 123с.
4. Безопасность производственных процессов: справочник / [С.В.Белов, В.И.Бринза, Б.С.Векшин и др.]; под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 448с.
5. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М.Яворский, А.А.Детлаф, А.К.Лебедев. – М.: Оникс, 2008. – 1056с.
6. Базиль Е.Е. Риск сокращения продолжительности жизни: рабочая зона / Е.Е. Базиль, С.А.Изотов, В.Д.Гогунский // Труды Одесского политехнического университета. – 1997. – Вып. 2. – С.133-136.
7. Гогунский Б.Д. Влияние светового фактора на величину экологического риска / Б.Д.Гогунский, А.Е.Колесников, Я.Л.Курбанов // Труды Одесского политехнического университета. – 2002. – Вып. 2. – С.140-147.
8. Саноцкий И.В. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений / И.В.Саноцкий, И.П.Уланова. – М.: Медицина, 1975. – 343с.
9. Р 2.2.755-99. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. – М., 1999. – 70с.
10. Постанова КМУ від 1.03.1999 р. № 303 „Про затвердження порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору” (із змінами та доповненнями у 2000-2002 р.р.). – К., 2002.

Поступила в редколлегию 15.12.2014.