

УДК: 621.35.002:504.1

Расчёт социально-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды гальваническим производством

С.М. Вострикова

Аннотация

В данной статье продолжается разработка иерархической системы показателей безопасности гальванического производства, начатая в [1]. Подробно представлены социальные и социально-экономические показатели третьего и второго уровня иерархической системы, позволяющие связать социальные, экологические, экономические и технологические аспекты гальванического производства, учесть различные пути воздействия вредных веществ на человека и окружающую среду.

Ключевые слова

гальваническое производство; риск для здоровья населения; социально-экономический ущерб; социоэколого-экономический показатель.

1. Введение

Гальваническое производство относится к числу наиболее неэкологичных, характеризуется вредными условиями труда и существенно загрязняет окружающую среду. При нанесении гальванических покрытий используются электролиты, содержащие токсичные и канцерогенные вещества. Данные вещества могут вызывать у человека различные заболевания. Так, например, повышенное содержание цинка в воде может привести к гипертонической болезни, анемии, почечной недостаточности, эрозиям на слизистой желудка. При использовании кислот и щелочей в воздух выделяются пары хлористого водорода, вызывающие заболевания глаз и органов дыхания. Применяется большое количество канцерогенных веществ, приводящих к возникновению различных онкологических заболеваний [2].

Согласно [3] состояние окружающей среды определяет здоровье людей на 10–20%, при этом 2–3% от общей смертности обусловлены загрязнением атмосферного воздуха. При рассмотрении гальванического производства необходимо так же учитывать, что возникновение

профзаболеваний на 22% зависит от загрязнения воздуха рабочей зоны аэрозолями и на 8,4% применяемыми химикатами [4].

Для оценки экологичности гальванического производства в статье [1] была предложена иерархическая система показателей безопасности. Согласно данной системе интегральный показатель безопасности гальванического производства ($Y_{\text{СУМ}}$) представляет собой сумму следующих показателей: ущерб, нанесённый атмосферному воздуху, ущерб, нанесённый водным объектам, ущерб, нанесённый почвам, ущерб, причиняемый здоровью ($Y_{\text{зд}}$ [руб.]). В настоящей статье подробно рассмотрены социальные показатели безопасности гальванического производства для работающих на предприятии и населения, живущего рядом с ним и проведён расчёт суммарного социоэколого-экономического ущерба.

2. Методология оценки социально-экономического показателя производства

Социальным показателем безопасности производства является риск для здоровья человека, определяемый как вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека [5]. Следовательно, необходимо определить какому риску подвергаются рабочие и население от загрязнения окружающей среды гальваническим производством.

Согласно [6] полная схема оценки риска состоит из четырёх этапов: 1) идентификация опасности; 2) оценка зависимости "доза - ответ; 3) оценка воздействия химических веществ на человека; 4) характеристика риска.

Оценка экспозиции является одним из наиболее трудоёмких этапов, так как включает в себя характеристику источников загрязнения, маршрутов движения загрязняющих веществ от источника к человеку, пути и точки воздействия, определение доз и концентраций, установление уровней экспозиции для популяции.

В руководстве [6] предложена методика определения индивидуального канцерогенного риска (CR) в зависимости от фактора канцерогенного потенциала или фактора наклона (SF [(мг/кг·день)⁻¹]) и величины экспозиции (I) или среднесуточной дозы в течение жизни (LADD [мг/(кг·день)]):

$$CR = LADD \times SF. \quad (1)$$

В работе [7] для характеристики неканцерогенного риска предложена модель индивидуальных порогов действия, которая представляет собой нормально-вероятностное распределение частоты эффектов.

$$\text{Risk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \times \lg(D)} e^{-t^2/2} dt, \quad (2)$$

где π – число пи (3.14...); e – основание натурального логарифма, D – воздействующая доза, t – доверительный коэффициент, a и b – эмпирические коэффициенты.

Эмпирические коэффициенты a и b для различных химических веществ и соединений также определены в работе [7].

Данная модель может быть применена для определения риска неканцерогенных эффектов.

Сложностью при оценке риска является отсутствие строго установленных допустимых величин риска. Основываясь на концепции пороговости для оценки неканцерогенных эффектов, в работе [7] принято, что уровни риска, при которых вероятность развития неблагоприятных эффектов оценивается более 16-25% при нормально-вероятностном распределении, принимаются значимыми. В ряде стран при оценке канцерогенного риска приемлемой считается величина на уровне от 10^{-4} до 10^{-6} . В России величина риска для населения составляет 10^{-5} - 10^{-6} [6].

3. Определение экспозиции вредных веществ, поступающих различными путями

3.1. Возможные пути воздействия гальванического производства на человека

Гальваническое производство через выбросы, сбросы загрязняющих веществ, захоронение отходов загрязняет такие компоненты окружающей среды как атмосферный воздух, поверхностные воды, почвы. Поэтому при оценке риска здоровью для населения необходимо рассмотреть различные маршруты движения загрязняющих веществ от источника к человеку (таблица 1). При оценке риска для работающих, основным путём воздействия является ингаляционное поступление вредных веществ из воздуха рабочей зоны.

Таблица 1

Возможные пути воздействия

Среды воздействия		
Поверхностные воды	Атмосферный воздух	Почва
1. Случайное заглатывание воды водоёмов (при плавании) 2. Кожный контакт при плавании 3. Накожная экспозиция питьевой (водопроводной) воды 4. Пероральное поступление с питьевой водой	1. Ингаляционное поступление веществ из атмосферного воздуха	1. Ингаляционное воздействие веществ, поступающих в воздух из почвы

В руководстве [6] приводятся стандартные формулы для расчёта среднесуточной дозы химических веществ при поступлении их указанными в таблице путями. Данные формулы учитывают специфику сред и путей воздействия.

При расчёте средней суточной дозы при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой ($I_{ПВ}$ [мг/(кг*день)]) необходимо принимать во внимание величину водопотребления ($V_{Вод}$ [л/сут]), которая различна для взрослых и детей, а для расчёта среднесуточной дозы при случайном заглатывании воды ($I_{Плав}$ [мг/(кг*день)]) важными

являются показатели времени и частоты воздействия (ET и EF) При определении накожной экспозиции воды открытых водоёмов ($DAD_{ПЛАВ}$ [мг/(кг*день)]) и водопроводной (питьевой) воды ($DAD_{ПВ}$ [мг/(кг*день)]) учитывают площадь поверхности кожи, контактирующей с водой (SA [см²]). Если рассматривать ингаляционный путь поступления химических веществ из атмосферного воздуха, то в этом случае необходимо разделять время, проводимое вне помещения (T_{out} [ч/день]) и внутри помещения (T_{in} [ч/день]), так как в этом случае различны скорости дыхания (вне помещения V_{out} [м³/ч] и внутри помещения V_{in} [м³/ч]).

В соответствие с руководством [6] общая формула для расчёта средней суточной дозы имеет следующий вид:

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (3)$$

где I - поступление (количество химического вещества на границе обмена), мг/кг массы тела в день; C - концентрация химического вещества; средняя концентрация, воздействующая в период экспозиции (например, мг/л воды); CR - величина контакта; количество загрязненной среды, контактирующее с телом человека в единицу времени или за один случай воздействия (например, л/день); ED - продолжительность воздействия, число лет; BW - масса тела: средняя масса тела в период экспозиции, кг; AT - время осреднения; период осреднения экспозиции, число дней.

Справочные данные, необходимые для расчётов также приведены в руководстве [6]. При определении экспозиции вредных веществ, воздействующих на производственных рабочих можно также воспользоваться формулой (4), но следует обратить внимание, что в этом случае меняется продолжительность и частота воздействия.

3.2. Определение концентрации веществ, воздействующих на человека

Основной задачей на этапе расчёта экспозиции является установление воздействующей на человека концентрации. Она может быть определена путём непосредственных замеров, либо теоретическим способом. Основную сложность в данном случае представляет выявление доли воздействия предприятия на водный бассейн, так как на качество вод реки влияют все предприятия, сбрасывающие в неё загрязняющие вещества. Поэтому предлагается рассчитывать $I_{ПВ}$, $I_{ПЛАВ}$, $DAD_{ПЛАВ}$ и $DAD_{ПВ}$ по фактическим данным для исследуемого населённого пункта, предоставляемым официальными органами. А в дальнейшем при расчёте риска корректировать полученные значения с учётом доли рассматриваемого предприятия в общем загрязнении (δ). В этом случае корректировочный коэффициент δ определяется по формуле

$$\delta = \frac{M_{ПРЕД_i}}{M_{\Sigma_i}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{ПРЕД}i}$ – масса i -го загрязняющего вещества, сбрасываемого рассматриваемым предприятием, т/год; $M_{\Sigma i}$ – масса i -го загрязняющих веществ, сбрасываемого всеми предприятиями в водный объект, т/год.

Концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе ($C_M[\text{мг/м}^3]$) определяется в соответствии с [8] по формуле

$$C_M = \frac{A \times M \times F \times m \times n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V_1 \times \Delta T}}, \quad (5)$$

где A – коэффициент, зависящий от температуры атмосферы; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; F – коэффициент, зависящий от скорости осаждения вредных веществ и степени очистки газа; m и n – коэффициенты, определяемые в зависимости от параметров устья; η – коэффициент, учитывающий рельеф местности; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; ΔT – разность между температурой, выбрасываемой смеси, и температурой окружающей среды, °С; V_1 – расход газовойоздушной смеси ($\text{м}^3/\text{с}$).

Однако данная концентрация достигается при опасной скорости ветра, при других скоростях она должна быть скорректирована с учётом коэффициента γ , определяемого в соответствии с [8]. Расстояние, на котором достигается максимальная концентрация (X_M) и приземная концентрация вещества в любой точке факела выброса ($C_{\text{ЛМ}}$) рассчитываются также по [8].

Концентрация вещества в почве ($C_{\text{ПОЧВА}}[\text{мг/кг}]$) зависит от массы отходов, направленных на захоронение ($m_{\text{ОТХ}}[\text{мг/год}]$) и массы земли, изъятая под это захоронение ($m_{\text{ИЗ}}[\text{кг/год}]$)

$$C_{\text{ПОЧВА}} = \frac{m_{\text{ОТХ}}}{m_{\text{ИЗ}}}. \quad (6)$$

Рассчитывая концентрацию, воздействующую на рабочих, необходимо учитывать эффективность местных отсосов (ϵ). В зависимости от этой величины будет меняться количество вредных веществ, поступающих в воздух рабочей зоны ($M_{\text{РЗ}}[\text{г/с}]$) и масса, загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу (M)

$$M_{\text{РЗ}} = M_{\text{ОБЩ}} \times (1 - \epsilon), \quad (7)$$

где $M_{\text{ОБЩ}}$ – масса, загрязняющих веществ, выделяющихся в воздух при нанесении покрытия, г/с.

3.3. Характеристика канцерогенного и неканцерогенного риска

В соответствии со схемой оценки риска следующим этапом является характеристика риска, то есть расчёт канцерогенного риска в соответствии с формулой (1). При этом среднесуточная доза в течение жизни (LADD) рассчитывается для различных путей поступлений на основе формулы (3). Определяя канцерогенный риск при накожном контакте с загрязняющими веществами, необходимо скорректировать фактор канцерогенного потенциала при пероральном поступлении (SF_0) с учётом коэффициента всасывания в желудочно-кишечном тракте (GIABS).

В основе данного подхода лежит расчет абсорбированной дозы (SF_D) и предположение о биологической эквивалентности абсорбированных доз при пероральном пути поступления:

$$SF_D = \frac{SF_o}{GIABS}. \quad (8)$$

Для характеристики неканцерогенных эффектов, как уже отмечалось выше, предлагается использовать модель индивидуальных порогов действия (3). В этом случае необходимо определить верхний предел интегрирования (Pr ob). Воспользуемся формулой, предложенной в [7]:

$$Pr ob = a + b \times \lg\left(\frac{C}{ПДК}\right) \times \lg(T), \quad (9)$$

где C – концентрация вещества, $мг/м^3$ (для воздуха) или $мг/л$ (для воды); ПДК – предельно допустимая концентрация для соответствующей среды; T – время воздействия или рабочий стаж в годах.

Данная формула позволяет рассчитывать накапливаемый с годами риск для здоровья и выявлять, через какое количество времени величина риска станет значимой. Однако для дальнейшего определения социально-экономического ущерба необходимо определить годовой риск, то есть учесть время осреднения (T_{CP}), которое численно совпадает со временем воздействия или рабочим стажем. В этом случае, учитывая формулу (9), неканцерогенный риск можно определить следующим образом

$$Risk = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{a+b \times \lg(T) \times \left(\frac{C}{ПДК}\right)} e^{-\frac{t}{2}} dt}{T_{CP}}. \quad (10)$$

При характеристике неканцерогенного риска для населения время воздействия для ингаляционного воздействия и перорального поступления загрязняющих веществ с питьевой водой можно принимать по руководству [6] равным 30 годам. При определении риска возникновения заболевания при накожном воздействии и заглатывании воды водоёма необходимо корректировать время экспозиции так же по руководству [6]. Время осреднения для населения во всех случаях равно 30 годам.

4. Частные социальные показатели безопасности гальванического производства третьего уровня

Частные социальные показатели безопасности производства третьего уровня, согласно [1], можно записать в следующем виде.

1. Риск возникновения заболевания от загрязнения атмосферного воздуха для административных работников и населения близлежащих территорий:

$$CR_i^A = \frac{(Ca \times Tout \times Vout + Ch \times Tin \times Vin) \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365} \times SF_i^A,$$

(11)

$$Risk_i^A = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt}{T_{CP}^{a+b \times \lg(T) \times \left(\frac{C_{ЛМ}}{ПДК}\right)}},$$

(12)

где CR_i^A – канцерогенный риск возникновения заболевания при воздействии i -го загрязняющего вещества, поступившего из атмосферного воздуха, Ca – концентрация вещества в атмосферном воздухе, $мг/м^3$; Ch – концентрация вещества в воздухе жилища, $мг/м^3$; SF_i^A – фактор наклона при ингаляционном воздействии i -го вещества, $Risk_i^A$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при воздействии i -го загрязняющего вещества, поступившего из атмосферного воздуха.

2. Профессиональный риск возникновения заболевания от загрязнения воздуха рабочей зоны:

$$CR_i^{PЗ} = \frac{C_{PЗ} \times V_{\text{выд}} \times EF \times ED \times T_{\text{смен}}}{BW \times AT \times 365 \times 24} \times SF_i^A,$$

(13)

$$Risk_i^{PЗ} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt}{T_{CP}^{a+b \times \lg(T) \times \left(\frac{C_{PЗ}}{ПДК}\right)}},$$

(14)

где $CR_i^{PЗ}$ – профессиональный канцерогенный риск возникновения заболевания при воздействии i -го загрязняющего вещества, поступившего из воздуха рабочей зоны, $C_{PЗ}$ – концентрация i -го загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны [$мг/м^3$], рассчитанная с учётом общеобменной вентиляции ($V_{\text{общ}}$ [$м^3/ч$]), $V_{\text{выд}}$ – средний объем вдыхаемого за сутки, $м^3$ (в среднем $22 м^3$), $T_{\text{смен}}$ – период воздействия на протяжении рабочей смены, в часах, $Risk_i^{PЗ}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при воздействии i -го загрязняющего вещества, поступившего из воздуха рабочей зоны.

С учётом эффективности местной системы вентиляции концентрация вещества в воздухе рабочей зоны ($C_{PЗ}$) определяется по формуле

$$C_{PЗ} = \frac{M_{PЗ}}{V_{\text{общ}}}.$$

(15)

3. Риск возникновения заболевания от загрязнения воды для населения.

3.1. Риск при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой:

$$CR_i^{ПВ} = \delta \times \frac{C_w \times V_{Вод} \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365} \times SF_i^0, \quad (16)$$

$$Risk_i^{ПВ} = \delta \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_{\infty}^{a+b \times \lg(T) \times (\frac{C_w}{ПДК})} e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{T_{CP}},$$

(17)

где $CR_i^{ПВ}$ – канцерогенный риск возникновения заболевания при пероральном поступлении i -го химического вещества с питьевой водой, C_w – концентрация вещества в воде, мг/л, SF_i^0 – фактор канцерогенного потенциала при пероральном поступлении i -го химического вещества, $Risk_i^{ПВ}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при пероральном поступлении i -го химического вещества с питьевой водой.

3.2. Риск при поступлении при случайном заглатывании воды водоёма:

$$CR_i^{ПЛАВ} = \delta \times \frac{C_w \times IR \times EF \times ED \times ET}{BW \times AT \times 365} \times SF_i^0, \quad (18)$$

$$Risk_i^{ПЛАВ} = \delta \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_{\infty}^{a+b \times \lg(T_1) \times (\frac{C_w}{ПДК})} e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{T_{CP}}, \quad (19)$$

где $CR_i^{ПЛАВ}$ – канцерогенный риск возникновения заболевания при случайном заглатывании воды водоёма, содержащей i -го вещество, IR – скорость поступления, л/ч, $Risk_i^{ПЛАВ}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при случайном заглатывании воды водоёма, содержащей i -го вещество, T_1 – время воздействия, скорректированное с учётом не круглогодичного воздействия на человека ($T_1=1350$ дней=3,7 года).

3.3. Риск при кожной экспозиции воды открытых водоёмов

$$CR_i^{НПЛ} = \delta \times \frac{DAe \times EV \times ET \times ED \times SA}{BW \times AT \times 3600 \times 1000} \times SF_i^D, \quad (20)$$

$$Risk_i^{НПЛ} = \delta \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_{\infty}^{a+b \times \lg(T_1) \times (\frac{C_w}{RfC_d})} e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{T_{CP}}, \quad (21)$$

где $CR_i^{НПЛ}$ – канцерогенный риск возникновения заболевания при кожной экспозиции воды открытых водоёмов, содержащей i -го вещество, DAe – абсорбированная доза за событие, мг/см²*событие, SF_i^D – абсорбированная доза, $Risk_i^{НПЛ}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при кожной экспозиции воды открытых водоёмов, содержащей i -го вещество, RfC_d –

поглощённая доза при накожном воздействии, мг/л.

Поглощённая доза при накожном воздействии рассчитывается аналогично абсорбированной дозе

$$RfC_d = RfC_o \times GIABS, \quad (22)$$

где RfD_o – референтная концентрация при хроническом пероральном поступлении. Согласно руководству [6] при отсутствии референтной концентрации в качестве её эквивалента возможно применение ПДК.

3.4. Риск при накожной экспозиции питьевой воды.

$$CR_i^{НПВ} = \delta \times \frac{DAe \times EV \times EF \times ED \times SA}{BW \times AT \times 365 \times 1000} \times SF_i^D, \quad (23)$$

$$Risk_i^{НПВ} = \delta \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt}{T_{CP}^{a+b \times \lg(T) \times (\frac{C_W}{RfC_d})}}, \quad (24)$$

где $CR_i^{НПВ}$ – канцерогенный риск возникновения заболевания при накожной экспозиции питьевой воды, содержащей i -го вещество, $Risk_i^{НПВ}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при накожной экспозиции питьевой воды, содержащей i -го вещество.

4. Риск возникновения заболевания от загрязнения почвы для населения

$$CR_i^{ПОЧВА} = \frac{C_{ПОЧВА} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365} \times SF_i^A, \quad (25)$$

$$Risk_i^{ПОЧВА} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt}{T_{CP}^{a+b \times \lg(T) \times (\frac{C_{ПОЧВА}}{ПДК^A})}}, \quad (26)$$

где $CR_i^{ПОЧВА}$ – канцерогенный риск возникновения заболевания при ингаляционном воздействии i -го химического вещества, попадающего в воздух из почвы, $Risk_i^{ПОЧВА}$ – риск возникновения неканцерогенных эффектов при ингаляционном воздействии i -го химического вещества, попадающего в воздух из почвы, $ПДК^A$ – предельно допустимая концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м³.

При расчёте риска заболеваемости так же следует принимать во внимание, что одну и ту же болезнь могут вызывать различные вещества, и одно и то же вещество способно приводить к развитию различных заболеваний. Таким образом, риск можно записать следующими формулами:

$$Risk_{ij} = \sum_{i=1}^m (\gamma_i^j \times Risk_i), \quad (27)$$

$$\text{Risk}_i = \sum_{j=1}^n (\gamma_i^j \times \text{Risk}_j),$$

(28)

$$\sum_{i=1}^m \gamma_i^j = \sum_{j=1}^n \gamma_i^j = 1, \quad (29)$$

где Risk_{ij} – риск возникновения j -го заболевания при воздействии i -го вещества, Risk_i – риск возникновения всех возможных заболеваний, при воздействии на человека i -го вещества, γ_j^i – доля i -го загрязнителя в развитии j -го заболевания, m – количество веществ, вызывающих данное заболевание; n – количество заболеваний, вызываемых данным веществом.

5. Оценка показателей безопасности гальванического производства второго уровня

Частные социальные показатели безопасности производства второго уровня представляют собой стоимостную оценку риска. Согласно [5] социально-экономический (Y , руб.) ущерб может быть определён по формуле

$$Y = \alpha \times R, \quad (30)$$

где α – стоимость единицы риска, руб., R – коллективный риск, то есть риск с учётом всех подвергшихся воздействию людей.

Существуют различные методы оценки стоимости единицы риска в зависимости от результатов воздействия загрязняющих веществ на человека. Если последствиями воздействия является повышенная заболеваемость, то рассчитывают ущерб здоровью, если воздействие приводит к повышенной смертности, тогда оценивают экономический ущерб от преждевременной смерти.

При оценке ущерба от повышенной заболеваемости ($Y_{зд}$) можно воспользоваться методикой, предложенной в [3]. Согласно данной методике «стоимость заболевания» включает в себя среднюю стоимость медицинского обслуживания, среднюю стоимость социальных выплат и среднюю величину недополученного валового дохода.

Средняя стоимость медицинского обслуживания включает в себя стоимость медицинского обслуживания в стационаре (с учётом доли обслуживания в стационаре от общего числа заболевших) и стоимость медицинского обслуживания в амбулатории. Социальные выплаты представляют собой оплату дней нетрудоспособности, включая и уход за больными членами семьи.

Таким образом, социальный ущерб для населения, связанный с затратами на лечение ($Y_{мед}$) можно представить как

$$Y_{медij} = (C_{амбj} \times \gamma_{амбj} + C_{стj} \times \gamma_{стj}) \times (R_{vij} \times N_v + R_{дij} \times N_d), \quad (31)$$

где $Y_{медij}$ – социальный ущерб для населения, связанный с затратами на лечение j -го заболевания, вызванного i -м веществом, руб./год; $C_{амбj}$ – средняя стоимость медицинского

обслуживания j -го заболевания в амбулатории, руб./случай; $C_{стj}$ – средняя стоимость медицинского обслуживания j -го заболевания в стационаре, руб./случай; $\gamma_{амбj}$ – доля медицинского обслуживания в амбулатории при j -ом заболевании; $\gamma_{стj}$ – доля медицинского обслуживания в стационаре при j -ом заболевании; $R_{вij}$ – риск развития у взрослых j -го заболевания при воздействии i -го вещества; $R_{дij}$ – риск развития у детей j -го заболевания при воздействии i -го вещества; $N_{в}$ – численность взрослого населения, подвергшегося воздействию; $N_{д}$ – численность детей, подвергшихся воздействию.

Вторая составляющая социального ущерба – ущерб, связанный с социальными выплатами ($Y_{соц}$) – определяется по формуле

$$Y_{соцij} = C_{п} * (R_{вij} * N_{в} * T_{вj} + R_{дij} * N_{д} * T_{дж} * \lambda), \quad (32)$$

где $Y_{соцij}$ – ущерб, связанный с социальными выплатами по j -му заболеванию, вызванному i -м веществом, руб./год $C_{п}$ – сумма дневной выплаты пособия по временной нетрудоспособности, руб., $T_{вj}$ – средняя продолжительность выплаты пособия при j -ом заболевании по поводу временной утраты нетрудоспособности, дней; $T_{дж}$ – средняя продолжительность выплаты пособия при j -ом заболевании по уходу за больным, дней; λ – доля детей лечащихся под присмотром родителей.

Оценка ущерба от недополученного валового дохода ($Y_{вп}$) осуществляется через определение потерь в ВВП на одного человека (G [руб./день*чел.]) за продолжительность заболевания (T_3 [день]), то есть

$$Y_{впij} = G \times R_{вij} \times N_{в} \times T_3, \quad (33)$$

где $Y_{впij}$ – ущерб от недополученного валового дохода из-за j -го заболевания, вызванного i -м веществом, руб./год.

При определении социального ущерба для работающих вместо показателей риска для населения и численности населения, подвергшегося воздействию, используются показатели профессионально риска ($R_{рj}$) и численности работающих, подвергшихся воздействию ($N_{р}$) соответственно.

Оценка ущерба от повышенной заболеваемости осуществляется по каждому веществу для каждого пути поступления.

Частные социальные показатели безопасности второго уровня, согласно [4], рассчитываются отдельно для населения и работающих и могут быть представлены следующим образом

$$Y_{зд} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y_{медij} + Y_{соцij} + Y_{впij}), \quad (34)$$

$$Y_{зд}^p = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y_{медij}^p + Y_{соцij}^p + Y_{впij}^p), \quad (35)$$

где $Y_{зд}^P$ – ущерб от повышенной заболеваемости работающих, руб./год; $Y_{медij}^P$ – социальный ущерб для работающих, связанный с затратами на лечение j -го заболевания, вызванного i -м веществом, руб./год; $Y_{соцij}^P$ – ущерб, связанный с социальными выплатами работающим по j -му заболеванию, вызванному i -м веществом, руб./год; $Y_{впij}^P$ – ущерб от недополученного валового дохода из-за j -го заболевания работника, вызванного i -м веществом, руб./год, m – количество загрязняющих веществ; n – количество заболеваний.

6. Интегральный показатель безопасности гальванического производства

Интегральный показатель безопасности гальванического производства для общества ($Y_{сум}$ [руб./год]) может определяться по формуле

$$Y_{сум} = Y_{св}^B + Y_{почва}^B + Y_{ог}^A + Y_{зд}^P + Y_{зд} , \quad (36)$$

где $Y_{св}^B$ – ущерб от загрязнения водных объектов сточными водами, руб./год, $Y_{почва}^B$ – ущерб от загрязнения водных объектов захоронёнными отходами, руб./год, $Y_{ог}^A$ – ущерб от загрязнения атмосферного воздуха отходящими газами, руб./год.

Однако, в силу сложившихся в РФ системы материальной и уголовной ответственности предприятия-загрязнителя, целесообразно рассмотреть ущерб без влияния на здоровье населения, а только с учётом риска заболеваемости работающих ($Y_{сум}^{PP}$)

$$Y_{сум}^{PP} = \Pi^B + \Pi^{почва} + \Pi^A + Y_{зд}^P + Y_{зд} , \quad (37)$$

где Π^B , $\Pi^{почва}$, Π^A – плата предприятия за загрязнение соответственно водных объектов, почвы и атмосферного воздуха, рассчитанные по [17 – 20].

Данный показатель рассчитывается для предприятия с учётом объёмов производства, это находит своё отражение при определении показателей безопасности второго уровня через производительность технологической линии и фонд времени работы оборудования. Объём производства влияет на массу загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду и как следствие на показатели нанесённого ущерба.

7. Расчёт системы показателей безопасности типового гальванического производства

Произведём расчёта системы показателей безопасности гальванического производства для процесса декоративного цинкования стальных деталей, рассмотренных в [1].

Дано: 1. Применяемые растворы и электролиты: электролит декоративного цинкования, электролит электрохимического обезжиривания, раствор активирования стали, раствор осветления цинкового покрытия, раствор хроматирования цинкового покрытия. 2. Годовой объём покрытия: 30 000 м². 3. Основное оборудование: Вариант №1. Автоматизированная линия типа АГ-42; Вариант №2. Линия из стационарных ванн ручного обслуживания; 4. Местные отсосы: Вариант №1. Двубортовой отсос (коэффициент эффективности $\epsilon=75\%$); Вариант №2. Отсос с передувом ($\epsilon=85\%$); Вариант №3. Активированный отсос ($\epsilon=90\%$). 5. Приоритетные направления ветра: юго-западное направление (50%) и северо-западное направление (30%). 6.

На расстоянии 60 м в юго-западном направлении расположены жилой дом с численностью жителей 50 человек (из них 9 детей, в расчёте принимается, что неработающие пенсионеры отсутствуют), по северо-западному направлению находится административное здание с численностью работающих 50 человек. 7. Рабочие места в производственном цехе: у пульта управления (2 человека, продолжительность нахождения в рабочей зоне 8 часов) и монтаж деталей на подвески (2 человека, продолжительность нахождения в рабочей зоне 70% времени рабочей смены). Режим работы двухсменный. 8. Численность населения, подвергающего воздействию загрязняющих веществ, поступивших со сточными водами: взрослые – 8230 человек, дети – 1770 человек. 9. Место расположения предприятия: г. Москва.

Результаты расчёта.

1. Перечень заболеваний, вызываемых загрязняющими веществами, рассматриваемого гальванического производства [6, 9], приведён в таблице 2.
2. Интегральный показатель безопасности гальванического производства для общества приведён в таблице 3, рассчитанный на основе данных [3, 6, 10 – 20]
3. Полные результаты расчётов представлены на рисунках 1 – 7.

Таблица 2

Заболевания, вызванные загрязняющими веществами

Вещество	Путь поступления		
	пероральный	ингаляционный	накожный
Соли цинка	1) эрозия слизистой желудка		1) контактный дерматит
Кислоты	1) эрозия слизистой желудка	1) катаракта, конъюнктивит 2) бронхит, трахеит	1) контактный дерматит
Щёлочи	1) эрозия слизистой желудка		1) контактный дерматит
Соединения хрома	1) эрозия слизистой желудка 2) опухоли полости рта	1) бронхит, трахеит 2) опухоли органов дыхания	

Таблица 3

Социально-экономический ущерб
(интегральный показатель первого уровня)

Ущерб	эффективность местной вентиляции					
	75%		85%		90%	
	№1	№2	№1	№2	№1	№2
Ущерб водным объектам, руб/год	1519368,56	1365596,8	1519368,56	1365596,8	1519368,56	1365596,8
Ущерб атмосферному воздуху, руб/год	5657,33	8745,51	5657,33	8745,51	5657,33	8745,51
Ущерб почве, руб/год	257,04	270,87	257,04	270,87	257,04	270,87
Плата за выбросы в воздух, руб/год	2177,57	3363,29	2218,02	3421,16	2218,02	3421,16
Плата за сброс в воду, руб/год	535693,02	447519,36	535693,02	447519,36	535693,02	447519,36
Плата за размещение отходов, руб/год	10924,39	10786,23	10924,39	10786,23	10924,39	10786,23

Ущерб от повышенной заболеваемости работников, руб/год	5114167,84	5957427,08	5398412,54	7743496,62	5398412,54	7743496,62
Ущерб от повышенной профессиональной заболеваемости, руб/год	192866,09	211154,42	24650,78	27222,32	13960,71	15548,45

Продолжение таблицы 3.
Социально-экономический ущерб(интегральный показатель первого уровня)

Ущерб от повышенной заболеваемости населения при поступлении загрязняющих веществ с водой, руб/год	158339,13	161710,96	158339,13	161710,96	158339,13	161710,96
Ущерб от повышенной заболеваемости населения при игаляционном воздействии загрязняющих веществ руб/год	7165715,66	8342125,51	7552297,84	10818880,7	7552297,84	10818880,7
Ущерб окружающей среде, руб/год	1525282,93	1374613,18	1525282,93	1374613,18	1525282,93	1374613,18
Плата, руб/год	548794,98	461668,88	548835,43	461726,75	548835,43	461726,75
Интегральный показатель (ущерб) для предприятия, руб/год	5855828,91	6630250,38	5971898,75	8232445,69	5961208,68	8220771,82
Интегральный показатель (ущерб) для общества, руб/год	14156371,7	16047031,2	14658983,2	20125923,7	14648293,2	20114249,9

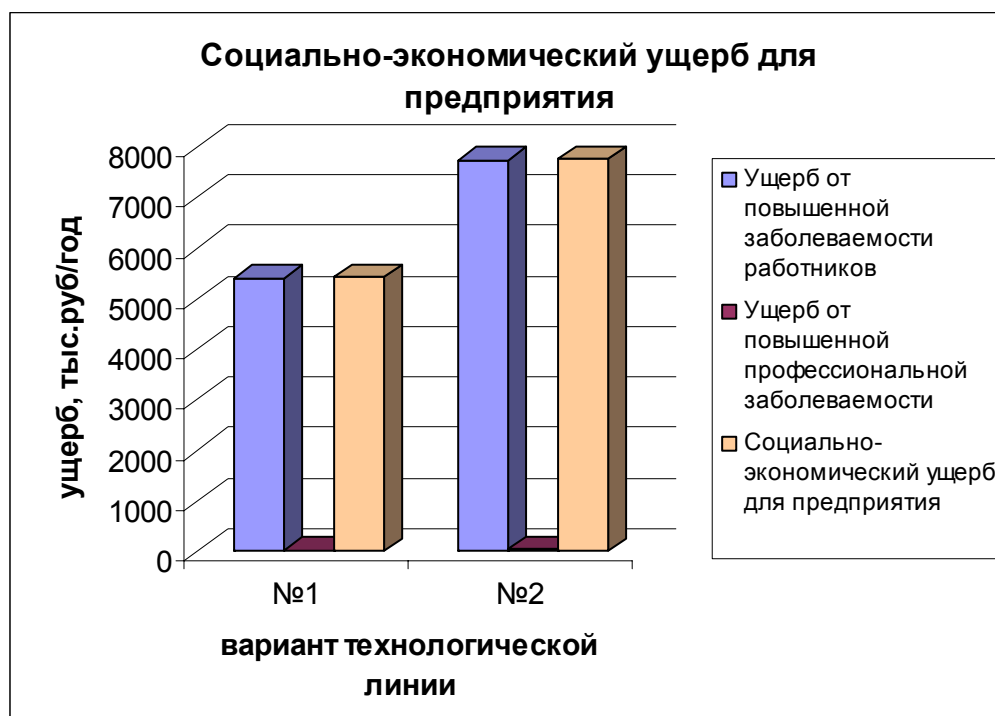


Рис. 1. Социально-экономический ущерб для предприятия

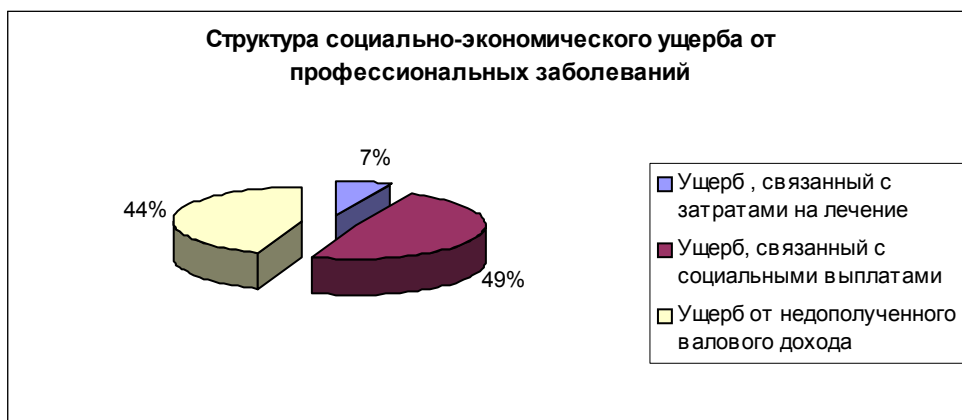


Рис. 2. Структура профессионального социально-экономического ущерба для предприятия

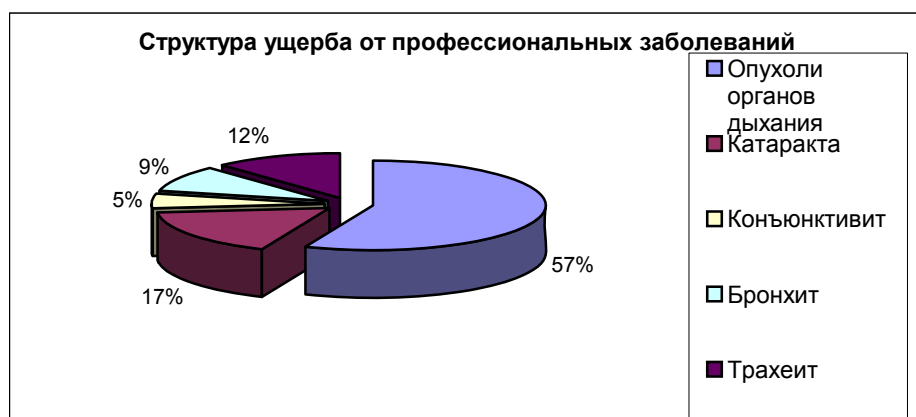


Рис.3. Структура социального ущерба от профессиональных заболеваний

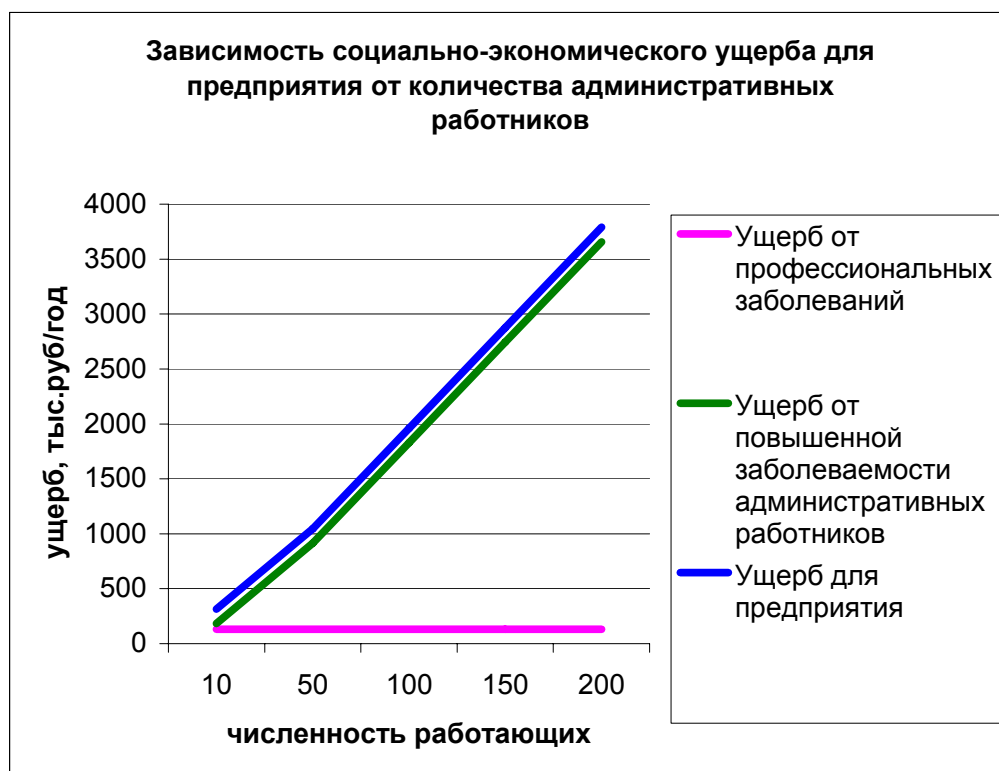


Рис. 4. Зависимость социального ущерба от количества административных работников

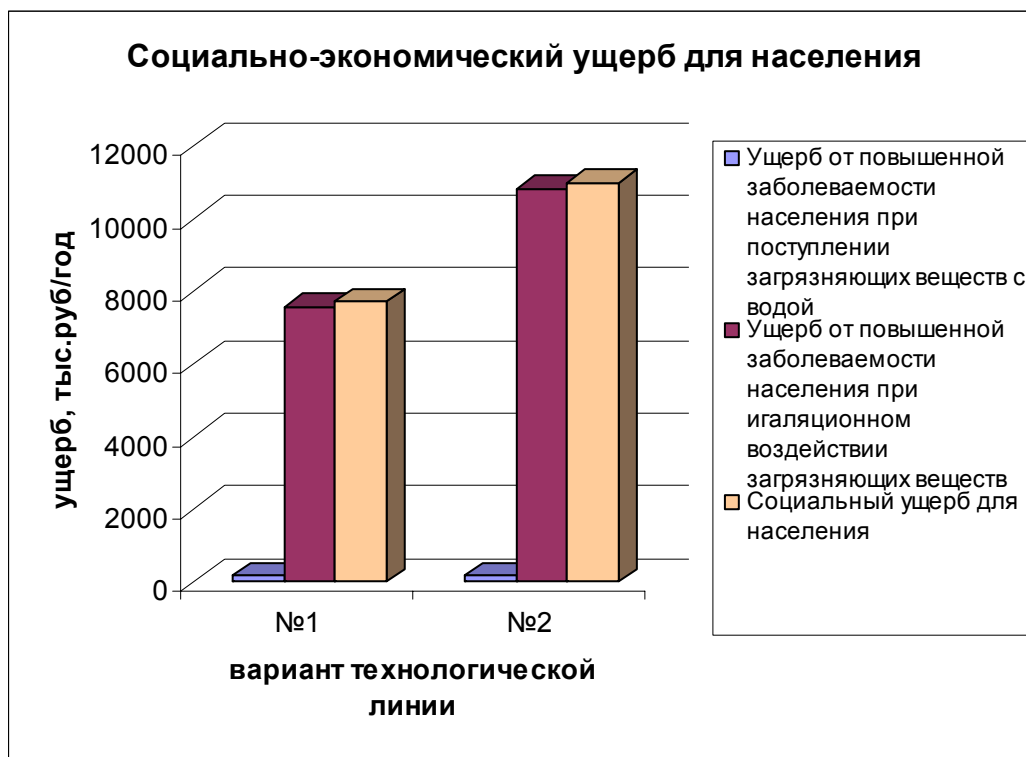


Рис. 5. Социально-экономический ущерб для населения

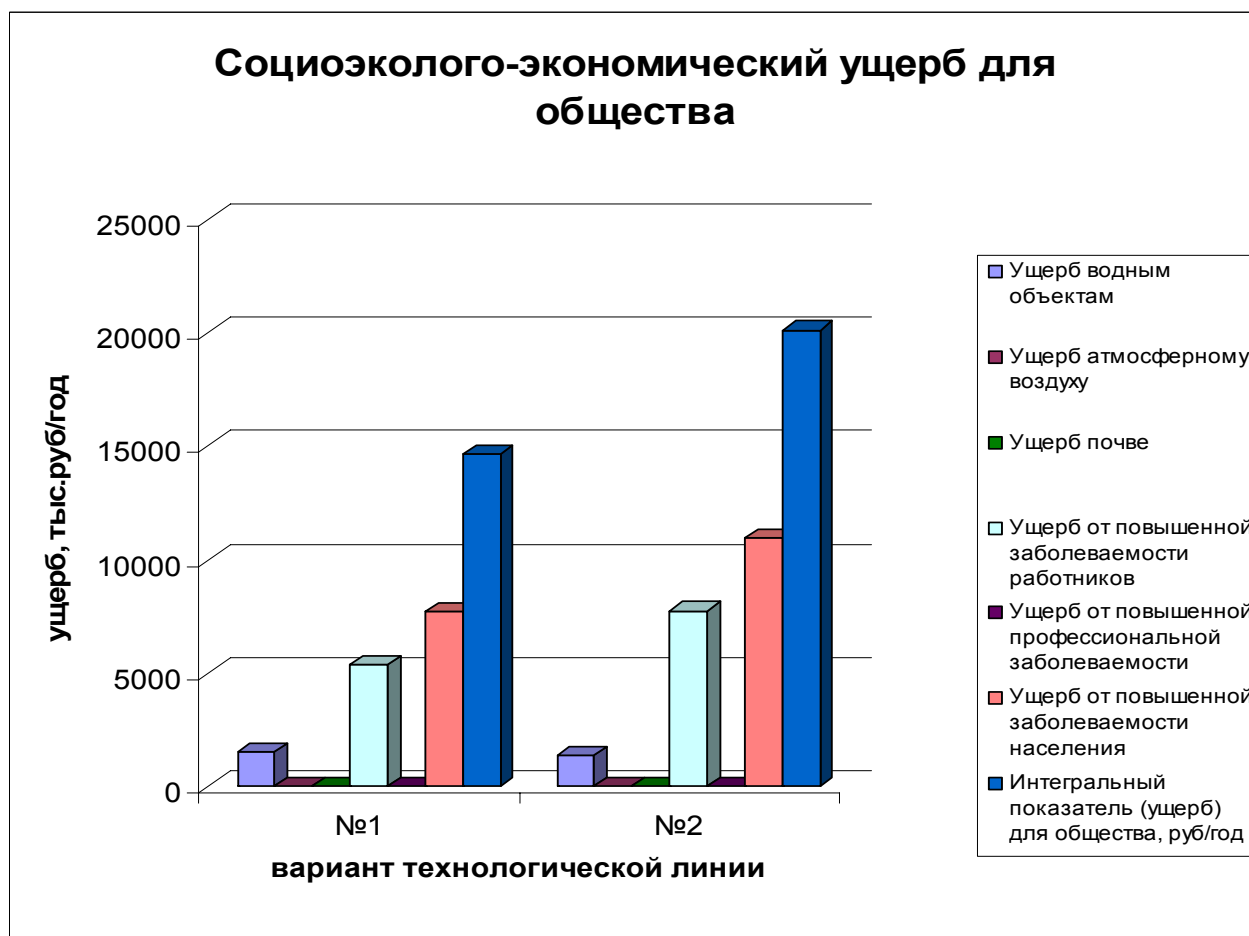


Рис. 6. Интегральный показатель социозэколого-экономического ущерба

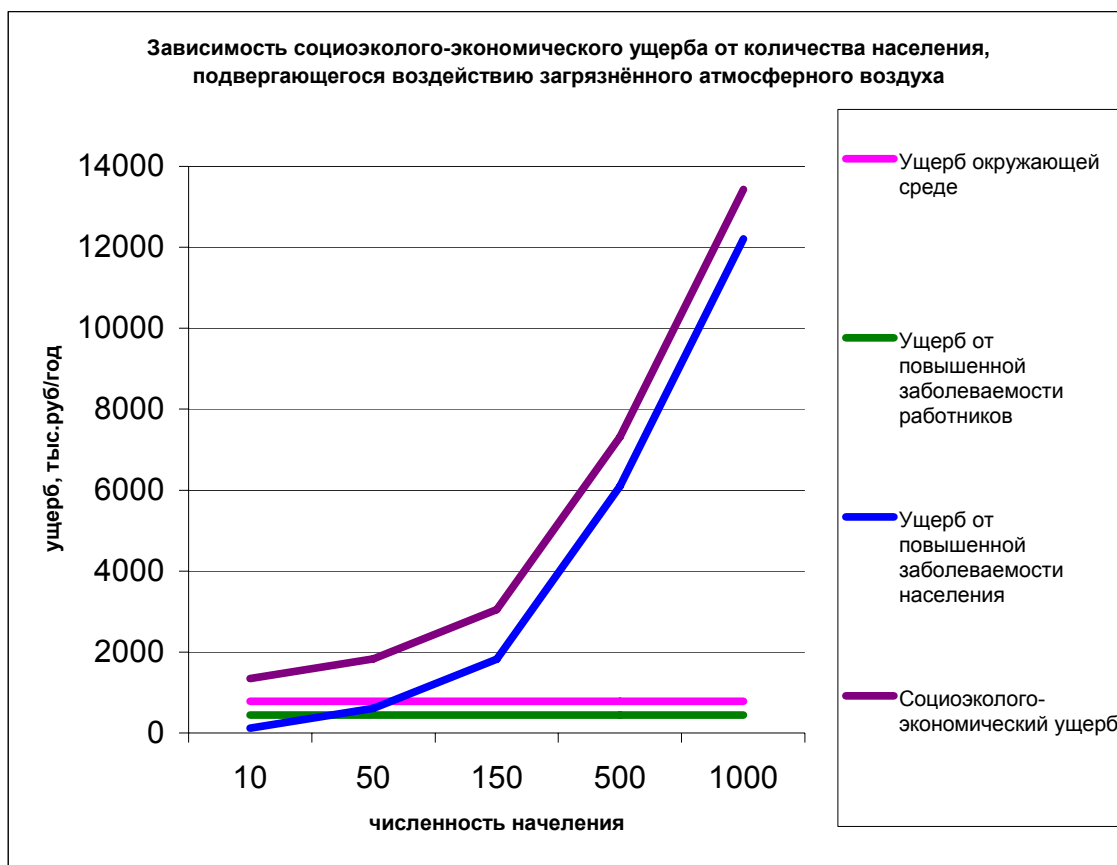


Рис. 7. Зависимость интегрального показателя социоэколого-экономического ущерба от количества людей, подвергающихся воздействию загрязнённого атмосферного воздуха.

8. Выводы

Расчёт интегрального социоэколого-экономического показателя безопасности гальванического производства на примере линий декоративного цинкования стальных деталей показал, что:

1. Социально-экономический ущерб за счёт ингаляционного воздействия даёт существенный вклад в интегральный показатель безопасности по причине содержания в применяемых материалах канцерогенного хрома. Риск возникновения онкологических заболеваний населения является значимым даже при содержании соединений хрома в атмосферном воздухе с концентрациями, меньшими ПДК в 2500 раз. Увеличение количества людей, подвергшихся воздействию, на 100 человек даёт прирост социально-экономического ущерба на 49%.
2. Социально-экономический ущерб от профессиональных заболеваний в цехе может быть снижен за счёт применения более эффективных местных отсосов. При увеличении эффективности местной вентиляции с 75% до 90% социально-экономический ущерб от повышенной профессиональной заболеваемости уменьшается на 66%.

3. Социально-экономический ущерб от заболеваемости работников предприятия, подвергающихся воздействию загрязняющих веществ, может быть снижен на 95% за счёт применения системы очистки отходящих газов гальванического производства с эффективностью очистки по хрому равной 96%.
4. Основным путём воздействия гальванического производства на население в крупном промышленном городе с централизованной системой очистки сточных вод является загрязнение атмосферного воздуха. Социально-экономический ущерб от заболеваемости может быть снижен на 5,9 млн. рублей или на 95,9% за счёт применения системы очистки отходящих газов с эффективностью очистки по хрому равной 96%.
5. Для процессов хромирования, никелирования, кадмирования ситуация ещё больше усугубляется за счёт содержания канцерогенных веществ в больших количествах, и как следствие социально-экономический ущерб возрастёт.
6. Разработанная иерархическая система показателей безопасности позволяет связать социальные, экологические, экономические и технологические аспекты гальванического производства, учесть различные пути воздействия вредных веществ на человека, эффективность систем очистки сточных вод и отходящих газов, эффективность захоронения отходов, объём производства и характеристики применяемого оборудования. А также даёт возможность выбрать рациональные (экономически эффективные) пути повышения безопасности гальванического производства.

Библиографический список

1. Вострикова С.М. Разработка иерархической системы показателей безопасности гальванического производства// Вестник МАИ 2008, т.15, №6, с.161 – 168.
2. Приказ Минздравмедпрома РФ от 14.03.1996 N 90 (ред. от 06.02.2001) "О порядке проведения предварительных и периодических медицинских осмотров работников и медицинских регламентах допуска к профессии" (по материалам сайта <http://nalog.consultant.ru/doc30618>).
3. Доклад Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации «О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2007 году» – М.:2008, 98 – с.
4. Б.А. Ревич, В.Н. Сидоренко. Методика оценки экономического ущерба здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха. Пособие по региональной экологической политике. – М.: Акрополь, ЦЭПР, 2006, 42 – с.

5. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86, – Л.: Гидрометеиздат, 1987, 68 – с.
6. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Соавт. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Шашина Т. А., Иванов С.И. – М.: Стандартинформ, 2004, 116- с.
7. Мельцер А.В. Оценка риска воздействия производственных факторов на здоровье работающих: диссертация ... доктора медицинских наук. – СПб., 2008, 230 – с.
8. Быков А.А., Фалеев М.И. «К проблеме оценки социально-экономического ущерба с использованием показателя цены риска» // «Проблемы анализа риска», Том 2, № 2, 2005, с. 114 – 131.
9. Приказ Минздравмедпрома РФ от 14.03.96 N 90 «О порядке проведения предварительных и периодических медицинских осмотров работников и медицинских регламентах допуска к профессии» (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://www.consultant.ru/>)
10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году» (материалы сайта Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации <http://www.mnr.gov.ru/>)
11. U.S. EPA 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final. OSWER 9285.7-02EP.July 2004 (по материалам сайта <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/rage/index.htm>)
12. «Росстат: Максимальный среднедушевой доход в I квартале 2008 г. зарегистрирован в Ненецком АО»/ Информационное агентство Regnum (<http://www.regnum.ru/news/1015623.html>)
13. Федеральный закон « Об обеспечении пособиями по временной нетрудоспособности, по беременности и родам граждан, подлежащих обязательному социальному страхованию» от 27.12.2006 №255-ФЗ (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://www.consultant.ru/>)
14. Генеральное тарифное соглашение «По реализации Московской областной программы ОМС» от 30.09.2008 (по материалам официального сайта МОФОМС <http://www.mofoms.ru/internet/default.asp>)
15. Генеральное тарифное соглашение «О стоимости и порядке оплаты медицинских услуг, предоставляемых по Территориальной программе обязательного медицинского страхования Пензенской области в 2006 году» от 16.01.2006 (по материалам официального сайта ТФОМС <http://www.omspenza.ru/>)

16. Методические рекомендации МЗ РФ и ФСС РФ от 21.08.2000 №2510/9362-34 «Ориентировочные сроки временной нетрудоспособности при наиболее распространённых заболеваниях и травмах» (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://www.consultant.ru/>)
17. «Методические рекомендации по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду в части выбросов в атмосферный воздух РД-19-02-2007». Утверждены Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 сентября 2007 г. N 626 (по материалам сайта <http://bk-cons.ru/metodik>).
18. Постановление от 28 августа 1992 г. N 632 «Об утверждении порядка определения платы и её предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://www.consultant.ru/online/base/?req=doc;base=LAW;n=32118>).
19. «Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды». Утверждены Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации 26 января 1993 года (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://www.consultant.ru/online/base/?req=doc;base=LAW;n=25895>).
20. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. №344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (по материалам справочной правовой системы «КонсультантПлюс» <http://nalog.consultant.ru/doc54358.html>)

Сведения об авторе

Вострикова Светлана Михайловна, Московский авиационный институт (государственный технический университет), ассистент кафедры 503 «Безопасность жизнедеятельности», Инженерно-экономический институт МАИ.

8-916-455-31-21, skazkastranstvij@mail.ru