

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОХРАНЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л. А. Широков, А. Е. Рабинович, С. В. Суворов



ШИРОКОВ
Лев
Алексеевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные технологии и системы в экономике и управлении» МГИУ. Академик Международной академии информатизации, член-корреспондент Российской академии естественных наук. Изобретатель СССР, специалист в области оптимального управления, САПР, информационных технологий. Автор более 130 научных статей, включая изобретения и монографии, более 20 учебных пособий, включая два учебника.

Введение

Научно-технический прогресс, обеспечивающий развитие многих сторон жизни и деятельности людей, в тоже время оказывает различные неблагоприятные воздействия на окружающую среду. В связи с этим нарушается природное равновесие, сложившееся на глобальном уровне, что инициирует в свою очередь процессы, ухудшающие привычные условия суще-



РАБИНОВИЧ
Александр
Евгеньевич

Старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и системы в экономике и управлении» МГИУ. Специалист в области информационных технологий. Автор 7 научных и 8 учебно-методических работ.



СУВОРОВ
Станислав
Вадимович

Кандидат экономических наук, доцент. Заведующий кафедрой «Информационные технологии и системы в экономике и управлении» МГИУ. Специалист в области моделирования динамических процессов, информационных технологий. Автор более 20 научных статей, монографии, 3 учебников и 2 учебных пособий.

ствования людей, животного и растительного мира. Значительную долю в этот негативный процесс вносят промышленные, в том числе машиностроительные предприятия. Основными объектами загрязнений от их производственной деятельности являются: атмосфера, водные ресурсы, почва. При этом характер производств, сосредоточенных в крупных городах, таков, что весьма ощутима нагрузка от их деятельности именно на атмосферу, которая выражается в крупнейших глобальных экологических проблемах современности – «парниковый эффект», нарушение озонового слоя, выпадение кислотных дождей. Кроме того, загрязняющие атмосферу вещества постоянно воздействуют на население, проживающее в промышленном районе, так как за сутки человек вдыхает до 20 тысяч литров воздуха, и даже при малой концентрации вредных веществ, в организм попадает значительное их количество. Также токсичные вещества, поступающие в организм через дыхательные пути, нередко действуют в 80–100 раз сильнее, чем при проникновении через желудочно-кишечный тракт. К тому же, человек может отказаться принимать в пищу продукты сомнительного качества и не пить загрязненную воду, но не дышать воздухом, живя в загрязненном районе, он все равно не сможет. Поэтому вопросы использования современного высокоэффективного атмосфероохранного оборудования очень актуальны.

В настоящее время рынок атмосфероохранной техники насыщен различного рода средствами газоочистки, позволяющими решать задачи охраны воздушной среды (ВС). В России и за рубежом существует немало предприятий, занимающихся выпуском подобной продукции, которая постоянно совершенствуется и пополняется новыми изобретениями. Однако при охране воздушной среды весьма важной является задача оптимизации инвестиций в природоохранные мероприятия. Это требует создания методики оптимального формирования систем очистки воздушной среды от загрязнений и разработки информационной системы по различным видам очистного оборудования, фирмам-производителям, дилерам, ценам и т.п.

Для решения задачи требуется построение соответствующей экономико-математической модели и последующая реализация компьютерной системы, позволяющей рассчитать комплектацию очистного оборудования при условии обеспечения наименьших атмосфероохранных

инвестиций как интегральной суммы затрат на атмосфероохранные мероприятия, с одной стороны, и штрафных платежей в бюджет за загрязнение, при условии уменьшения вредных выбросов, с другой стороны.

Формирование выбросов машиностроительного производства в воздушную среду и технологии ее очистки

Для экономико-математического моделирования и последующей оптимизации атмосфероохранных инвестиций машиностроительного предприятия, при условии обеспечения экологической безопасности, необходимо рассмотреть процессы образования издержек, связанных с охраной воздушной среды. С этой целью рассмотрим схему образования газообразных отходов на МПС [1] и систему ее вытяжной вентиляции (рис. 1). Элементы, входящие в состав вентиляционной системы, обозначены позициями 5 – 9.

Характер и меру воздействия машиностроительного предприятия на воздушную среду определяет ряд факторов: 1) применяемый в производстве технологический процесс; 2) используемые системы контроля и очистки удаляемых выбросов, 3) качественный и количественный состав выбросов, 4) технология утилизации отходов.

На рисунке 2 приведены четыре варианта технологических схем очистки. Они состоят из пылегазоочистного аппарата или системы аппаратов и вытяжного устройства, посредством которого очищенный воздух, содержащий загрязняющие вещества (ЗВ), выбрасывается в атмосферу.

Существуют различные методики определения выделений ЗВ за год от источника выделения до очистки в пылегазоочистном аппарате, основанные, например, на следующих факторах:

- характеристика производственного оборудования;
- удельные выделения ЗВ на единицу массы (длины, площади, объема) расходуемого материала;
- тип производства;
- типы совершаемых операций.

Определим эффективность систем газоочистки η как:

$$\eta = \frac{V^0 - V}{V^0} = 1 - \frac{V}{V^0}, \quad (1)$$

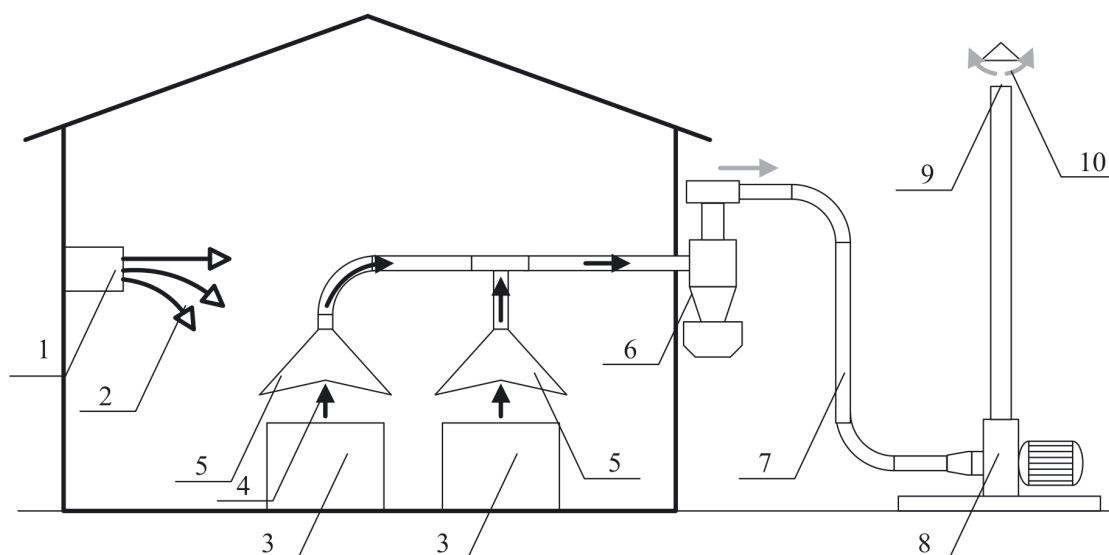


Рис. 1. Обобщенная схема образования отходов на МСП: 1 - воздухораспределитель системы приточной вентиляции; 2 - приточный воздух; 3 - производственное оборудование (источник выделения газообразных загрязняющих веществ); 4 - выбросы до очистки (В); 5 - местное вытяжное устройство; 6 - пылегазоочистной аппарат; 7 - газоход; 8 - вентиляционный агрегат; 9 - выпуск пылегазовоздушной смеси (источник загрязнения атмосферы); 10 - выбросы после очистки (В)

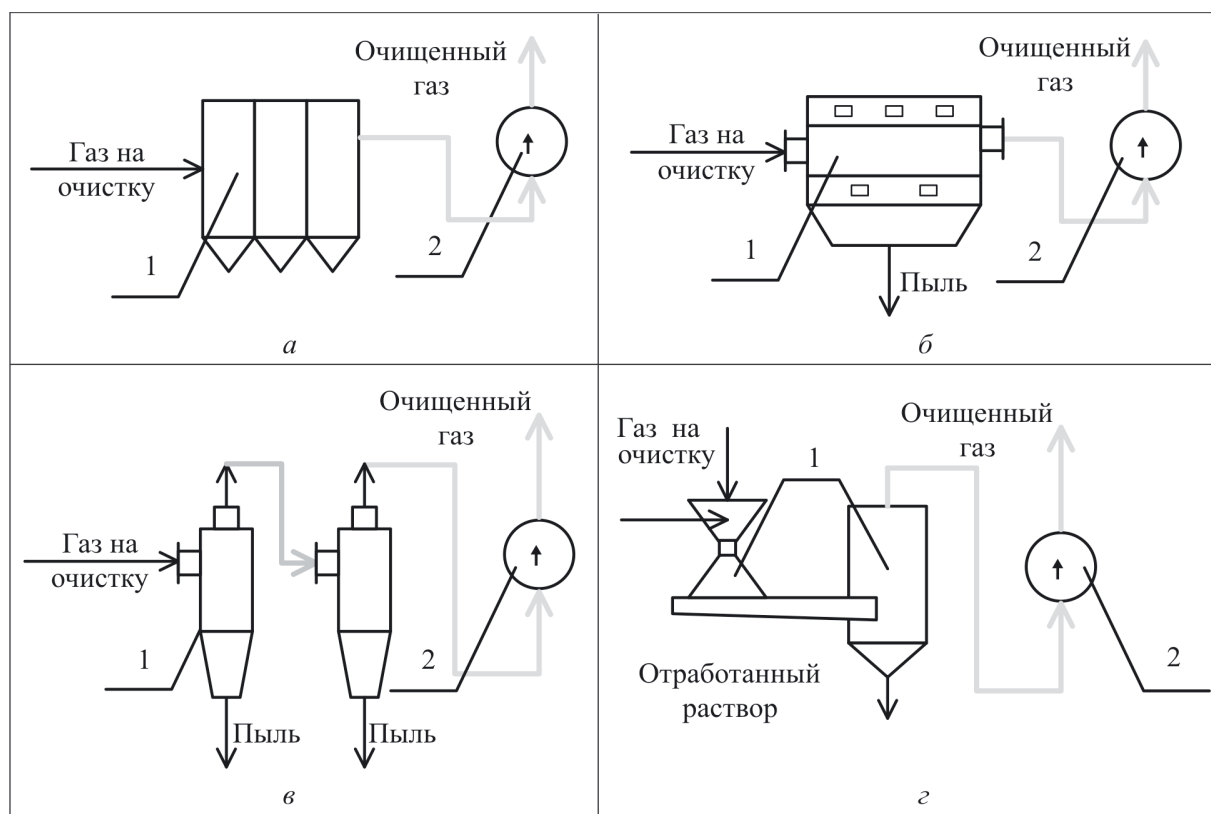


Рис. 2. Варианты технологических схем очистки ВС:

1 - пылегазоочистной аппарат или система аппаратов; 2 - вытяжное устройство;
а - одноступенчатая очистка газов от пыли с применением электрофильтров, сухой метод очистки со степенью очистки до 99%; б - одноступенчатая очистка газов от пыли с применением рукавных фильтров; сухой метод очистки, степень очистки до 99%; в - двухступенчатая очистка газов от пыли с применением циклонов, сухой метод очистки со степенью очистки до 95%; г - очистка газов от пыли в одну ступень с применением скрубберов Вентури, мокрый метод очистки со степенью очистки до 98%

где V^0 – объем выбросов в атмосферу до очистки; V – объем выбросов в атмосферу после очистки.

Для оценки эффективности процесса очистки также используется параметр проницаемости частиц $K_{пр}$ [2] через очистное оборудование, равный отношению концентрации частиц после очистки к концентрации частиц до очистки. Через годовые выбросы этот показатель можно выразить следующим образом:

$$K_{пр} = 1 - \eta = \frac{V}{V^0}. \quad (2)$$

Очевидно, что добиться необходимой эффективности очистки можно различными способами и, соответственно, с различными инвестициями, которые могут идти как на обезвреживание выбросов, так и на выплаты за то количество загрязняющих веществ, которое не было обезврежено.

Математическая модель для оптимизации экологических затрат

Для решения задачи оптимизации при формировании аппаратных комплексов по очистке выбросов машиностроительного предприятия рассмотрим каждую составляющую экологических затрат (ЭЗ) предприятия $S_{ЭЗ,l}$ ($l = 1, 9$), представленных на схеме рис. 3.

Составляющие экологических затрат описываются следующими соотношениями.

Затраты на природоохранную технику и технологии

$$S_{ЭЗ,1} = K_{S_{11}} \cdot S_{ОФ} \cdot \eta^{K_{S_{12}}}, \quad (3)$$

где $K_{S_{11}}$ и $K_{S_{12}}$ – коэффициенты, зависящие от видов производств [3]; η – эффективность (степень) очистки, определяемая по формуле (1); $S_{ОФ}$ – общая стоимость основных фондов производства, складывающаяся из суммы составляющих фондов:



Рис. 3. Схема образования экологических затрат

$$S_{\text{ОФ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ОФ}}} S_{\text{ОФ}_i}, \quad (4)$$

где $S_{\text{ОФ}_i}$ – стоимость i -го вида основного фонда предприятия.

Затраты на экологическую регламентацию

$$S_{\text{ЭЗ,2}} = Z_{\text{ЭП}} + Z_{\text{МПП}} + Z_{\text{ЭМ}} + Z_{\text{НЗВ}} + Z_{\text{ЭАП}} + Z_{\text{ЭЭ}}, \quad (5)$$

где $Z_{\text{ЭП}}$ – затраты на экологический прогноз для планирования предельных технологических параметров формируемой комплектации атмосфероохранного оборудования; $Z_{\text{МПП}}$ – затраты на моделирование природных процессов; $Z_{\text{ЭМ}}$ – затраты на экологический мониторинг; $Z_{\text{НЗВ}}$ – затраты на нормирование загрязняющих веществ в окружающей среде; $Z_{\text{ЭАП}}$ – затраты на экологическую аттестацию и паспортизацию; $Z_{\text{ЭЭ}}$ – затраты на экологическую экспертизу.

Затраты на экологическое образование

$$S_{\text{ЭЗ,3}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{Об}}} Z_{\text{Об}_i} + \sum_{j=1}^{N_{\text{ПК}}} Z_{\text{ПК}_j}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{Об}_i}$ – затраты на i -ю программу обучения персонала; $N_{\text{Об}}$ – количество программ обучения; $Z_{\text{ПК}_j}$ – затраты на j -ю программу повышения квалификации; $N_{\text{ПК}}$ – количество программ повышения квалификации.

Затраты на управленческую инфраструктуру

$$S_{\text{ЭЗ,4}} = Z_{\text{ЭП}} + Z_{\text{ОТ}} + Z_{\text{АП}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{ЭП}}$ – затраты на заработную плату сотрудникам природоохранного подразделения; $Z_{\text{ОТ}}$ – затраты на оргтехнику; $Z_{\text{АП}}$ – затраты на содержание административных помещений.

Затраты на экологическое страхование

$$S_{\text{ЭЗ,5}} = Z_{\text{Эсд}} + Z_{\text{Эсг}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{Эсд}}$ – затраты на добровольную форму экологического страхования в год; $Z_{\text{Эсг}}$ – затраты на обязательную форму экологического страхования в год.

Платежи за выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду

$$S_{\text{ЭЗ,6}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ЗВ}}} S_i^{\text{ПЛ}}(V_i), \quad (9)$$

где $S_i^{\text{ПЛ}}$ – платежи за загрязнение воздушной среды i -м загрязнителем; $N_{\text{ЗВ}}$ – количество ЗВ, разрешенных к выбросам на предприятии.

Исходя из природоохранной законодательной практики [4] значение платежа $S_i^{\text{ПЛ}}$ определяется по трехступенчатой формуле

$$S_i^{\text{ПЛ}}(V_i) = \begin{cases} V_i \cdot S_i^{\text{Н}}, & 0 \leq V_i \leq V_i^{\text{ПДВ}}, \\ V_i^{\text{ПДВ}} \cdot S_i^{\text{Н}} + 5 \cdot S_i^{\text{Н}} \cdot (V_i - V_i^{\text{ПДВ}}), & V_i^{\text{ПДВ}} < V_i \leq V_i^{\text{ВСВ}}, \\ V_i^{\text{ПДВ}} \cdot S_i^{\text{Н}} + 5 \cdot S_i^{\text{Н}} \cdot (V_i^{\text{ВСВ}} - V_i^{\text{ПДВ}}) + 25 \cdot S_i^{\text{Н}} \cdot (V_i - V_i^{\text{ВСВ}}), & V_i^{\text{ВСВ}} < V_i \leq 1. \end{cases} \quad (10)$$

где $V_i^{\text{ПДВ}}$ – значение предельно-допустимого выброса (ПДВ), установленного для предприятия по каждому i -му ЗВ; $S_i^{\text{Н}}$ – норматив выплаты за каждую тонну i -го ЗВ, выброшенную в пределах $V_i^{\text{ПДВ}}$; $V_i^{\text{ВСВ}}$ – установленный временно согласованный выброс (ВСВ) для i -го ЗВ.

ВСВ устанавливается для предприятия в тех случаях, когда нельзя уложиться в заданные нормативы $V_i^{\text{ПДВ}}$, но при этом остановка производства невозможна по экономико-социальным причинам. Тогда предприятию разрешается [4] производить выбросы свыше $V_i^{\text{ПДВ}}$ в течение строго определенного периода, достаточного для проведения необходимых природоохранных мероприятий. При этом каждая тонна i -го ЗВ, выброшенная сверх $V_i^{\text{ПДВ}}$, оплачивается в пятикратном размере, а каждая тонна сверх $V_i^{\text{ВСВ}}$ – в двадцатипятикратном.

Затраты на ликвидацию последствий аварий

$$S_{\text{ЭЗ,7}} = Z_{\text{ЛИКВ}}(V_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ВНТ}}), \quad (11)$$

где $Z_{\text{ЛИКВ}}$ – затраты на ликвидацию последствий, определяемые объемами внутренних последствий $V_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ВНТ}}$.

Для оценки внутренних последствий возьмем объемы выбросов (V_i), которые возникают в аварийных ситуациях, а также материальный ущерб $Z_{\text{МУП}}$, нанесенный производству в целом в результате аварии. Тогда формулу (11) можно представить следующим образом:

$$S_{\text{ЭЗ,7}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ЗВ}}} Z_{\text{ПОСЛ}_i}(V_i) + Z_{\text{МУП}}, \quad (12)$$

где $Z_{\text{ПОСЛ}_i}(V_i)$ – затраты на ликвидацию последствий аварий на предприятии в зависимости от объемов выбросов (V_i); $Z_{\text{МУП}}$ – материальный ущерб, нанесенный производству.

Затраты на восстановление природных комплексов вне предприятия

$$S_{\text{ЭЗ,8}} = Z_{\text{ВОССТ}}(V_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ВНП}}) = Z_{\Sigma \text{ ВОССТ}}(V_i), \quad (13)$$

где $Z_{\text{ВОССТ}}$ – затраты на восстановление, зависящие от объема внешних последствий $V_{\text{ПОСЛ}}^{\text{ВНП}}$, определяемых выбросами (V_i); $Z_{\Sigma \text{ ВОССТ}}(V_i)$ – суммарные затраты на восстановление природных комплексов вне предприятия.

Затраты на возмещение экологического ущерба населению

$$S_{\text{ЭЗ,9}} = Z_{\text{НАС}}(V_{\text{ПОСЛ}}) = Z_{\Sigma \text{ ВОССТ}}(V_i) + Z_{\text{МУ НАС}}, \quad (14)$$

где $Z_{\text{нас}}$ – затраты на возмещение экологического ущерба населению, зависящие от объема последствий для населения $V_{\text{посл}}^{\text{нас}}$, и, как следствие, от объемов выбросов (V_i); $Z_{\text{МУ нас}}$ – материальный ущерб населению.

Объем последствий для населения $V_{\text{посл}}^{\text{нас}}$ определяется изменением показателей качества жизни людей, которые выражаются в характерных натуральных величинах. Например, в случае массового отравления токсичными газами, нарушается деятельность дыхательной системы человека. На реабилитацию требуются адекватные медицинские средства.

Составляющие экологических затрат $S_{\text{ЭЗ},2}$ и $S_{\text{ЭЗ},5}$ можно принять фиксированными в рамках неизменных условий функционирования предприятия и независимыми непосредственно от стоимости прямых природоохранных мероприятий $S_{\text{ЭЗ},1}$.

Составляющие $S_{\text{ЭЗ},3}$ и $S_{\text{ЭЗ},4}$ зависят от сложности эксплуатации и обслуживания используемого оборудования, однако вклад этих составляющих не оказывает существенного влияния на характер зависимости природоохранных инвестиций от объема выбросов. Составляющие $S_{\text{ЭЗ},7} - S_{\text{ЭЗ},9}$ зависят от множества факторов и связаны с ущербом, наносимым природе и обществу при аварийных ситуациях.

Оптимизация объемов инвестиций на формирование аппаратных комплексов охраны воздушной среды

Будем рассматривать нормальный (безаварийный) режим работы машиностроительного предприятия, при котором все негативные воздействия производства на воздушную среду компенсируются платежами за загрязнение ($S_{\text{ЭЗ},6}$).

Для приведения зависимостей платежей за загрязнение атмосферы (9) и затрат на очистное оборудование (3) к относительным единицам, т.е. к общей стоимости основных фондов $S_{\text{ОФ}}$, запишем

$$R_1 = \frac{S_{\text{ЭЗ},6}}{S_{\text{ОФ}}}, \quad (15)$$

$$R_2 = \frac{S_{\text{ЭЗ},1}}{S_{\text{ОФ}}}. \quad (16)$$

Тогда с учетом формул (2), (3) и (16) отношение R_2 можно записать как:

$$R_2 = K_{S_{11}} * (1 - K_{\text{пр}})^{K_{S_{12}}}. \quad (17)$$

В общем случае, коэффициенты $K_{S_{11}}$ и $K_{S_{12}}$ в выражении (17) определяются спецификой производства, характеристиками оборудования, технологическими режимами. В соответствии с этим одну и ту же эффективность очистки можно получить, используя различное по своим технико-экономическим характеристикам оборудование, т.е. при разных инвестициях. Так, на рис. 4 изображены зависимости показателя относительных затрат R_2 от проницаемости $K_{\text{пр}}$ (2) для разных типов оборудования.

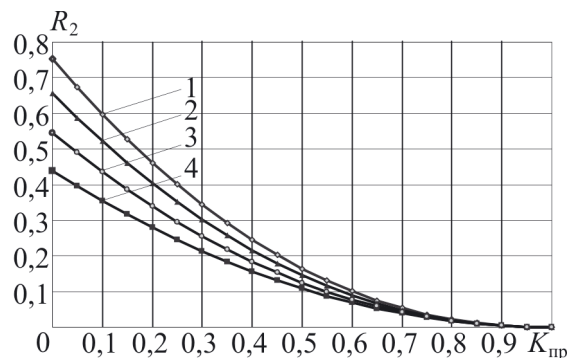


Рис. 4. Зависимость между отношением R_2 и проницаемостью $K_{\text{пр}}$ для различных видов очистного оборудования:

1 – электрофилтры; 2 – рукавные филтры; 3 – скрубберы; 4 – циклоны

Рассмотренные формулы эффективности очистки (1) и (2), затрат на воздухоохранное оборудование (3) и (17) и платежей за загрязнение атмосферы (10) и (15) позволяют выделить экстремум, соответствующий оптимальной стратегии инвестирования в охрану воздушной среды. С этой целью на рис. 5 даны графики зависимостей относительных платежей за загрязнение R_1 (кривая 1) и показателей относительных затрат R_2 на очистное оборудование двух различных видов – для рукавных филтров (кривая 2.1) и циклонов (кривая 2.2) от проницаемости $K_{\text{пр}}$ (формула (2)). Учитывая на основе (10) кусочно-линейный характер зависимости R_1 , отметим, что на оси $K_{\text{пр}}$ точка $t_{\text{пдв}}$ соответствует значению $V^{\text{пдв}}/V^0$, а точка $t_{\text{всв}}$ – значению $V^{\text{всв}}/V^0$.

На основе кривых 1, 2.1 и 2.2. построим на рис. 5 график зависимости суммы R_2 от проницаемости $K_{\text{пр}}$ в виде интегральных кривых 3.1 и 3.2.

Становится очевидной необходимость решения задачи планирования очистных мероприятий, исходя из стремления минимизировать

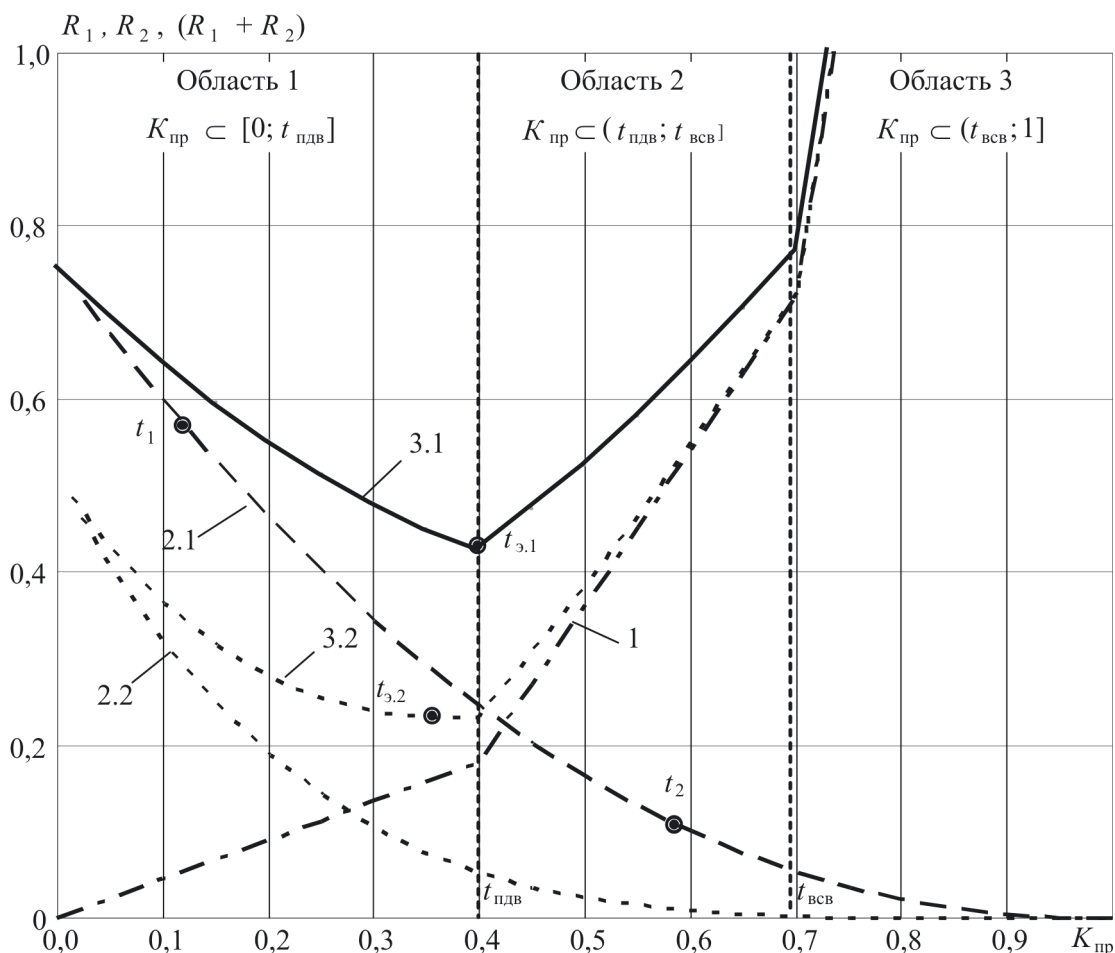


Рис. 5. Зависимости атмосфероохранных инвестиций, отнесенная к стоимости основных фондов предприятия, от пропускной способности для разных типов очистного оборудования $K_{пр}$: 1 - зависимость между отношением R_1 и пропускной способностью $K_{пр}$; 2.1 и 2.2 - зависимости между отношением R_2 и пропускной способностью $K_{пр}$ для рукавных фильтров и циклонов соответственно; 3.1 - сумма зависимостей 1 и 2.1; 3.2 - сумма зависимостей 1 и 2.2

сумму инвестиций на очистку и платежей за выбросы ЗВ после очистки путем определения точек экстремума соответственно $t_{э1}$ и $t_{э2}$.

Для расчета оптимального объема инвестирования запишем уравнение для кривой 3.1. С этой целью примем во внимание, что кривая 2.1 представляет собой зависимость стоимостей различных конфигураций очистного оборудования для очистки промышленных выбросов от эффективности их очистки, которые формируются с учетом текущих цен и рыночных условий. Выполним аппроксимацию кривой 2.1, принимая в соответствии с [3] степенную зависимость в виде

$$R_2 = \alpha \cdot (1 - K_{пр})^\beta, \quad (18)$$

где α и β – искомые коэффициенты уравнения для аппроксимации.

Для определения коэффициентов α и β рас-

смотрим на кривой 2.1 точки t_1 и t_2 . Тогда соответственно можно записать

$$R_2(t_1) = \alpha \cdot (1 - K_{пр}(t_1))^\beta, \quad (19)$$

$$R_2(t_2) = \alpha \cdot (1 - K_{пр}(t_2))^\beta. \quad (20)$$

Для удобства дальнейших записей обозначим

$$R_2(t_i) = y_i, \quad K_{пр}(t_i) = x_i, \quad \text{где } i = 1, 2. \quad (21)$$

Тогда из (19) – (21) можно записать

$$\alpha = y_1 \cdot (1 - x_1)^{-\beta}, \quad (22)$$

$$\alpha = y_2 \cdot (1 - x_2)^{-\beta}. \quad (23)$$

Приравняв (22) и (23) по α и логарифмируя, получим

$$\ln(y_1) - \beta \ln(1 - x_1) = \ln(y_2) - \beta \ln(1 - x_2), \quad (24)$$

откуда можно записать

$$\beta = \frac{\ln(y_2) - \ln(y_1)}{\ln(1 - x_2) - \ln(1 - x_1)}. \quad (25)$$

Соответственно, для расчета коэффициента α на основании (22) и (25) получим

$$\alpha = y_1 \cdot (1 - x_1) \cdot \frac{\ln(y_2) - \ln(y_1)}{\ln(1 - x_2) - \ln(1 - x_1)}. \quad (26)$$

Решением уравнений (25) и (26) определяются коэффициенты α и β для аппроксимации кривой 2.1 функции (18) с учетом введенных обозначений (21). На основании уравнения (18) с коэффициентами из уравнений (25), (26) и (10) может быть получено аналогичное выражение для интегральной кривой 3.1 (рис. 5):

$$R_{\Sigma}(K_{\text{пр}}) = R_1(K_{\text{пр}}) + R_2(K_{\text{пр}}). \quad (27)$$

Для определения экстремальной точки $t_{\Sigma 1}$ для функции R_{Σ} в (27), учитывая вогнутость кривой, достаточно рассмотреть ее первую производную по $K_{\text{пр}}$. Для удобства дифференцирования выполним эту операцию отдельно для каждого слагаемого R_1 и R_2 функции R_{Σ} .

Для R_1 с учетом выражений (9) и (10), получим

$$\frac{dR_1(K_{\text{пр}})}{dK_{\text{пр}}} = \begin{cases} \frac{S^H V^0}{S_{\text{ОФ}}}, & 0 \leq K_{\text{пр}} \leq t_{\text{пдв}}, \\ \frac{6 S^H V^0}{S_{\text{ОФ}}}, & t_{\text{пдв}} < K_{\text{пр}} \leq t_{\text{всв}}, \\ \frac{31 S^H V^0}{S_{\text{ОФ}}}, & t_{\text{всв}} \leq K_{\text{пр}} \leq 1. \end{cases} \quad (28)$$

Для R_2 , сохраняя при дифференцировании обозначения постоянных коэффициентов α и β , введенных в формуле (18), получим:

$$\frac{dR_2(K_{\text{пр}})}{dK_{\text{пр}}} = -\alpha \cdot \beta \cdot (1 - K_{\text{пр}})^{\beta-1}. \quad (29)$$

Суммируя выражения (29) и (28) и приравняв сумму к нулю, получим уравнение для определения минимума функции R_{Σ} . Поскольку слагаемое $\frac{dR_1}{dK_{\text{пр}}}$ по-разному определено в различных областях по оси $K_{\text{пр}}$, то решение уравнения (27) должно быть определено для каждой области отдельно:

для области 1 $K_{\text{пр}} \in [0, t_{\text{пдв}}]$

$$K_{\text{пр}}^{\text{extr}} = 1 - \beta^{-1} \sqrt{\frac{S^H V^0}{\alpha \cdot \beta \cdot S_{\text{ОФ}}}}, \quad (30)$$

для области 2 $K_{\text{пр}} \in (t_{\text{пдв}}, t_{\text{всв}}]$

$$K_{\text{пр}}^{\text{extr}} = 1 - \beta^{-1} \sqrt{\frac{6 S^H V^0}{\alpha \cdot \beta \cdot S_{\text{ОФ}}}}, \quad (31)$$

для области 3 $K_{\text{пр}} \in (t_{\text{всв}}, 1]$

$$K_{\text{пр}}^{\text{extr}} = 1 - \beta^{-1} \sqrt{\frac{31 S^H V^0}{\alpha \cdot \beta \cdot S_{\text{ОФ}}}}. \quad (32)$$

В соответствии с действующим законодательством предприятию разрешается производить выбросы ЗВ сверх установленного предельно-допустимого уровня в течение ограниченного периода времени по согласованию с вышестоящим экологическим органом. Поэтому в нормальном (безаварийном) режиме работы предприятия представляет интерес область 1.

Принимая во внимание рассмотренную выше математическую модель для однокомпонентного типа загрязнения, полученное оптимальное решение можно распространить на случай многокомпонентного типа загрязнения. Таким образом, в нормальном режиме работы предприятия для каждого i -го ЗВ может быть определен оптимальный уровень выбросов. На основе формулы (2) запишем

$$V_i^{\text{extr}} = K_{\text{пр}i}^{\text{extr}} \cdot V_i^0. \quad (33)$$

Затем на основе формулы (30) получим

$$V_i^{\text{extr}} = V_i^0 \left(1 - \beta^{-1} \sqrt{\frac{S_i^0 V_i^0}{\alpha \cdot \beta \cdot S_{\text{ОФ}}}} \right), \quad (34)$$

где коэффициенты α и β зависят от конфигурации используемого очистного оборудования и определяются по формулам (25) и (26). Реализовать функционирование атмосфероохранной системы, обеспечивающей минимальное значение количества выбросов в соответствии с выражением (34), можно различной комплектацией атмосфероохранного оборудования и, соответственно, с различными затратами.

Следовательно, комплекс воздухоохранного оборудования и комплектующих должен быть сформирован таким образом, чтобы была минимальна его суммарная стоимость при условии соблюдения экологических ограничений в виде нормативов выбросов (попадание в область 1 на рис. 5).

Таким образом, сформулированная экономико-математическая модель дает возможность решения задачи оптимизации инвестиций в организационные мероприятия, оборудование и материалы с целью охраны воздушной среды. Изложенное позволяет разработать алгоритм работы информационной системы, оптимально

формирующей комплексы средств и определяющей мероприятия по охране воздушной среды машиностроительного производства [5].

Заключение

В статье рассмотрены схемы очистки производственных выбросов предприятиями машиностроительного производства в воздушную среду. Разработана экономико-математическая модель взаимосвязи инвестиций в атмосфероохранные мероприятия и технические средства очистки выбросов в воздушную среду, которая определяет взаимосвязи многоступенчатой структуры штрафных платежей от объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Она основана на обобщенном уравнении, аппроксимирующем зависимости относительных инвестиционных затрат и платежей за загрязнение воздушной среды. Это позволило сформировать экстремальные зависимости, на основе которых разработана методика минимизации атмосфероохранных инвестиций в машиностроительное производство при условии обеспечения очистки выбросов до допустимой нормы. Результаты статьи представляют базу для оптимального формирования аппаратных комплексов охраны воздушной среды и необходимых инвестиционных платежей. Одновременно руководство машиностроительных производств

получает возможности многовариантного рассмотрения инвестиционных и технических решений по проблеме.

Список литературы

1. Квашнин И.М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 392 с.
2. ГОСТ Р 51251-99 Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
3. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология: Человек – Экономика – Биота – Среда. – М.: Юнити, 2001. – 566 с.
4. 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» (с изменениями от 1 июля 2005 г., 8 января 2009 г.). – Рос. газ., от 21 июня 2003 г.
7. Широков Л.А., Рабинович А.Е., Резчиков Е.А. Функциональное моделирование деятельности машиностроительного предприятия по охране воздушной среды // Экономический блокнот Института менеджмента и бизнеса. – М.: МГИУ, 2008. Вып. 5. С. 29 – 37.