

Федеральное
агентство по
образованию

ISSN 1819-1487

Вестник МИТХТ

1/2007
февраль

Научно-технический
журнал

Издается с февраля 2006 г.
Выходит один раз в два
месяца

Учредитель:
МИТХТ
им. М.В.Ломоносова

Главный редактор:
В.С. Тимофеев
Зам. главного редактора:
А.К. Фролкова
В.В. Фомичев

Редакционная коллегия:

Р.Р. Биглов
Д.В. Дробот
В.Ф. Корнюшко
Н.Т. Кузнецов
А.И. Мирошников
Ю.П. Мирошников
А.Н. Озерин
Л.А. Серафимов
С.М. Сухорукова
В.А. Тверской
А.Ю. Цивадзе
В.И. Шве́ц
В.Д. Юловская

© МИТХТ им. М.В. Ломоносова

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

- А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов. Фундаментальные проблемы технологии разделения сложных многокомпонентных смесей..... 3
- М.К.Захаров, В.В.Карасев. Аналитическое определение параметров сушильного агента для реальной сушилки..... 15
- В.М. Мясоеденков, Г.А. Носов, М.Н. Разина. Фракционное плавление с использованием теплового насоса..... 18

ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- В.И.Швец, Д.Г. Победимский, Г.И. Лапшенков, Д.И. Баирамашвили, А.К. Фролкова. Новая магистерская программа «Технология биофармацевтических препаратов»... 26
- В.В.Береговых, В.А.Быков, В.Т.Иванов, А.Ф.Миронов, Т.В.Овчинникова, Д.Г.Победимский, И.Д.Симонов-Емельянов, В.А.Соломонов, А.К.Фролкова, В.И.Швец. Российский инновационный учебно-научный комплекс для подготовки кадров в области биотехнологии..... 34

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- А.А. Валишин, Т.С. Степанова. Применение многомерного статистического анализа в исследованиях долговременной прочности полимеров. 1. Теория..... 40
- А.А. Валишин, Т.С. Степанова. Применение многомерного статистического анализа в исследованиях долговременной прочности полимеров. 2. Вычислительный эксперимент..... 49
- Э.М. Карташов, И.А. Нагаева. Тепловой нагрев диска с внутренним круговым вырезом..... 57

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

- А.П. Михайлуц, Г.Е. Мекуш. Оценка риска и потерь экономики региона..... 61
- С.М.Сухорукова, П.В.Сухоруков, М.С.Брыкина. Социо-эколого-экономические проблемы химической индустрии России в условиях глобализации мировой экономики..... 70
- Хабарова Т.А., Румянцева В.Д., Маслов Л.П., Цой А.В., Хабарова Е.И. Исследование ассортимента газоанализаторов, представленных на российском рынке и предназначенных для мониторинга CO₂, SO₂, NO₂, NH₃..... 83
- Abstract..... 89

Review MITHT

1/2007

Редакция:
И.М. Агаянц
Ю.А. Наумова
Л.Г. Семерня
Г.Д. Середина

Адрес редакции:
119571, г. Москва,
пр. Вернадского, 86,
к. Л-119
телефон: (495) 936-82-88

Подписано в печать
12.02.2007г. Формат
60х90/8. Бумага писчая.
Гарнитура Times.
Печать ризограф.
Уч. изд. листов 4,4.
Заказ № 26.
Тираж 500 экз.

CONTENTS

THEORETICAL BASES OF CHEMICAL TECHNOLOGY

- A.K. Frolkova, L.A. Serafimov. Fundamental problems of technology of complex multicomponent mixes division..... 3
- M.K.Zaharov, V.V.Karasev. Analytical definition of parameters the drying agent for a real dryer..... 15
- V. M. Miasoedenkov, G. A. Nosov, M. N. Razina. Fractional smelting by the means of calorific pump..... 18

CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS

- V.I. Shvets, D.G. Pobedimskiy, G.I. Lapshenkov, D.I. Bairamashvili, A.K. Frolkova. New master's program «Technology of biopharmaceuticals»..... 26
- V.V. Beregovykh, V.A. Bykov, V.T. Ivanov, A.F. Mironov, T.V. Ovchinnikova, D.G. Pobedimskiy, I.D. Simonov-Emelyanov, V.A. Solomonov, A.K. Frolkova, V.I. Shvets. Russian innovation educational scientific complex for personnel development in the field of biotechnology..... 34

INFORMATION TECHNOLOGIES AND APPLIED MATHEMATICS

- A.A. Valishin, T.S. Stepanova. Application of the multivariate statistical analysis in investigation long-term durability of polymers. 1. The theory..... 40
- A.A. Valishin, T.S. Stepanova. Application of the multivariate statistical analysis in investigation long-term durability of polymers. 2. Calculating experiment..... 49
- E.M.Kartashov, I.A.Nagaeva. Thermal heating of dick with internal round neck..... 57

ECOLOGICAL AND ECONOMIC PROBLEMS OF CHEMICAL TECHNOLOGIES

- S.M.Sukhorukova, P.V. Sukhorukov, M.S.Brykina. Social-environmental-economic problems of chemical industry of Russia within the process of globalization of world economy 61
- A.P. Mikhailuts, G.Y. Mekush. Valuation of the risk and of the regional economic losses from the last ecological damage 70
- Khabarova T.A., Rumyantseva V.D., Maslov L.P., Tsoy A.V., Khabarova E.I. Research of gas-analyzers assortment at russian market with monitors CO₂, SO₂, NO₂, NH₃ gases presence in the environment..... 83

- Abstract..... 89

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ

А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов

В статье представлен анализ работ, выполненных в рамках научной школы Л.А. Серафимова в области теоретических основ процессов разделения и совмещенных реакционно-массообменных процессов за последние 40 лет и не вошедших в предыдущие обзоры 1987, 1996 и 2002 г.г. В библиографию не включены 136 работ по экспериментальному исследованию фазового равновесия жидкость-пар и жидкость-жидкость конкретных бинарных и многокомпонентных смесей, 120 тезисов докладов на всесоюзных и международных конференциях, 44 авторских свидетельства.

Важным инструментом исследования процессов разделения сложных смесей и совмещенных реакционно-массообменных процессов является термодинамико-топологический анализ (ТТА) структур фазовых диаграмм. Первая работа в этой области была опубликована в 1967 году [1], опередив на 15 лет работы зарубежных авторов. Далее проблема нашла масштабное развитие в последующих трудах Л.А. Серафимова и его последователей, прежде всего на кафедре Химии и технологии основного органического синтеза МИТХТ им. М.В. Ломоносова. Одновременно публиковались работы В.Т. Жарова в этой области (кафедра теории растворов Ленинградского университета) [2]. Итогом явилось издание в 1975 году монографии [3], в которой были изложены основы ТТА и синтез с его использованием технологических схем ректификации многокомпонентных неидеальных смесей, включая и азеотропные смеси. Вопросы ректификации таких смесей и ряд аспектов термодинамико-топологического анализа отражены в монографии Ф.Б. Петлюка и Л.А. Серафимова [4], опубликованной в 1983 году.

Первый обзор публикаций по этим проблемам был выпущен в 1987 году [5] и содержал библиографию, которая включала 81 работу, в том числе 61, принадлежащую Л.А. Серафимову и его ученикам. Среди них необходимо отметить статьи В.С. Тимофеева, посвященные применению ТТА к

диаграммам гетероазеотропных систем, А.С. Мозжухина – по анализу динамических систем ректификации, М.И. Балашова – по анализу совмещенных реакционно-ректификационных процессов, а также работы Ф.Б. Петлюка, впервые создавшего совместно с Л.А. Серафимовым программу для ЭЦВМ, позволяющую провести ТТА структуры фазовой диаграммы 99-компонентной системы, содержащей до 300 бинарных и тройных азеотропов.

В 1996 году опубликован обзор [6] на английском языке в сборнике, посвященном математическим методам в современной химии, а в 2002 году – обзор [7] публикаций по ТТА диаграмм гетерогенного равновесия многокомпонентных смесей, насчитывающий 159 работ, основная часть которых принадлежит сотрудникам научно-методической школы, возглавляемой Л.А. Серафимовым. Из них необходимо особо отметить исследования в области: теоретических основ разделения многокомпонентных многофазных систем с использованием функциональных комплексов (А.К. Фролкова); теоретических основ анализа стационарных режимов реакционно-массообменных процессов (Ю.А. Писаренко); создания энерго-сберегающих технологий разделения многокомпонентных смесей на базе топологического анализа концентрационных областей оптимальности различных технологических схем (А.В. Тимошенко).

В обзор вошли и работы, посвященные

распространению ТТА на диаграммы многокомпонентных систем жидкость-твердое тело, выполненные Л.А. Серафимовым и В.В. Сафоновым, а также выполненные с Т.М. Кушнер работы по биазеотропии в бинарных и тройных системах. За период с 1987 по 2002 год помимо статей в журналах и тезисов докладов на различных конференциях вышли в свет несколько монографий [8-10], в которых рассмотрены термодинамико-топологический анализ, результаты исследований совмещенных реакционно-массообменных процессов и вопросы их аппаратного оформления.

В настоящем обзоре представлены работы, не вошедшие в предыдущие обзоры, и новые работы, опубликованные с 2002 года и являющиеся логическим продолжением выполненных ранее исследований. В [11] рассмотрены общие свойства векторных полей нод и ренод в диаграммах двухфазных многокомпонентных систем; в [12] – особенности эволюции биазеотропии в бинарных системах; в [13] – ход единичных α -многообразий (т.е. многообразий, отвечающих равенству единице относительной летучести одной или нескольких пар компонентов) и складок на поверхности температур кипения. Необходимо отметить, что использование теории стационарных скалярных и векторных полей оказалось весьма плодотворным при исследованиях гетерогенного равновесия фаз и общих свойств диаграмм фазового равновесия многокомпонентных азеотропных систем.

В [14] изучены нелокальные закономерности диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем. Эта работа продолжает серию статей А.К. Фролковой, включенных в обзор [7], по исследованию особенностей формирования диаграмм многофазных систем на основе уравнения инварианта области расслаивания.

Изучение закономерностей гетерогенных равновесий до определенного момента осуществлялось в диаграммах, представленных концентрационными

симплексами разной размерности. В работах Л.А. Серафимова и С.А. Благова, включенных в обзор [7], были рассмотрены концентрационные комплексы разной размерности. Работа [15], посвященная особым точкам с нулевым индексом Пуанкаре в концентрационных комплексах, относится к этой серии, которая получила дальнейшее развитие в работах [16-19]: выявлено распределение особых точек на гиперповерхностях ликвидуса диаграмм состояния взаимных систем [16]; приведены фазовые портреты взаимных систем с непрерывными твердыми фазами [17]; представлен общий подход к обоснованию правил азеотропии для двухмерных концентрационных комплексов [18]. В [19] предложен общий метод исследования диаграмм совмещенного процесса, в частности, рассмотрена структура концентрационных многообразий, соответствующих химическому равновесию в многокомпонентных смесях.

Ранее была выполнена серия работ [20-22], посвященная диффузионному проникновению через мембраны. В них отмечалось, что при определенной производительности наблюдаются. Одинаковые составы до и после мембраны. Наблюдаемое явление аналогично обычной азеотропии, поэтому полученные составы были названы кинетическими азеотропами. При изменении производительности составы кинетических азеотропов изменялись.

В дополнении к монографии Дж. Астарита [23] Л.А. Серафимов и М.И. Балашов подробно рассмотрели понятие хемиазеотропа. Условие появления хемиазеотропа приведено в монографии [9] и в уже упоминавшейся работе [23]. В отличие от обычных азеотропов в хемиазеотропах состав пара не равен составу жидкости. Однако при переходе к координатам многообразия химического равновесия наблюдается равенство составов фаз. В этом случае уход в пар части компонентов компенсируется быстрой химической реакцией и реализуется неподвижная (особая) точка динамической системы

свободного равновесного испарения такая же, как и обычный азеотроп.

Важной проблемой является моделирование фазового поведения гетерогенных систем и выбор адекватных математических моделей, особенно в условиях бурного развития компьютерной техники и программных средств. Для описания фазового равновесия жидкость-пар широко используются модели локального состава. Обзор уравнений такого типа опубликован в работе [24]. В [25-28] исследованы параметрические пространства уравнений NRTL и Брейна. В [29] рассмотрено математическое моделирование парожидкостного равновесия многокомпонентных систем, в которых паровая фаза является неидеальным раствором. Расчету фазового равновесия жидкость-пар по так называемым групповым моделям посвящена работа [30]. В дальнейшем проведен термодинамический анализ моделей NRTL и Вильсона [31-32] с использованием концентрационных зависимостей избыточных функций [33]. Указаны области, в которых эти уравнения являются термодинамически строгими, и области, в которых они носят эмпирический характер, давая иногда неверные результаты.

Выявление в концентрационном симплексе областей возможного существования различных азеотропов тесно связано с изучением эволюции диаграмм и возможностей разделения многокомпонентных смесей. В литературе на основе эмпирического подхода были рассмотрены области возможного расположения тройных азеотропов, если имеются три бинарных азеотропа. В работах [34-36] с использованием строгих термодинамических соотношений предложена методика локализации областей возможного существования бинарных и тройных азеотропов, подтвержденная примерами тройных систем с одноименными отклонениями от идеального поведения всех бинарных составляющих [35], а также систем с разноименными отклонениями [36].

Учитывая, что в ряде зарубежных

публикаций, которые уже критиковались в [7], были допущены существенные ошибки в вопросах теоретического исследования возможных особых точек в трехкомпонентных системах, сочтено необходимым изложить достаточно подробно анализ простых [37] и сложных [38] особых точек. Критике подвергся [39] также ряд работ, выполненных за рубежом М.Ф. Дохерти и Ю.Д. Перкинсом. Показано, что формальные математические преобразования уравнений открытого равновесного испарения приводят к потере физического смысла рассматриваемых процессов.

Принципиальное значение в процессах ректификации многокомпонентных смесей имеют различные изо-многообразия в концентрационных симплексах, обладающие специфическими свойствами. Например, ход единичных К-линий (где K – коэффициент распределения компонентов между фазами) в тройных системах образует некоторое множество диаграмм, превышающее по числу типов обычную классификацию диаграмм по количеству и взаимному расположению особых точек [7]. Эта тематика продолжена в работах [40-41]. В [40] рассмотрены свойства векторных полей нод в отсутствие единичных α -многообразий в диаграммах многокомпонентных систем, а также приведены примеры единичных α -многообразий разной кратности в диаграммах азеотропных систем. В работе [41] рассмотрены единичные α -многообразия различной кратности, порожденные азеотропами разной компонентности.

Экспериментальные исследования двухфазных систем с нераспределенными между фазами компонентами показали, что, в отличие от систем с полностью распределенными компонентами, единичные α -многообразия и многообразия локальных экстремумов температур кипения, порожденные особыми точками скалярных полей температур, не совпадают друг с другом [42-46]. Эти два явления обусловлены одной причиной, а именно: действием наряду с градиентом

температуры градиентов химических потенциалов нераспределенных компонентов, которые могут рассматриваться как некоторые параметры. Анализ был проведен с помощью аналога уравнения взаимосвязи скалярного и векторного полей вдоль сечения концентрационного симплекса с постоянной концентрацией нераспределенного компонента. Диаграммы фазового равновесия в этом случае распадаются на множество диаграмм, размерность которых меньше размерности базовой диаграммы на единицу или более и отвечают определенной концентрации нераспределенных компонентов.

Эти условия соответствуют процессу экстрактивной ректификации с практически нелетучим разделяющим агентом. Ранее при изучении экстрактивной ректификации было выявлено, что температура по высоте колонны (вдоль траектории ректификации) может проходить через экстремум, который в обычной ректификации является предельным составом, т.е. кубовой жидкостью или дистиллятом. В случае экстрактивной ректификации предельным является состав, соответствующий точке пересечения единичных α -многообразий базовых компонентов.

Ряд исследований, не вошедших в обзоры [5-7], выполнены по массопереносу в процессах разделения бинарных и многокомпонентных смесей. Изучен массоперенос для случая [47], когда в одной из фаз образуются молекулярные комплексы извлекаемого соединения при экстракции. Исследована кинетика массопереноса при ректификации трехкомпонентных неидеальных смесей [48-49], в том числе с инертным компонентом [50]. Изучен тепломассообмен при ректификации многокомпонентных смесей и получены уравнения для его моделирования [51]; рассмотрена молекулярная диффузия в многокомпонентных жидких смесях [52]. В работе [53] проведено сравнение различных уравнений массопереноса.

Для качественных исследований

процесса ректификации на основе термодинамики необратимых процессов получено дифференциальное уравнение траектории ректификации в колонне с непрерывным изменением состава фаз по высоте [54-55]. Здесь массоперенос определяется некоторой матрицей коэффициентов массопереноса $(n-1)$ компонентов, являющейся положительно определенной и симметрической. Движущая сила процесса ректификации представлена разностью равновесной и рабочей нод. Первая соответствует равновесным составам на границе раздела фаз, а вторая – составам ядер потоков жидкой и паровой фаз. В этих работах принята диффузионная модель с сосредоточенными параметрами.

Полученное уравнение использовано для характеристики различных режимов ректификации: обратимой, когда в каждой точке рабочая и равновесная ноды совпадают, и так называемой обратной ректификации, когда температура дистиллята выше температуры кубовой жидкости. Режим обратной ректификации был реализован в натурном эксперименте еще 20 лет назад и защищен авторским свидетельством [56].

Ряд работ посвящен общетермодинамическим вопросам. В 1973 году под редакцией Л.А. Серафимова переведен на русский язык краткий курс лекций польского физика К. Залевски. Совместно с переводчиком Н.Г. Рябцевым было признано целесообразным это издание дополнить обзорной статьей «Метод ансамблей Гиббса» [57], который стал фундаментальной основой статистической термодинамики. Общетермодинамический характер носят также исследования [58-59] степеней свободы гетерогенных открытых, закрытых и частично закрытых систем, содержащих подвижные и неподвижные компоненты, а также систем с химическим взаимодействием. Работы [58-59] содержат обзор результатов исследования данной проблемы. Здесь особое внимание уделено степеням свободы (f), обусловленным интенсивными переменными. Классическим примером такого подхода является правило фаз –

уравнение Д.В.Гиббса для открытых гетерогенных систем. Если перейти к экстенсивным переменным, то система обладает степенями свободы F . При $f=0$ и $F \neq 0$ возможны фазовые процессы, в частности, фазовые реакции, которые могут протекать как в двухфазных, так и в многофазных системах при неизменных температуре и давлении.

Исследование уравнения Ван-дер-Ваальса-Сторонкина в связи с дискуссией по вопросу его корректности вызвало необходимость подробно рассмотреть преобразования Лежандра [60], которые являются частным случаем преобразований касания Софуса Ли. Это исследование привело к введению понятия собственных переменных термодинамических функций и необходимости рассмотрения функций в несобственных, т.е. несвойственных им координатах [61]. Последнее позволило установить, что уравнение Ван-дер-Ваальса-Сторонкина является уравнением разности нулевых потенциалов двух фаз, выраженной в переменных функции Гиббса, и потому корректность его не вызывает сомнений [61].

Помимо исследований термодинамики многокомпонентных гетерогенных систем и локальных закономерностей процесса ректификации были рассмотрены общетехнологические проблемы и понятия. К таковым относятся: системный подход к химико-технологическим системам, наукоемкость химических производств, принципы химической технологии, множественность стационарных состояний фазовых процессов. Публикации по этим вопросам не вошли в обзоры [5-7]. В 1973 году вышла монография, посвященная системному подходу к расчету свойств газов и газовых смесей в химической технологии [62] и содержащая библиографию из 61 публикации. В ней описана система определенной структуры, реализованная на ЭВМ, и результаты ее эксплуатации в Гипрокаучуке.

Роль и значение понятия наукоемкости в рыночной экономике раскрыты в работе [63], проведена систематизация

химических технологий по уровню их наукоемкости [64]. В работах [65-68] обсуждено философское значение принципов, дана их классификация, рассмотрены принципы различных подсистем химической технологии, специфические принципы различных отраслей химической промышленности. Вопросам развития химической технологии на современном этапе посвящена публикация [69].

В [70] отражены проблемы взаимодействия химической технологии, экологии и экономики как основы устойчивого развития общества. Предложены подходы к созданию экологически чистых, энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Еще в 1970 году впервые было отмечено [71], что при ректификации смесей с определенными структурами фазовых диаграмм могут наблюдаться два режима, отвечающих одинаковым значениям управляющего параметра W/P , где W , P – количества кубового и дистиллятного продуктов. Впоследствии было установлено, что количество режимов зависит от постановки задачи. Так, для проектной задачи наблюдается только один режим, соответствующий выбранным параметрам. В то же время для поверочной задачи, в которой составы конечных продуктов являются зависимыми переменными, может наблюдаться несколько режимов, удовлетворяющих выбранным параметрам. Отметим, что на практике ректификационная колонна работает в варианте поверочной задачи и, следовательно, допустимо явление полистационарности, когда в зависимости от исходной загрузки при пуске колонны можно получать разные стационарные состояния. Последнее обусловлено существенной нелинейностью рассматриваемых фазовых процессов. В дальнейшем в работах [72-73] были изучены различные стационарные состояния процесса дистилляции с химической реакцией. Для случая противоточных реакционно-массообменных процессов [74] предложен алгоритм поиска множества стационарных

состояний. Полистационарность в процессе непрерывного испарения с химической реакцией изучена в работе [75]. Исследование стационарных состояний при ректификации многокомпонентных смесей проводилось в дальнейшем многими учеными как в нашей стране (Ф.Б. Петлюк, А.С. Мозжухин), так и за рубежом (Бениарес и др.).

Из не вошедших в обзор [7] необходимо упомянуть работы по изучению влияния массопереноса на протекание химической реакции в совмещенных реакционно-массообменных процессах [76-77], а также работы, посвященные различным аспектам использования ТТА в процессах такого типа [78-80]. В более ранние обзоры не включены также публикации, посвященные общесистемным вопросам разработки технологических схем получения и выделения целевых продуктов [81-83].

Из всех принципов, сформулированных в настоящее время, кратко остановимся на двух. Первый – принцип совмещения реакционных и массообменных процессах – предложен Л.А. Серафимовым с М.И. Балашовым и подробно рассмотрен в обзорах [5-7] и в настоящей статье. Второй – принцип перераспределения полей концентраций между областями разделения – разрабатывался Л.А. Серафимовым совместно с А.К. Фролковой и направлен на снятие термодинамических ограничений, обусловленных структурой диаграмм фазового равновесия двухфазных или многофазных систем [84]. Под структурой здесь понимается набор азеотропов различной компонентности, сепаратрических многообразий, порождаемых седловинными особыми точками, и областей расслаивания разной конфигурации. Структура диаграммы накладывает термодинамические ограничения на получение необходимых фракций и практически чистых компонентов, удовлетворяющих товарным требованиям. Снять эти ограничения позволяет принцип перераспределения полей концентраций между областями разделения, отдельные элементы которого

подробно описаны в работе [84].

Так как использование этого принципа предусматривает организацию в схеме разделения одного или нескольких рециклов, возникла задача о совместимости структуры технологической схемы с рециклами (разделительного комплекса) со структурой фазовой диаграммы и с условиями материального баланса. При наличии нескольких входных и выходных потоков материальный баланс может быть представлен симплексным методом. Модуль баланса в общем виде описан в работе [85]. В работах [86-87] определены условия существования стационарных режимов работы комплексов разделения трехкомпонентных смесей, а также выявлено влияние структуры диаграммы фазового равновесия и состава исходной смеси на работоспособность схем с рециклами.

Исследованию гомологических рядов комплексов, основанных на кривизне разделяющих многообразий (границ областей ректификации), посвящена работа [88]. Для разделения смеси на индивидуальные компоненты в ряде случаев используется изменение состава азеотропа при варьировании давления, в связи с чем была изучена зависимость составов азеотропов от давления в бинарных [89-90] и многокомпонентных системах [91].

Существенным является тот факт, что разработка термодинамико - топологического анализа сопровождалась в 1960-70-ых годах (в период интенсивного развития отечественной химической промышленности) созданием многих промышленных технологических схем выделения целевых продуктов производств основного органического синтеза и смежных отраслей. Так, были разработаны однородные технологические схемы ректификации масляных альдегидов [92], бутиловых спиртов [93], пропионового альдегида [94], полученных методом оксосинтеза, а также схемы выделения низших карбоновых кислот из фракций оксидата прямогонного бензина [95]. На основе ТТА были созданы

технологические схемы выделения этилацетата, этанола и метилэтилкетона из фракции окисления газового бензина [96], схемы регенерации винилацетата и метанола из полимеризата производства поливинилового спирта [97]. Предложены схемы разделения гетероазетропной смеси бутилацетат-бутанол-вода [98], а также схема разделения продуктов гидрирования н-нитроанилина [99] и легкой фракции эпоксида при совместном получении окиси пропилена и стирола [100]. Разработаны технологические схемы разделения цис- и

транс- изомеров кротононитрила; различных растворителей в производстве кинофотоматериалов и фармацевтических препаратов. Предложенные технологические решения защищены авторскими свидетельствами и патентами.

Приведенный краткий анализ работ в совокупности с опубликованными ранее обзорами безусловно доказывает приоритет научной школы Л.А. Серафимова и российских ученых в области создания физико-химических основ процессов разделения и совмещенных реакционно-массообменных процессов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Серафимов, Л.А. Правило азеотропии и классификация многокомпонентных смесей. I. Основы распределения многокомпонентных смесей по классам / Л.А. Серафимов // Журн. физ. химии. – 1967. – Т. 41, № 11. – С. 2972.
2. Жаров, В.Т. О нелокальных закономерностях в диаграммах равновесия жидкость-пар в многокомпонентных смесях / В.Т. Жаров // Журн. физ. химии. – 1969. – Т. 43, № 11. – С. 2985.
3. Жаров, В.Т. Физико-химические основы дистилляции и ректификации / В.Т. Жаров., Л.А.Серафимов. – Л.: Химия, 1975. – 240 с.
4. Петлюк, Ф.Б. Многокомпонентная ректификация. Теория и расчет / Ф.Б. Петлюк, Л.А. Серафимов. – М.: Химия, 1983. – 304 с.
5. Серафимов, Л.А. Термодинамико-топологический анализ и проблемы разделения многокомпонентных полиазетропных смесей / Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. - 1987. - Т. 21, № 1. – С.74-85.
6. Serafimov, L.A. Thermodynamic and Topological Analysis of Liquid-Vapor Phase Equilibrium Diagrams and Problems of Rectification of Multicomponent Mixtures / L.A.Serafimov // Mathematical Methods in Contemporary Chemistry. – Amsterdam., 1996. - P. 557-605.
7. Серафимов, Л.А. Термодинамико-топологический анализ диаграмм гетерогенного равновесия многокомпонентных смесей / Л.А. Серафимов // Журн. физ. химии. - 2002. - Т. 76, № 8. - С.1351.
8. Тимофеев, В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов. – М.: Химия, 1992. – 432 с.
9. Технология основного органического синтеза. Совмещенные процессы / Л.А. Серафимов [и др.] – М.: Химия, 1993. – 412 с.
10. Писаренко, Ю.А. Реакционно-ректификационные процессы / Ю.А. Писаренко, К.А. Кордона, Л.А. Серафимов. - М. : Луч, 2001. – 266 с.
11. L.A.Serafimov General Properties of Node and Renode vector fields in two phase multicomponent Systems / L.A. Serafimov // Russian journal of physics chem. suppl. – 2001. – P. 550.
12. Kushner, T.M. Regularities in binary azeotropy evolution in binary mixture caused by variations in external parameters / T.M. Kushner, G.V. Shutova, L.A. Serafimov // Russian journal of physics chem. suppl. – 2001. – P. 126.
13. Серафимов, Л.А. Особенности поведения скалярных стационарных полей температуры многокомпонентных смесей / Л.А. Серафимов, Ю.А. Писаренко, А.С. Шувалов // Теор. основы хим. технологии. - 2002. – Т. 36, № 1. – С. 54.
14. Фролкова, А.К. Нелокальные закономерности диаграмм расслаивания многокомпонентных многофазных систем / А.К. Фролкова, А.В. Сперанский, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. - 2002. – Т. 36, № 2. – С.147-155.

15. Серафимов, Л.А. Правило азеотропии и особые точки с нулевым индексом / Л.А. Серафимов, С.А. Благов // Теор. основы хим. технологии. – 2002. – Т. 36, № 6. – С.613.
16. Серафимов, Л.А. Распределение особых точек на поверхности ликвидуса диаграмм состояния взаимных систем / Л.А. Серафимов, П.П. Федоров, В.В. Сафонов // Журн. неорг. химии. – 2002. – Т.47, № 1. – С.111.
17. Федоров, П.П. Фазовые портреты тройных состояний взаимных систем с твердыми растворами / П.П. Федоров, И.И. Бучинская, Л.А. Серафимов // Журн. неорг. химии. – 2002. – Т.47, № 8. – С.1371.
18. Писаренко, Ю.А. Обоснование правила азеотропии для двумерных концентрационных комплексов / Ю.А. Писаренко, С.Ю. Шалунова, А.С. Шувалов, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т. 37, № 2. – С.189.
19. Метод исследования структур диаграмм реакционной дистилляции / С.Д. Тишаева [и др.] // Теор. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 1. – С.1.
20. Разделение бинарных смесей изобутанола с ароматическими углеводородами диффузионным проникновением через полиэтиленовые мембраны / В.В. Афанасьев [и др.] // Труды МИТХТ им. М.В.Ломоносова. – 1974. – Т. 4, вып.1, № 1. – С. 115-122.
21. Проникновение через полиэтиленовые мембраны бинарных смесей изопропанола с ароматическими углеводородами диффузионным / В.В. Афанасьев [и др.] // Журн. физ. химии. – 1975. – Т. 49, № 1. – С.231.
22. Диффузионное проникновение через полиэтиленовые мембраны смесей метилэтилкетон-углеводороды / В.В. Афанасьев [и др.] // Журн. физ. химии. – 1975. – Т. 49, № 5. – С.1312.
23. Серафимов, Л.А. Дополнительная 17 глава в монографии Астарита Дж. Массопередача с химической реакцией. Пер. с англ. Под редакцией Серафимова Л.А. / Л.А. Серафимов, М.И. Балашов. – Л. : Химия, 1971. – 224 с.
24. Мозжухин, А.С. Моделирование зависимости коэффициентов активности от концентрации раствора уравнениями локальных составов / А.С. Мозжухин, Л.А. Серафимов // Разделение неидеальных жидких смесей. Сборник. /Алтайский политехнический ин-т. – 1974. – № 41. – С. 6.
25. Математическое моделирование фазового равновесия жидкость-пар многокомпонентных смесей. I. / Ж.А. Бриль [и др.] // Журн. физ. химии. – 1973. – Т. 47, № 10. – С.2609.
26. Математическое моделирование равновесия жидкость-пар многокомпонентных смесей на ЭЦВМ. II. /Ж.А. Бриль [и др.] // Журн. физ. химии. – 1973. – Т. 47, № 10. – С.2614.
27. Математическое моделирование при помощи ЭВМ равновесия жидкость-пар многокомпонентных смесей. III. / Ж.А. Бриль [и др.] // Журн. физ. химии. – 1973. – Т. 47, № 11. – С.2771.
28. Математическое моделирование при помощи электронно-вычислительных машин равновесия жидкость-жидкость-пар многокомпонентных смесей. IV. / Ж.А. Бриль [и др.] // Журн. физ. химии. – 1973. – Т. 47, № 11. – С.2774.
29. Математическое описание фазового равновесия и структура концентрационного пространства полиазеотропных смесей. / В.С. Аветьян [и др.] // Журн. физ. химии. – 1978. – Т. 52, № 10. – С.2471.
30. О выборе базовых смесей для предсказания парожидкостного равновесия по групповой модели / Т.М. Кушнер [и др.] // Теор. основы хим. технологии. – 1987. – Т.21, № 6. – С.748.
31. Серафимов, Л.А. Термодинамический анализ модели NRTL с использованием концентрационных зависимостей избыточных функций / Л.А. Серафимов, А.К. Фролкова, В.М. Раева // Теор. основы хим. технологии. – 2002. – Т.36, № 4. – С.388.

32. Серафимов, Л.А. Термодинамический анализ модели Вильсона с использованием парциальных избыточных функций / Л.А. Серафимов, А.К. Фролкова, В.М. Раева // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т.37, № 2. – С.174.
33. Серафимов, Л.А. Термодинамический анализ полного пространства избыточных функций смешения бинарных растворов / Л.А. Серафимов, А.К. Фролкова, В.М. Раева // Теор. основы хим. технологии. – 1996. – Т.30, № 6. – С.611.
34. Серафимов, Л.А. Локализация бинарных азеотропов в концентрационном симплексе / Л.А. Серафимов, В.М. Раева // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т.37, № 3. – С.272.
35. Раева, В.М. Выявление концентрационных областей существования тройных азеотропов I. Системы с одноименными отклонениями / В.М. Раева, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т.38, № 6. – С.683.
36. Раева, В.М. Концентрационные области существования тройных азеотропов в системах с разноименными отклонениями от идеального поведения / В.М. Раева, А.Л. Фролкова, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 2006. – Т.40, № 1. – С.42.
37. Серафимов, Л.А. Основные закономерности векторных полей под двуфазных трехкомпонентных смесей. Простые особые точки / Л.А. Серафимов, Т.В. Челюскина // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т.37, № 2. – С.174.
38. Серафимов, Л.А. Основные закономерности векторных полей под двуфазных трехкомпонентных смесей. Сложные особые точки / Л.А. Серафимов, Т.В. Челюскина // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т.37, № 5. – С.516.
39. Челюскина, Т.В. Особенности фазового обмена в двуфазных многокомпонентных системах / Т.В. Челюскина, Л.А. Серафимов // Ученые зап. / МИТХТ. – 2004. – Вып.11. – С.92.
40. Писаренко, Ю.А. Некоторые свойства векторных полей под жидкость-пар диаграмм многокомпонентных смесей / Ю.А. Писаренко, Л.А. Серафимов // Ученые зап. МИТХТ. – 2003. – Вып.8. – С.13.
41. Серафимов, Л.А. Единичные α -многообразия двуфазных трехкомпонентных смесей / Л.А. Серафимов, Ю.А. Писаренко // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т.38, № 3. – С.261.
42. Серафимов, Л.А. Системы экстрактивной ректификации с нераспределенными между фазами разделяющими агентами / Л.А. Серафимов, Г.И. Тациевская, А.К. Фролкова // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т.38, № 1. – С.24.
43. Серафимов, Л.А. Гетерогенные системы экстрактивной ректификации с одним нелетучим агентом / Л.А. Серафимов, Г.И. Тациевская, А.К. Фролкова // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т. 38, № 2. – С.163.
44. Серафимов, Л.А.. Гетерогенные четырехкомпонентные системы экстрактивной ректификации с одним нелетучим агентом / Л.А. Серафимов, Г.И. Тациевская, А.К. Фролкова // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т. 38, № 4. – С.384.
45. Серафимов, Л.А. Условия реализации особых точек и их соотношения в сечениях симплексов n-компонентных систем с одним нелетучим компонентом / Л.А. Серафимов, А.К. Фролкова, Г.И. Тациевская // Теор. основы хим. технологии. – 2004. – Т. 38, № 5. – С.577.
46. Серафимов, Л.А. Преобразование диаграмм псевдоазеотропных смесей / Л.А. Серафимов, А.К. Фролкова, Г.И. Тациевская // Теор. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 2. – С.192.
47. Серафимов, Л.А. Влияние физико-химических свойств на массопередачу в экстракторах с ситчатыми тарелками при струйном режиме / Л.А.Серафимов, Э.М. Гусейнов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1969. – № 12. – С.13.
48. Исследование кинетики массопередачи при ректификации трехкомпонентных неидеальных смесей / Л.А. Серафимов [и др.] // Теор. основы хим. технологии. – 1968. – Т. 2, № 4. – С.632.

49. Серафимов, Л.А. К вопросу о кинетике процесса ректификации тройных неидеальных смесей / Л.А. Серафимов, Ю.Г. Гольберг // Теор. основы хим. технологии. – 1971. – Т. 5, № 6. – С.789.
50. Ибрагимов, М.Г. Исследование кинетики ректификации с инертным компонентом / М.Г. Ибрагимов, Е.Н. Константинов, Л.А. Серафимов // Известия вузов. Химия и хим. технология. – 1973. – Т. 16, № 4. – С.640.
51. Ибрагимов, М.Г. Тепломассообмен при ректификации многокомпонентных смесей / М.Г. Ибрагимов, Е.Н. Константинов, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1974. – Т. 8, № 4. – С.610.
52. Константинов, Е.Н. Молекулярная диффузия в многокомпонентных жидких смесях / Е.Н. Константинов, Л.А. Серафимов // Известия вузов. Пищевые технологии. – 1975. – Т. 18, № 2. – С.152.
53. Кузнечиков, В.А. Сравнение методов расчета массообмена в многокомпонентных смесях / В.А. Кузнечиков, Е.Н. Константинов, Л.А. Серафимов // Инженерно-физический журнал. – 1977. – Т. 32, № 4. – С.615.
54. Серафимов, Л.А. Уравнение массопереноса в многокомпонентных смесях /Л.А. Серафимов, А.В. Тимошенко // Теор. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 3. – С.337.
55. Серафимов, Л.А. Анализ процесса ректификации с помощью уравнения массопереноса в многокомпонентных смесях / Л.А. Серафимов, А.В. Тимошенко // Теор. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 4. – С.407.
56. А. с. 1074555 СССР, МКИ³. Способ тепломассообмена между жидкостями с различными температурами кипения» / Ф.Б. Петлюк, Л.А. Серафимов, В.С. Тимофеев, В.И. Майский, Е.Н. Юдин, М.Г. Аветьян (СССР). – опубл. 23.11.83, Бюл. № 43.
57. Серафимов, Л.А. Метод ансамблей Гиббса. Дополнение к русскому изданию / Л.А. Серафимов, Н.Г. Рябцев // Залевски Н. Феноменологическая и статистическая термодинамика / Под ред. Л.А. Серафимова. – М.: Мир, 1973. - 168 с.
58. Серафимов, Л.А. Вариантность термодинамических систем / Л.А. Серафимов // Ученые зап. МИТХТ. – 1999. – Вып.1. - С.4.
59. Серафимов, Л.А. Вариантность термодинамических систем (окончание) / Л.А. Серафимов // Ученые зап. / МИТХТ. – 2000. – Вып.2 - С.13.
60. Серафимов, Л.А. Преобразование Лежандра и его роль в химической термодинамике / Л.А. Серафимов // Ученые зап. МИТХТ. – 2001. – Вып.3. - С.4.
61. Серафимов, Л.А. Представление термодинамических функций состояния в несобственных координатах / Л.А. Серафимов // Ученые зап. МИТХТ. – 2001. – Вып.4. – С.3.
62. Богомольный, А.М. Системный подход к расчету свойств газов и газовых смесей / А.М. Богомольный, Б.С. Сверчинский, Л.А. Серафимов. – М. : Изд-во Совета экономической взаимопомощи, 1973. – 112 с.
63. Макаров, О.В. Роль и значение наукоемких технологий в рыночной экономике / О.В. Макаров, Л.А. Серафимов // Экономическая реформа и рынок России : сб. ст. – М., 1993. – С. 64-67.
64. Серафимов, Л.А. К систематизации химических технологий по уровню их наукоемкости / Л.А. Серафимов, О.В. Макаров // Ученые зап. МИТХТ. – 1999. – Вып.2. - С.53.
65. Серафимов, Л.А. Основные подсистемы химической технологии и принципы их создания /Л.А. Серафимов // Наукоемкие химические технологии: докл. 2-ой Междунар. конф. – 1994. – С. 14.
66. Серафимов, Л.А. К вопросу о принципах технологий / Л.А. Серафимов, В.Г. Айнштейн // Высшее образование в России. – 1995. – № 2. – С.36.
67. Тимофеев, В.С. Принципы создания химических технологий / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов // Росс. хим. журнал. – 1998. – Т.42, № 6. – С.4.

68. Тимофеев, В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. Изд. второе / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов. – М.: Высшая школа, 2003. – 536 с.
69. Серафимов, Л.А. Некоторые аспекты развития химической технологии на современном этапе / Л.А. Серафимов, Ю.А. Писаренко, А.К. Фролкова // Росс. хим. журнал. – 2000. – Т.44, № 6. – С.56.
70. Тимофеев, В.С. Химическая технология, экономика и экология /В.С. Тимофеев, А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – № 3. – С.31.
71. К вопросу исследования областей периодической и непрерывной ректификации / М.И. Балашов [и др.] // Физико-химические основы ректификации. – М., 1970. – С.205.
72. Писаренко, Ю.А. Стационарные состояния процесса дистилляции с химической реакцией / Ю.А. Писаренко, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1991. – Т. 25, № 3. – С.422.
73. Писаренко, Ю.А. К статике систем с химической реакцией / Ю.А. Писаренко, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1991. – Т. 25, № 5. – С.627.
74. Писаренко, Ю.А. Полистационарность в процессе равновесного непрерывного испарения с химической реакцией / Ю.А. Писаренко, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1992. – Т. 26, № 5. – С.611.
75. Писаренко, Ю.А. Поиск множества стационарных состояний противоточных реакционно-массообменных процессов / Ю.А. Писаренко, Е.А. Анохина, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1993. - Т. 27, № 6. – С.586.
76. Выделение областей различного влияния избирательного обмена на скорость химического превращения / Е.А. Анохина [и др.] // Теор. основы хим. технологии. – 1995. – Т. 29, № 3. – С.400.
77. Карпиловский, О.Л. Оценка влияния избирательного обмена на химическое превращение в проточном реакторе с однородной реакционной зоной / О.Л. Карпиловский, Ю.А. Писаренко, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1995. – Т. 29, № 3. – С.316.
78. Данилов, Р.Ю. Использование режимов бесконечной эффективности в анализе статики реакционно-ректификационного процесса / Р.Ю. Данилов, Ю.А. Писаренко // Теор. основы хим. технологии. – 1995. – Т. 29, № 6. – С.612.
79. Писаренко, Ю.А. Возможные виды разделения в непрерывных реакционно-ректификационных процессах / Ю.А. Писаренко, Р.Ю. Данилов, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1996. – Т. 30, № 6. – С.641.
80. Писаренко, Ю.А. Привлечение понятия предельной траектории для оценки возможности реализации стационарных состояний при анализе реакционно-ректификационных процессов / Ю.А. Писаренко, Р.Ю. Данилов, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1997. – Т. 31, № 1. – С.49.
81. Генкин, Г.Г. Стабилизация одного класса химико-технологических схем / Г.Г. Генкин, С.С. Глузман, Л.А. Серафимов // Доклады АН СССР. – 1976. – Т. 226, № 1. – С.147.
82. Генкин, Г.Г. К расчету сложных химико-технологических схем с нелинейными нестационарными процессами в аппаратах / Г.Г. Генкин, С.С. Глузман, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1976. – Т. 10, № 1. – С.101.
83. Генкин, Г.Г. Качественное исследование химико-технологических систем в классе кусочно-непрерывных функций / Г.Г. Генкин, С.С. Глузман, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1978. – Т. 12, № 3. – С.404.
84. Серафимов, Л.А. Фундаментальный принцип перераспределения полей концентраций между областями разделения как основа создания технологических комплексов / Л.А.Серафимов, А.К. Фролкова // Теор. основы хим. технологии. – 1997. – Т. 31, № 2. – С.526.

85. Захаренко, В.В. Модуль баланса / В.В. Захаренко, В.Г. Айнштейн, Л.А. Серафимов // Высшее образование в России. – 1994. – № 1. – С.173.
86. Фролкова, А.К. Определение условий существования стационарных режимов работы комплексов с рециклами для разделения тройных смесей / А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов, Т.Г. Павленко // Теор. основы хим. технологии. – 1992. – Т. 26, № 2. – С. 281-286.
87. Фролкова, А.К. Влияние структуры диаграммы фазового равновесия и состава исходной смеси на работоспособность комплексов разделения с рециклами / А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов, Т.Г. Павленко // Теор. основы хим. технологии. – 1992. – Т. 26, № 3. – С. 425-428.
88. Раева, В.М. Изменение состава азеотропов при варьировании внешних условий / В.М. Раева, А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 1996. – Т.30, № 1. – С.27-33.
89. Фролкова, А.К. Исследование гомологических рядов разделительных комплексов, основанных на кривизне разделяющего многообразия / А.К. Фролкова, О.Н. Крупинова, Л.А. Серафимов // Химическая промышленность. – 1999 – № 7. – С.33-38.
90. Моделирование экстремальных зависимостей состава азеотропа от температуры / В.М. Раева [и др.] //Журн. физ. химии. – 2000. – № 4. – С. 320-326.
91. Фролкова, А.К. Зависимость состава многокомпонентных азеотропов от давления / А.К. Фролкова, Л.А. Серафимов // Теор. основы хим. технологии. – 2003. – Т.37, № 6. – С.584-593.
92. Тимофеев, В.С. Исследование процесса выделения масляных альдегидов / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов, С.В. Львов // Химия и технология топлив и масел. – 1964. – № 7. – С.18.
93. Разделение спиртов, полученных оксосинтезом, методом непрерывной ректификации / Е.А. Груздев [и др.] // Химическая промышленность. – 1964. – № 8. – С. 53.
94. Ректификация смеси продуктов оксосинтеза пропионового альдегида /А.С. Мозжухин [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 1966. – № 10. –С. 5.
95. Выделение низших карбоновых кислот из фракций оксидата прямогонного бензина / Т.М. Кушнер [и др.] // Химическая промышленность. – 1969. – № 1. – С. 20.
96. Выделение этилацетата, этанола и метилэтилкетона из фракции оксидата прямогонного бензина / С.В. Бабич [и др.] // Физико-химические основы ректификации. – М.,1970. – С. 300.
97. Регенерация вилиацетата и метанола из полимеризата, образующегося при производстве поливинилового спирта / Т.С. Рудаковская [и др.] // Химическая промышленность. – 1971. – № 5. – С. 383.
98. Ректификация трехкомпонентной гетероазеотропной смеси н-бутанол – вода – н-бутилацетат / В.В. Береговых [и др.] // Химическая промышленность. – 1973. – № 3. – С. 189.
99. Разработка технологической схемы разделения продуктов гидрирования п-нитроанилина на основе термодинамико – топологического анализа / Л.К. Жариков [и др.] // Журн. физ. химии. – 1974. – Т. 48, № 8. – С. 2148.
100. Разработка схемы разделения легкой фракции эпоксида при совместном получении окиси пропилена и стирола / Б.Г. Серебряков [и др.] //Химическая промышленность. – 1978. – № 9. – С. 650.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ДЛЯ РЕАЛЬНОЙ СУШИЛКИ

М.К.Захаров, В.В.Карасев

Предложенный метод позволяет аналитически рассчитать параметры сушильного агента на выходе из реальной сушилки при одной известной характеристике воздуха без использования I -х диаграммы.

При расчетах процессов сушки возникает необходимость использования диаграмм I - x , где I – относительная энтальпия, кДж/кг абсолютно сухого воздуха (асв); x – влагосодержание воздуха, кг влаги/кг асв.

При переходе от расчетов идеальных процессов к расчетам реальных процессов сушки используется уравнение теплового баланса сушильной камеры, которое связывает параметры воздуха на входе в сушилку (точка 1: x_1, I_1) и на выходе из нее (точка 2: x_2, I_2) [1]:

$$I_2 - I_1 = \frac{\Delta q}{l} = \Delta q(x_2 - x_1) \quad (1)$$

В уравнении (1) Δq – параметр процесса сушки, определяемый разностью между подводом и отводом (потерями) теплоты в сушильной камере, кДж/кг удаляемой влаги; l – удельный расход сушильного агента, кг асв/кг влаги.

На основании приведенного уравнения возможно графическое определение параметров воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры, однако этот метод трудоемок и неточен. Дело в том, что неопределенность положения точки 2 для реального процесса сушки не позволяет рассчитать удельный расход воздуха $l = 1/(x_2 - x_1)$, а следовательно, и относительную энтальпию I_2 уходящего воздуха по левому равенству уравнения (1). Наличие двух неизвестных x_2, I_2 в одном уравнении также не позволяет их однозначно определить.

Известный графический метод [1] нахождения точки 2 в диаграмме I - x базируется на определении промежуточной точки $\Pi(x_n, I_n)$ реального

процесса сушки по видоизмененному уравнению (1):

$$I_n = I_1 + \Delta q(x_n - x_1) \quad (1a)$$

Задаваясь произвольным значением влагосодержания x_n , находят энтальпию I_n воздуха. Через найденную точку $\Pi(x_n, I_n)$ и точку 1 (рис.1) проводят прямую до пересечения с заданным параметром уходящего воздуха (температуры t_2 или относительной влажности φ_2). Точка пересечения (т. 2) характеризует все свойства уходящего воздуха.

Нами предлагается аналитическое определение параметров сушильного агента (СА) на выходе из сушилки при заданной хотя бы одной его характеристике: температуре t_2 или относительной влажности φ_2 . При **заданной конечной температуре t_2** (частично этот случай рассмотрен в [2]) дополнительное уравнение, связывающее I_2 и x_2 , вытекает из определения относительной энтальпии воздуха [1]:

$$I_2 = c_e t_2 + i_n x_2, \quad (2)$$

где c_e – удельная теплоемкость абсолютно сухого воздуха, кДж/(кг·К); i_n – энтальпия водяного пара, $i_n = 2493 + c_n t_2$, кДж/кг пара; c_n – теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·К).

Совместное решение системы двух уравнений (1) и (2) позволяет найти I_2 и x_2 .

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$c_e t_2 + i_n x_2 - I_1 = \Delta q(x_2 - x_1) \quad (3)$$

или

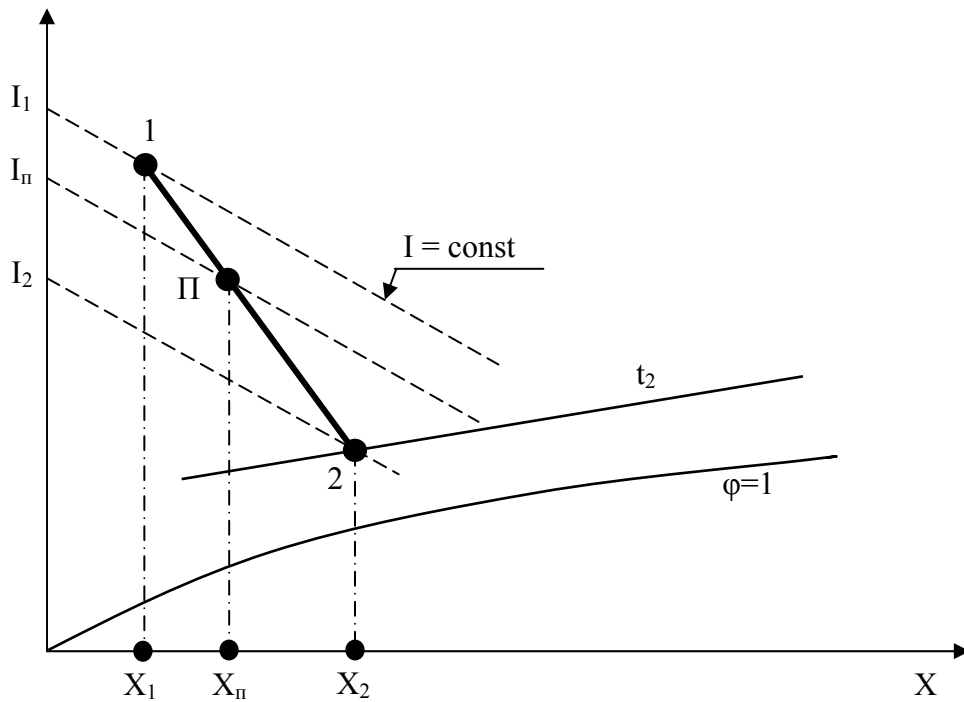


Рис. 1. Графическое определение параметров сушильного агента на выходе из сушильной камеры при заданной температуре уходящего воздуха.

$$x_2(i_n - \Delta q) = I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1 \quad (3a)$$

Откуда

$$x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{i_n - \Delta q} \quad (4)$$

Далее в соответствии с уравнением (2) находим:

$$I_2 = c_6 t_2 + i_n \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{i_n - \Delta q} \quad (5)$$

или

$$I_2 = c_6 t_2 + \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{1 - \frac{\Delta q}{i_n}} \quad (5a)$$

После приведения к общему знаменателю получим:

$$I_2 = \frac{I_1 - \Delta q \left(x_1 + \frac{c_6 t_2}{i_n} \right)}{1 - \frac{\Delta q}{i_n}} \quad (6)$$

Естественно, что при $\Delta q = 0$ имеем

$$I_2 = I_1, \text{ а } x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2}{i_n}.$$

Условие $\Delta q = 0$ соблюдается при идеальной сушке, а также в реальных условиях сушки, когда подвод теплоты в сушильной камере равен отводу (потерям) теплоты с материалом, в окружающую

среду и с транспортными приспособлениями.

При заданной конечной относительной влажности СА (φ_2) система уравнений (1), (2), в которых фигурируют три неизвестные величины: I_2 , x_2 и t_2 , должна быть дополнена выражением для влагосодержания воздуха

$$x_2 = 0.622 \frac{\varphi_2 D_{i,2}}{\hat{A} - \varphi_2 D_{i,2}} \quad (7)$$

где $P_{n,2}$ - давление насыщенного водяного пара при температуре t_2 (Па).

В диапазоне рабочих температур СА на выходе из аппарата (от 20 до 100⁰ С) давление насыщенных паров хорошо аппроксимируется зависимостью [3]:

$$\ln p = \frac{23.3t + 1477}{t + 230} \quad (8)$$

или

$$p = \exp \left(\frac{23.3t + 1477}{t + 230} \right) \quad (8a)$$

Подставляя (8a) в (7), получаем:

$$x_2 = 0.622 \frac{\varphi_2 \exp \left(\frac{23.3t_2 + 1477}{t_2 + 230} \right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp \left(\frac{23.3t_2 + 1477}{t_2 + 230} \right)} \quad (7a)$$

Система трех уравнений (1), (2) и (7а) с тремя неизвестными легко решается. Подставляя (2) в (1) и x_2 по (7а), имеем:

$$c_2 t_2 + (2493 + c_i t_2) 0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} - I_1 =$$

$$= \Delta q \left[0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} - x_1 \right] \quad (9)$$

Температура t_2 в уравнении (9) может быть найдена численными методами. Затем определяют p по уравнению (8а), x_2 - по (7) и I_2 - по (2). При $\Delta q = 0$ (для

идеальной сушки и реальной, когда подвод теплоты компенсирует потери теплоты в сушилке) $I_2 = I_1$, а температура t_2 может быть найдена из уравнения:

$$c_2 t_2 + (2493 + c_i t_2) 0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} = I_1 \quad (10)$$

Влагосодержание СА на выходе из сушилки $x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2}{2493 + c_n t_2}$.

тическое определение параметров сушильного агента на выходе из реального аппарата при заданной одной конечной его характеристике: температуре или относительной влажности воздуха.

Таким образом, предложено анали-

ЛИТЕРАТУРА:

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии /В.Г. Айнштейн В.Г. [и др.] – М. : Логос, Высшая школа, 2002. – 1760 с.
2. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки /Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М.: Наука, 1997. – 448 с.
3. Перри, Дж. Справочник инженера-химика /Дж. Перри: пер. с англ. / Под ред. Н.М.Жаворонкова. – Л. : Химия, 1969. – Т.1. – 640 с.

ФРАКЦИОННОЕ ПЛАВЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

В.М. Мясоеденков, Г.А. Носов, М.Н. Разина

Выполнен анализ эффективности использования парокомпрессионного теплового насоса с замкнутым циклом по рабочему телу в процессе непрерывного фракционного плавления. Показано, что применение теплового насоса позволяет снизить энергетические затраты на проведение рассматриваемого процесса

Фракционное плавление является одним из методов фракционной кристаллизации, который довольно часто используется для разделения и очистки различных органических веществ [1]. Известно несколько вариантов проведения данного процесса: однократное, последовательное, многоступенчатое и противоточное фракционное плавление. При этом процесс разделения может осуществляться в периодическом или непрерывном режимах.

В данной работе нами рассмотрен процесс однократного фракционного плавления, осуществляемый в непрерывном режиме применительно к разделению бинарных смесей образующих непрерывный ряд твердых растворов.

Такой процесс состоит из двух последовательных стадий: кристаллизации и плавления. На стадии кристаллизации производится охлаждение разделяемой смеси (отвод теплоты), а на стадии плавления имеет место нагрев смеси (подвод теплоты). При этом температура фракционирования на стадии кристаллизации ниже температуры разделения на стадии плавления. Для снижения энергетических затрат на осуществление рассматриваемого процесса нами предлагается использовать парокомпрессионный тепловой насос, который позволяет использовать теплоту, выделяющуюся на стадии кристаллизации, для нагрева разделяемой смеси на стадии плавления.

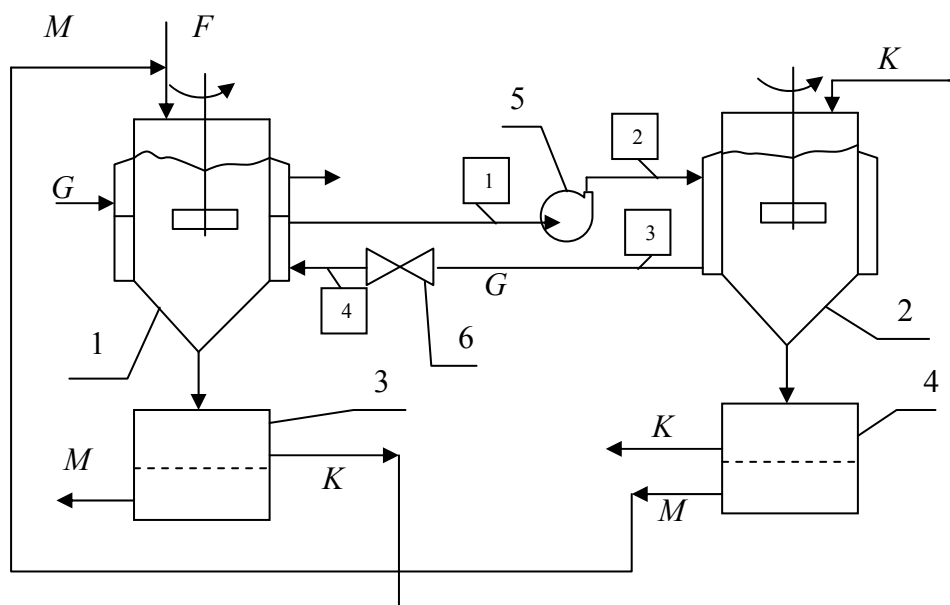


Рис. 1. Принципиальная схема установки фракционного плавления: 1 – кристаллизатор; 2 – плавитель; 3, 4 – фильтры; 5 – компрессор; 6 – дроссельный вентиль.

На рис.1. показана принципиальная схема установки для проведения непрерывного фракционного плавления с использованием парокомпрессионного теплового насоса закрытого типа. Разделение производится следующим образом. Исходный раствор F с концентрацией x_F высокоплавкого компонента бинарной смеси при температуре t_F поступает в кристаллизатор 1, в котором охлаждается до температуры фракционирования t_K , лежащей между температурами ликвидуса и солидуса (рис. 2). При разделении полученной суспензии на фильтре 3 (или фильтрующей центрифуге) получается маточник M_1 и кристаллическая фаза K_1 ,

которая далее направляется в плавитель 2, где нагревается до температуры фракционирования t_n . Кристаллическая масса частично расплавляется. Полученная суспензия при температуре t_n подвергается фильтрованию в фильтре 4. Маточник M_2 отделяется в фильтре 4 от кристаллической фазы K_2 и возвращается в кристаллизатор 1. Поток кристаллической массы K_2 , обогащенный высокоплавким компонентом, и поток маточника M_1 , обогащенный низкоплавким компонентом, выводятся из процесса в качестве готовых продуктов. Потоки же маточника M_2 и кристаллической массы K_1 являются внутренними.

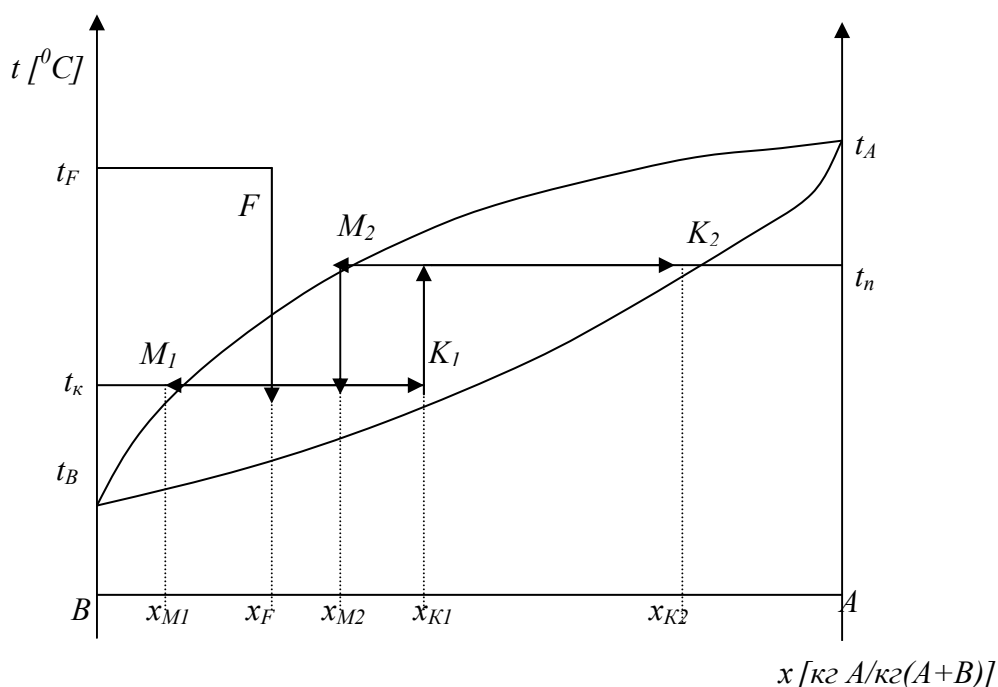


Рис. 2 Изображение процесса фракционного плавления бинарной смеси на диаграмме равновесия фаз.

Как будет показано ниже количество отводимого тепла на стадии кристаллизации обычно больше количества тепла, подводимого на стадии плавления. Поэтому кристаллизатор 1 снабжен секционированной рубашкой. В верхнюю секцию рубашки может направляться дополнительный поток охлаждающего агента G_x . В нижнюю секцию рубашки направляется поток рабочего тела теплового насоса в виде влажного пара. Температура этого пара

ниже температуры суспензии t_K в кристаллизаторе. Таким образом, кристаллизатор выполняет роль испарителя теплового насоса, а рабочее тело теплового насоса служит охлаждающим агентом для суспензии в кристаллизаторе в процессе фракционирования. При испарении влаги пара рабочего тела в рубашке кристаллизатора его энтальпия изменяется от i_4 до i_1 . На рис. 3 показано изображение цикла работы теплового насоса на диаграмме состояния

$p - i$ промежуточного теплоносителя (рабочего тела), G_p . Пар в сухом насыщенном состоянии направляется на всасывающую линию компрессора 5 теплового насоса, после чего сжимается от давления p_e до давления p_n . При этом его энтальпия изменяется от i_1 до i_2 . Пары рабочего тела далее направляются на охлаждение и последующую конденсацию в рубашку плавителя 2. Энтальпия

рабочего тела в процессе его охлаждения и конденсации изменяется от i_2 до i_3 . Таким образом, плавитель выполняет роль конденсатора в схеме теплового насоса, а рабочее тело теплового насоса является теплоносителем при реализации процесса плавления. Конденсат рабочего тела направляется на дросселирование. Образовавшаяся парожидкостная смесь возвращается в рубашку кристаллизатора.

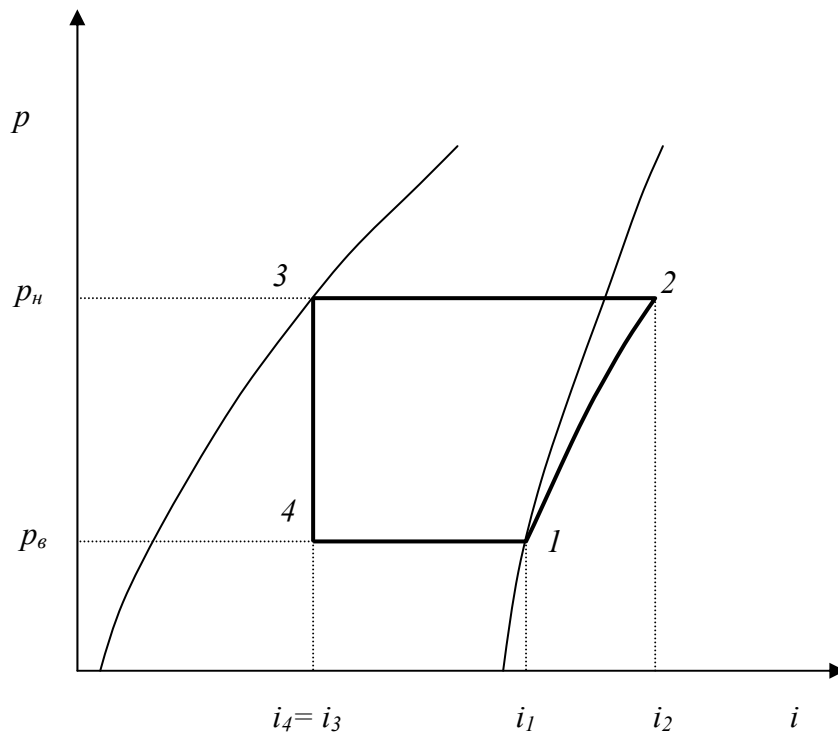


Рис. 3. Изображение цикла работы теплового насоса с замкнутым контуром циркуляции рабочего тела в диаграмме состояния $p-i$.

Основной целью настоящей работы является энергетическое сопоставление обычного процесса фракционного плавления (с независимыми источниками тепла и холода) с предлагаемым процессом фракционного плавления, снабженного тепловым насосом.

При анализе рассматриваемого процесса было принято, что на стадиях кристаллизации и плавления достигается полное равновесие фаз, а при разделении полученной суспензии маточник полностью отделяется от кристаллической фазы.

В условиях равновесных процессов фракционирования справедливы следующие уравнения материального баланса

$$F + M_2 = M_1 + K_1, \quad (1)$$

$$Fx_F + M_2x_{M2} = M_1x_{M1} + K_1x_{K1}, \quad (2)$$

$$K_1 = M_2 + K_2, \quad (3)$$

$$K_1x_{K1} = M_2x_{M2} + K_2x_{K2}, \quad (4)$$

где x_{M1} , x_{K1} , x_{M2} , x_{K2} — концентрации высокоплавкого компонента в, соответственно, маточнике кристаллизатора, кристаллической массе кристаллизатора, маточнике плавителя, кристаллической массе плавителя.

Решая совместно уравнения (1) – (4), находим выражения для удельных потоков маточников и кристаллических фаз:

$$\varphi_{M1} = \frac{M_1}{F} = \frac{(x_{K2} - x_F)}{(x_{K2} - x_{M1})}, \quad (5)$$

$$\varphi_{M2} = \frac{M_2}{F} = \frac{(x_{K2} - x_{K1})(x_F - x_{M1})}{(x_{K1} - x_{M2})(x_{K2} - x_{M1})}, \quad (6)$$

$$\varphi_{K1} = \frac{K_1}{F} = \frac{(x_{K2} - x_{M2})(x_F - x_{M1})}{(x_{K1} - x_{M2})(x_{K2} - x_{M1})}, \quad (7)$$

$$\varphi_{K2} = \frac{K_2}{F} = \frac{(x_F - x_{M1})}{(x_{K2} - x_{M1})}. \quad (8)$$

Уравнения (5) – (8) справедливы, естественно, при любом способе подвода энергии или ее отвода (с помощью теплового насоса или с помощью независимых источников тепла или холода).

Потребная мощность кристаллизатора и плавителя может быть определена с помощью уравнений теплового баланса указанных аппаратов.

Мощность кристаллизатора (тепловой поток, отводимый от суспензии к холодильному агенту через теплопередающую поверхность кристаллизатора):

$Q_K = Fc_F t_F + M_2 c_{M2} t_n + K_1 L_K - M_1 c_{M1} t_K - K_1 c_{K1} t_K$ (9)
где c_F , c_{M2} , c_{M1} , c_{K1} – теплоемкости, соответственно, исходного раствора, маточника в плавителе, маточника в кристаллизаторе, кристаллической массы в кристаллизаторе; L_K – теплота кристаллизации.

Удельная мощность кристаллизатора будет определяться уравнением

$$q_K = \frac{Q_K}{F} = c_F t_F + \varphi_{M2} c_{M2} t_n + \varphi_{K1} L_K - \varphi_{M1} c_{M1} t_K - \varphi_{K1} c_{K1} t_K \quad (10)$$

Мощность плавителя (тепловой поток от теплоносителя в рубашке к суспензии через теплопередающую поверхность плавителя):

$Q_n = M_2 c_{M2} t_n + K_2 c_{K2} t_n + M_2 L_K - K_1 c_{K1} t_K$ (11)
где c_{K2} – теплоемкость кристаллической массы в плавителе.

Удельная мощность плавителя:

$$q_n = \frac{Q_n}{F} = \varphi_{M2} c_{M2} t_n + \varphi_{K2} c_{K2} t_n + \varphi_{M2} L_K - \varphi_{K1} c_{K1} t_K \quad (12)$$

Найденные выражения для мощности кристаллизатора позволяют определить полный расход (или удельный расход)

холодильного агента, как в традиционной схеме энергоснабжения, так и в процессе разделения с использованием теплового насоса.

Расход греющего пара в плавителе традиционной схемы энергоснабжения

$$D_i = \frac{Q_i}{i_i - i_e}, \quad (13)$$

где i_n и i_K – энтальпия, соответственно, пара и его конденсата.

Расход промежуточного теплоносителя (рабочего тела), циркулирующего в контуре теплового насоса, необходимого для осуществления стадии плавления составляет:

$$G_p = \frac{Q_n}{i_2 - i_3}, \quad (14)$$

где i_2 и i_3 – энтальпия рабочего тела на входе и выходе из рубашки плавителя (рис. 3).

Расход охлаждающего агента в кристаллизаторе традиционной схемы энергоснабжения составляет

$$G_e = \frac{Q_K}{c_e (t_e'' - t_e')}, \quad (15)$$

где c_e – теплоемкость хладагента; t_e' и t_e'' – температура хладагента, соответственно, на входе и выходе рубашки кристаллизатора.

Расход холодильного агента (рабочего тела теплового насоса) в нижней секции рубашки кристаллизатора при теплонасосной схеме энергоснабжения равен G_p . Расход дополнительного хладагента G_x , подаваемого в верхнюю секцию рубашки кристаллизатора, будет равен:

$$G_x = \frac{Q_n - G_p (i_1 - i_4)}{c_e (t_e'' - t_e')}. \quad (16)$$

Заметим, что наличие только одной секции в рубашке кристаллизатора теплонасосной схемы энергоснабжения повлекло бы за собой появление избыточной мощности конденсатора по сравнению с потребной мощностью плавителя.

Эффективность работы машины (теплового насоса), работающей в режиме совмещенного цикла (одновременного получения тепла и холода), обычно

характеризуется отношением суммы мощностей конденсатора и испарителя к мощности компрессора [5]:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{конд}} + Q_{\text{исп}}}{N}, \quad (17)$$

где $Q_{\text{конд}} = Q_n$, $Q_{\text{исп}} = G_p(i_1 - i_4)$, а $N = G_p(i_2 - i_1)$.

Эффективность работы машины (теплового насоса), работающей в режиме получения тепла оценивается коэффициентом преобразования

$$\varepsilon_T = \frac{Q_{\text{конд}}}{N}. \quad (18)$$

Коэффициент преобразования всегда больше единицы [5]. Это значит, что на каждую единицу энергии, затраченную в компрессоре, нагреваемому объекту будет передано больше на величину энергии, отобранную от холодного источника тепла.

Однако высокие значения коэффициента преобразования являются необходимым, но недостаточным условием при выборе схемы энергоснабжения в пользу теплонасосной схемы, поскольку качество сопоставляемых видов энергии в уравнении (18) различно. В самом деле, $Q_{\text{конд}}$ это тепловая энергия, в то время как N – электрическая энергия. Для сравнения различных видов энергии используют понятие «условного топлива», теплота сгорания которого принята равной 29.33 МДж/кг [5]. Удельный расход условного топлива на производство единицы электрической энергии по конденсационному циклу составляет $B_{\text{ЭК}} = 114.6$ кг/ГДж; тогда как аналогичная величина на производство тепловой энергии равна $B_T = 41.8$ кг/ГДж [2].

Для суждения о возможной экономии или перерасходе условного топлива в сопоставляемых схемах теплоснабжения вводят относительный расход условного топлива

$$B_0 = \varepsilon_T \frac{B_T}{B_{\text{ЭК}}} \quad (19)$$

Относительный расход топлива показывает, на сколько расход условного топлива в традиционной схеме энергоснабжения больше (меньше) расхода топлива в теплонасосной схеме. При $B_0 > 1$ вопрос выбора может быть решен в пользу теплонасосной схемы

теплоснабжения.

Численный эксперимент сопоставления двух схем энергоснабжения исследуемой установки был проведен на примере бинарной зеотропной системы флуорен – 2-метилнафталин, представляющей собой систему с неограниченной взаимной растворимостью компонентов. Равновесные данные для этой системы были заимствованные в работе В.М. Кравченко [6]. Анализ равновесных данных показал, что линии ликвидус и солидус могут быть описаны с достаточной точностью линейными зависимостями в диапазоне температур $50 \div 114$ °С. Для линии ликвидус это $X_M = 1.1t - 29.4$; для линии солидус: $X_K = 0.3986t + 54.6$.

На первом этапе исследования был изучен вопрос влияния концентрации исходного раствора x_F на величины удельных внешних и внутренних потоков установки. Диапазон изменения концентрации исходного раствора определялся предельными значениями его состава: x_{M1} ; x_{K1} (рис. 2). Температура фракционной кристаллизации составляла 50°С. Температура фракционного плавления была равной 80°С. Результаты этого этапа представлены на рис. 4.

С возрастанием x_F возрастает выход кристаллической фазы φ_{K2} и, соответственно, уменьшается выход маточника φ_{M1} . При $x_F = x_{M1}$ разделение закономерно отсутствует. С возрастанием состава исходного раствора возрастают величины внутренних потоков φ_{K1} и φ_{M2} , а разность между ними всегда равна φ_{K2} .

На втором этапе исследования изучалось влияние перепада температур между температурой кристаллизации и температурой плавления на величины удельных внутренних и внешних потоков кристаллической фазы и маточника при фиксированном значении концентрации флуорена в исходном растворе. Перепад температур $\Delta t = t_K - t_n$ варьировался в пределах от 5 до 40°С. Температура кристаллизации была равна 50°С. Таким образом, увеличение температуры плавления (увеличение перепада

температур) влекло за собой увеличение концентрации высокоплавкого компонента в потоке выходящей кристаллической фазе x_{K2} , т.е. увеличение степени разделения исходной смеси (рис. 2). Результаты исследования второго этапа представлены на рис. 5. С

возрастанием перепада температур уменьшался выход кристаллической фазы и, напротив, увеличивался выход маточника. При этом величины внутренних потоков возрастали, таким образом, обеспечивая увеличение разделяющей способности установки.

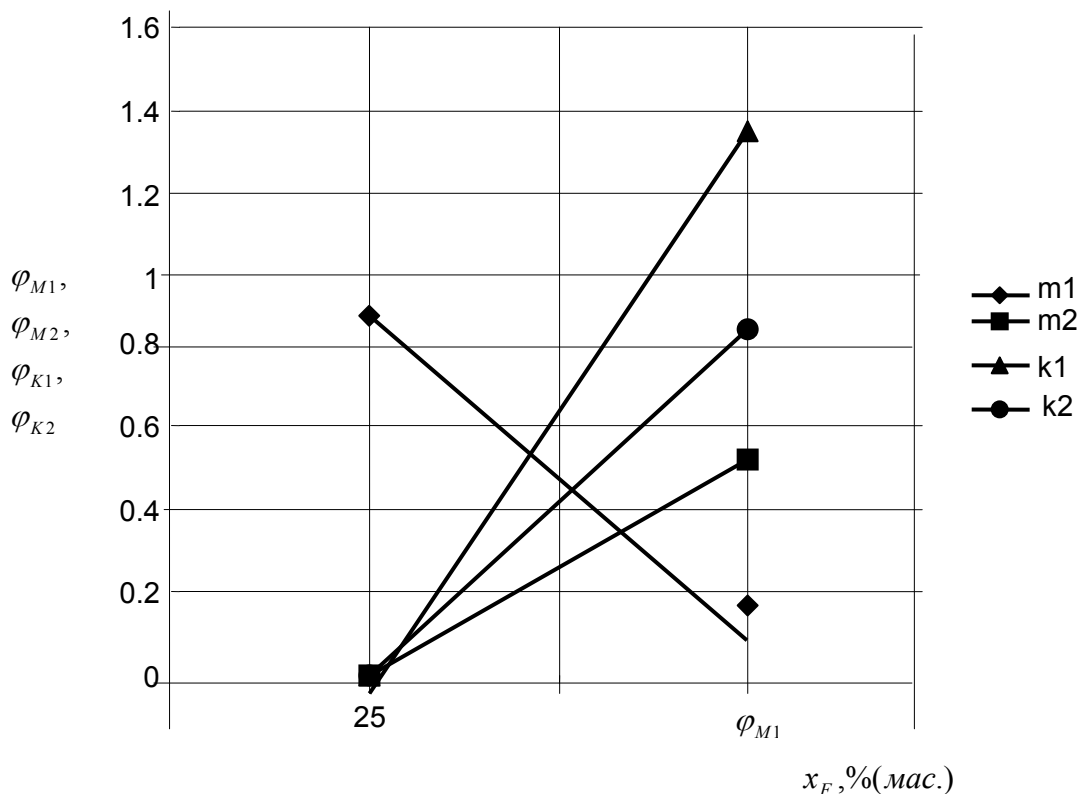


Рис. 4. Влияние концентрации исходного раствора на величины удельных потоков маточника и кристаллов.

На третьем этапе исследования изучалось влияние перепада температур на мощность кристаллизатора и плавителя, а также на эффективность теплового насоса в режимах совмещенного цикла и собственно теплового насоса. Для решения уравнений теплового баланса использовались следующие значения основных теплофизических свойств компонентов: теплота плавления флуорена – 122 кДж/кг; теплота плавления 2-метилнафталина – 142.8 кДж/кг; теплоемкость флуорена в твердом состоянии – 1.164 кДж/кг·К; теплоемкость флуорена в жидком состоянии – 1.998 кДж/кг·К; теплоемкость 2-метилнафталина в твердом состоянии – 1.257 кДж/кг·К; теплоемкость 2-метилнафталина в жидком состоянии – 2.174 кДж/кг·К.

В качестве рабочего тела теплового

насоса был выбран фреон-11 [7]. Температура фреона в испарителе теплового насоса (в рубашке кипятильника совмещенной схемы) принималась равной на 10⁰С ниже температуры фракционирования в кристаллизаторе, т.е. 40⁰С. Этой температуре соответствует давление в испарителе равное 0.18 МПа. Температура конденсации фреона в конденсаторе теплового насоса (в рубашке плавителя установки) принималась равной на 10⁰С выше температуры суспензии в плавителе установки. Так как температура суспензии в плавителе в ходе эксперимента изменялась от 55 до 90⁰С, то и давление в конденсаторе увеличивалось от 0.35 до 0.81 МПа. Таким образом, с ростом разности температур фракционирования росла и степень сжатия рабочего тела от 1.94 до 4.5.

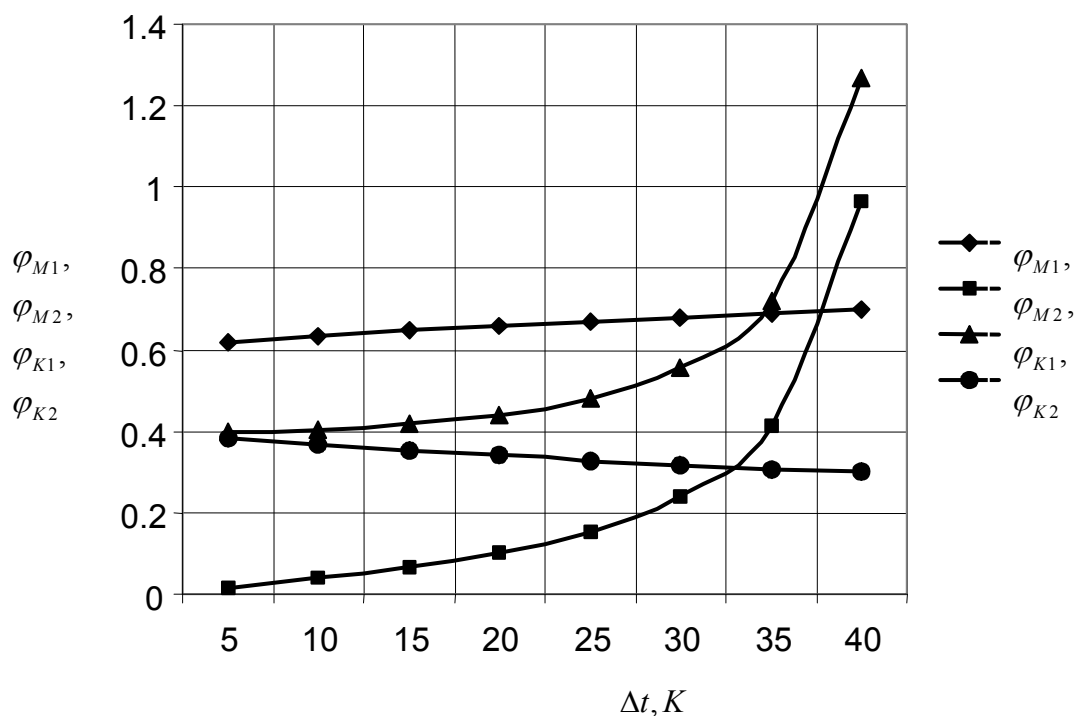


Рис. 5. Влияние перепада температур на величины удельных потоков кристаллов и маточников для системы «флуорен – 2-метилнафталин».

Результаты этого этапа показаны на рис. 6 и 7. Мощность и кристаллизатора и плавителя возрастает с возрастанием разности температур фракционирования в связи с ростом внутренних потоков кристаллической массы и маточника (рис. 5). Мощность кристаллизатора на всем диапазоне изменения перепада температур превышает мощность плавителя, так как внутренний поток кристаллической фазы всегда превосходит внутренний поток маточника. Эффективность совмещенного цикла теплового насоса ε падает с возрастанием Δt , так как неизбежно возрастает при этом степень сжатия рабочего тела в тепловом насосе. Падение коэффициента преобразования ε_T с ростом перепада температур фракционирования обусловлено тем же обстоятельством – ростом степени сжатия рабочего тела. На всем диапазоне варьирования Δt коэффициент преобразования ε_T закономерно ниже эффективности совмещенного цикла теплового насоса по определению

(формулы 17 и 18).

Как было сказано ранее, не смотря на то, что коэффициент преобразования на всем исследуемом диапазоне изменения Δt больше 1 (рис. 7), выбор в пользу теплонасосной схемы теплоснабжения будет однозначен только в том случае, если даже при минимальном значении коэффициента преобразования относительный расход условного топлива будет выше единицы. Минимальное значение ε_T соответствует $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ и равно 3.04 (рис. 7). При этом относительный расход условного топлива будет равен

$$B_0 = \varepsilon_T \frac{B_T}{B_{ЭК}} = 3.04 \frac{41.8}{114.6} = 1.11$$

Таким образом, численный анализ сопоставляемых схем энергоснабжения установки фракционного плавления показывает, что на всем диапазоне вероятного изменения перепада температур исследованной системы теплонасосная схема предпочтительнее традиционной схемы.

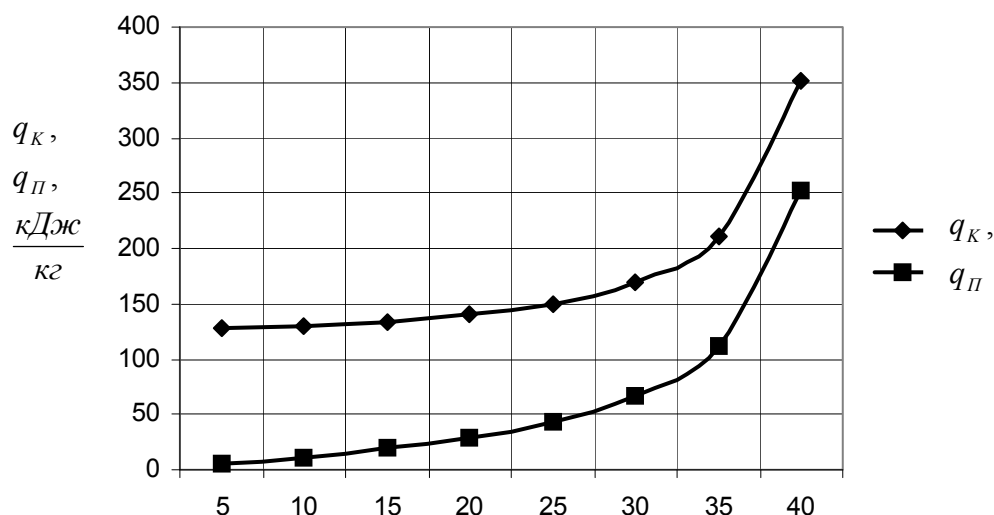


Рис. 6. Зависимость удельной мощности кристаллизатора и плавителя от разности температур в аппаратах.

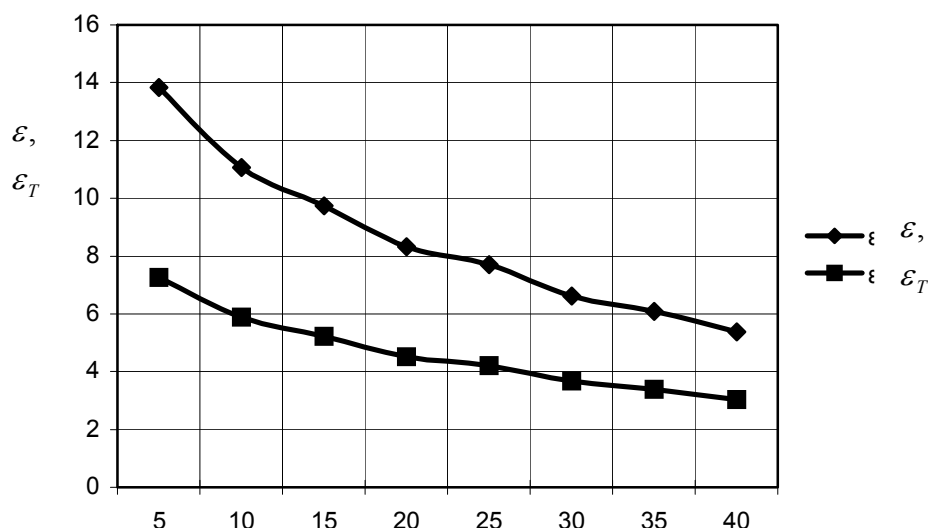


Рис. 7. Зависимость эффективности теплового насоса от разности температур в аппаратах: ϵ – эффективность совмещенного цикла; ϵ_T – эффективность собственно теплового насоса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гельперин, Н. И. Основы техники фракционной кристаллизации / Н.И. Гельперин, Г.А. Носов. – М. : Химия, 1986. – 304 с.
2. Янговский, Е.И. Промышленные тепловые насосы / Е.И. Янговский, Л.А. Левин. – М. : Энергоавтомиздат, 1989. – 128 с.
3. Адиабатная кристаллизация с использованием теплового насоса / Г.А. Носов [и др.] // Хим. технология. – 2004. – № 3. – С. 35-40.
4. Мясоеденков, В.М. Оценка эффективности адиабатной кристаллизации с использованием теплового насоса / В.М. Мясоеденков, Г.А. Носов, Бангура Наби Лай // Хим. технология. – 2004. – № 4. – С. 36-39.
5. Чечеткин, А.В. Теплотехника / А.В. Чечеткин, Н.А. Занемонец. – М. : Высшая школа, 1965. – 344 с.
6. Кравченко, В.М. Двойные системы флуорена / В.М. Кравченко // Журн. прикладн. химии. – 1952. – Т. 25, № 9. – С. 943-964.
7. Томановская, В.Ф. Фреоны. Свойства и применение / В.Ф. Томановская, Б.Е. Колотлова. – Л. : Химия, Ленингр. отделение, 1970. – 200 с.

НОВАЯ МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА «ТЕХНОЛОГИЯ БИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ»

В.И.Швец, Д.Г. Победимский, Г.И. Лапшенков, *Д.И. Баирамашвили,
А.К. Фролкова

*Институт биоорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН

Дано научно-концептуальное обоснование новой программы магистратуры – «Технология биофармацевтических препаратов». Разработка иллюстрируется использованием основного организационного подхода, обеспечивающего подготовку научно-технологической элиты в области технологии биофармацевтических препаратов, - интеграции фундаментальной науки в лице ведущих в России академических и отраслевых центров медико-биологического направления и высшей школы.

Концептуальное обоснование необходимости разработки магистерской программы «Технология биофармацевтических препаратов».

Биотехнология и ее медицинская подотрасль – биофармацевтическая технология получили широкое понимание в качестве следующей за информационными технологиями волны наукоемкой экономики, создающей новые возможности для общественной и экономической жизни.

Фундаментальные основы биотехнологии претерпевают революционные изменения, открывающие как новые возможности их применения в здравоохранении, сельском хозяйстве, производстве продовольствия и для защиты окружающей среды, так и возможности новых научных открытий. Это происходит во всемирном масштабе. Общие фундаментальные основы, относящиеся к живым организмам (в более широком смысле – живым системам), порождают новые научные дисциплины, например, платформенные технологии (геномика и биоинформатика), и новые практические приложения, например, тестирование геномов и регенерация органов и тканей человека. Последние, в свою очередь, открывают перспективы для приложений, которые окажут глубинное влияние на общество и экономику, далеко превосходящее последствия, например, использования генетически модифициро-

ванных сельскохозяйственных растений и генетически модифицированных микроорганизмов (эу- и прокариотов).

Расширение познавательного базиса сопровождается быстрым превращением передовых научных достижений в практические приемы и продукты и, таким образом, также является потенциалом создания новых индустриальных объектов. Возрождаются старые производства и возникают новые предприятия, предлагая работу специалистам высокой квалификации, чья деятельность поддерживает развитие наукоемкой экономики. Будучи, возможно, наиболее многообещающим направлением передовых технологий, биотехнология и, в частности, биофармацевтическая технология могут внести решающий вклад в достижение поставленной руководством России цели – *быть среди лидеров в развитии наукоемкой экономики.*

В России есть все необходимые условия для дальнейшего и стремительного развития собственного биотехнологического производства: *система подготовки научных и технологических кадров высшей квалификации, наличие перспективных разработок, научно-производственный потенциал и системная исследовательская деятельность, интенсивно растущий спрос на внутреннем биотехнологическом рынке.*

В России существуют центры (в лице

РАН, РАМН, РАСХН и известных отраслевых центров), обладающие научным превосходством в специальных технологиях (например, технология биочипов, технология липосомных препаратов, технология генно-инженерных белков, технология биопластиков, технология биоинсектицидов и фунгицидов, технология биоремедиации почв, технология растительных и микробных биорегуляторов и др.) и служащие основой региональных кластеров биотехнологических разработок (г. Москва, г. Санкт-Петербург, п. Оболенск и г. Пущино Московской области, п. Кольцово Новосибирской области, г. Казань и др.). Поддержка биотехнологических исследований будет производиться в соответствии с государственными приоритетами, в число которых входят: геномика и биотехнология; нано- и нанобиотехнологии; обеспечение высокого качества и безопасности лекарственных препаратов и др.

Академические исследовательские лаборатории и высшие учебные заведения являются ядром российской научной базы, которое взаимодействует также с исследованиями на предпринимательской основе и иных частных основах. Ныне актуализируется «старый» «новый» управленческий подход – *процесс интеграции* – объединение разрозненных инфраструктур (академических институтов, университетов и образовательных академий, отраслевых центров, успешных с рыночной точки зрения производственных фирм и концернов), связанных единым технологическим процессом, результатом которого является конечный продукт, созданный усилиями всех участников процесса. В ходе такой интеграции могут успешно отрабатываться *наукоемкая технология образования* (подготовка специалиста – магистра техники и технологии с заданными навыками, знаниями и умениями) и *наукоемкая технология производства* (получение биопродукта с заданными свойствами).

Надо сказать, что до сих пор вузами, и в том числе МИТХТ, готовились магистры для проведения научных исследований,

т.е. магистры-исследователи. Созданная в МИТХТ в последние 10 лет Высшая инженерная школа (ВИШ) осуществляла по более короткой временной линейке подготовку инженеров для опытных производств научных и отраслевых институтов, а также для промышленных предприятий биофармацевтической индустрии.

В рамках структуры ВИШ был подготовлен и реализован целый пакет конкретных и содержательных учебных материалов для функционирования ВИШ – учебные программы дисциплин специальности «Биотехнология», учебные и учебно-методические пособия, дипломные работы – проекты по актуальным направлениям биофармацевтической индустрии и др.

Вместе с тем для данной наукоемкой индустрии актуализировались требования к *повышению качества образования*, в частности, *усилению понимания биофармацевтической технологии как интегрированной системы науки и индустрии*. Биофармацевтическая индустрия нуждалась также в подготовке кадров на пересечении фундаментальных и технологических дисциплин и специализаций, включая потенциал использования информационных и коммуникационных технологий и *новые управленческие подходы* для ответа на вызовы, которые предлагает эта наука и индустрия, особенно в прикладных медицинских разделах.

Вот почему назрела объективная необходимость создать на базе академии *новую систему подготовки кадров в области наукоемких технологий для биофарминдустрии, путем модернизации на основе системного подхода высшего технологического образования с традиционного уровня ВИШ до более наукоемкого уровня – магистратуры, которая в большей степени соответствовала бы новым целевым задачам выбранной отрасли экономики, условиям и требованиям (приоритетам) времени.*

О проекте магистерской программы «Технология биофармацевтических препаратов»

Основная задача заявляемой здесь

новой магистерской программы (МП) – дать студентам алгоритм обучения в рамках МП «Технология биофармацевтических препаратов», обеспечивающей знание принципов, методов, способов, средств, составляющих основы научной и инженерной деятельности на всех стадиях формирования творческих решений: от постановки лабораторно-экспериментальных исследований до их технологической и инженерной реализации.

Предполагаемый результат для слушателей рассматриваемого здесь цикла лекций, семинаров и лабораторных занятий – освоение информационного массива современных данных в области технологических проблем биофармацевтической индустрии:

- выявление физико-химических характеристик биологически активных соединений различного происхождения и методов их получения, включая современные биотехнологические способы;
- освоение методологии выделения и очистки биологически активных соединений;
- использование биологических и фармакологических подходов в создании лекарственных средств;
- выбор и применение способов конструирования на основе физиологически активных веществ биофармацевтических препаратов;
- обоснование и реализация технологии промышленного получения физиологически активных веществ;
- применение арсенала физико-химических методов для интенсификации и управления биореакторных и последующих (по схеме выделения биопродукта) процессов (технологический менеджмент);
- рассмотрение аппаратурных аспектов (биоинженерия);
- исследование систем управления биореакторными процессами и их использование в задачах оптимизации технологии;
- освоение современной системы организации биофармацевтических производств (GMP и т.п.);
- рассмотрение экономических и управленческих аспектов организации

производств биофармацевтических препаратов и т.д.

Созданный ранее для подготовки инженеров пакет конкретных и содержательных учебных материалов *при трансформации ВИШ в новую образовательную инфраструктуру – магистратуру «Технология биофармацевтических препаратов»* может стать основой вновь создаваемых учебных и учебно-методических пособий и даст начальный опыт **будущим магистрам техники и технологий** в решении вопросов совершенствования биофармацевтических производств.

В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования выпускники МП «Технология биофармацевтических препаратов» должны быть подготовлены к проведению исследований и разработок в рамках приоритетных направлений развития науки и техники (например, «Индустрия наносистем и материалы», «Живые системы» и др.), таких как:

- проблемно-ориентированные поисковые исследования фундаментального характера;
- прикладные исследования;
- технологические и опытно-конструкторские работы;
- работы по подготовке и организации производства биофармацевтических препаратов;
- инновационные процессы.

Предлагаемый алгоритм (комплексная программа цикла) или учебный план, обеспечивающий получение таких компетенций магистрам по программе «Технология биофармацевтических препаратов», представляется как *логически непрерывная методологическая «нитка»*, или «триада»: фундаментальные основы МП → технологические основы МП → организационные основы МП, и включает следующие основные и сопряженные дисциплины:

1. Программа **вступительного экзамена по направлению бакалавриата «Химическая технология и биотехнология»** в магистратуру по программе «Технология биофармацевти-

ческих препаратов».

Программа составлена на основе следующих курсов бакалавриата:

«Методы получения биологически активных соединений (БАС)», «Основы биохимии и химия БАС», «Принципы биотехнологии», «Промышленная биотехнология».

2. Блок дисциплин, определяющих **фундаментальные** (теоретические) основы МП «Технология биофармацевтических препаратов»:

2.1. Программа дисциплины **«Субстанции для продуктов биофармацевтической технологии»** («Объекты биофармацевтических производств») и ее разделы:

- Биологически активные соединения природного происхождения.
- Синтетические физиологически активные вещества.
- Комплексные структуры.

2.2. Программа дисциплины **«Методы создания субстанций (структур) – продуктов биофармацевтической технологии»** и ее разделы:

- Выделение из природных источников.
- Химический синтез.
- Биотехнологические способы получения.

2.3. Программа дисциплины **«Методология выделения и очистки, исследование физико-химических свойств физиологически активных веществ»**

Дисциплина ориентирует учащихся на выбор современных методов выделения и физико-химического анализа биологически активных соединений (физиологически активных веществ) различных классов.

2.4. Программа дисциплины **«Способы конструирования биофармацевтических препаратов на базе субстанций различного происхождения»**

Дисциплина включает разделы «Химия лекарств» и «Системы адресной доставки лекарств». Дисциплина предназначена для углубленной специализации будущих магистров техники и технологии в области создания различных систем, в том числе нано- и микросистем доставки лекарственных веществ.

3. Блок дисциплин, определяющих **технологические** (прикладные) основы МП «Технология биофармацевтических

препаратов»:

3.1. Программа дисциплины **«Технология промышленного получения физиологически активных веществ (ФАВ) и биофармацевтических препаратов»** и ее разделы:

- Основы проектирования и оборудование предприятий биофармацевтической промышленности («Биофарминжиниринг»).

Раздел дисциплины включает следующие элементы инженерного оформления технологических процессов:

- стерилизация технологических потоков и оборудования;
- материальные и энергетические балансы процессов;
- основы моделирования биореакторов;
- описание основного оборудования для выделения, концентрирования и очистки продуктов (субстанций) с целью получения готовых товарных форм препаратов;
- принципы регулирования, контроля и автоматического управления процессами;
- разработка и описание технологических регламентов.

- Технология получения ФАВ и биофармацевтических препаратов (типовые примеры биофармацевтических производств с иллюстрацией общей структуры и инженерного оформления процессов).

Раздел дисциплины включает следующие структурные элементы:

1. Общие принципы конструирования технологических схем ферментации.
2. Сырьевая база биофармацевтической промышленности.
3. Специфические приборы контроля и управления в процессах биофарминдустрии.
4. Ферментация и технология прокариотических продуцентов биофармпрепаратов.
5. Ферментация и технология эукариотических продуцентов биофармпрепаратов.
6. Тонкая химическая технология БАС.
7. Технология БАС на базе совмещения химико- и биотехнологических производств (комплекс «Химбиотех»).
8. Охрана окружающей среды на биофармацевтических производствах.
9. Организация и контроль производства биофармпрепаратов.

Рассмотрение вопросов этого программного раздела 3.1 предполагает ознакомление лекторов и студентов-магистрантов с технологическими регламентами (опытными, опытно-промышленными и промышленными) производств по пп. 4, 5, 6 и 7 раздела программы дисциплины. ***В качестве базового примера можно рассматривать технологии и производство в опытном отделении Института биоорганической химии (ИБХ) РАН*** – технологии рекомбинантных инсулина и соматотропина для человека, технология фармпрепарата небелкового происхождения «Ликопид», технологии рекомбинантных альбумина человека и фактора свертывания VII α – на основе современных биотехнологических способов.

- Технология выделения и очистки ФАВ и биофармацевтических препаратов («Биопроессинг»).

Этот раздел программы должен быть рассчитан на исследование и обобщение технологических стадий выделения и очистки конкретных ФАВ и биофармпрепаратов, следующих за первичными (ферментационными) стадиями получения биофармпрепаратов (см. соответствующий раздел Программы 3.1 – «Технология биофармацевтических препаратов»), как вторая часть общего технологического регламента (биопроессинг в микробной (или смешанной) технологии биофармпрепаратов).

- Управление биофармацевтическими производствами («Системы управления и оптимизация»). Концепция программы дисциплины рассчитана на постановку задачи управления, рассмотрение оптимизационных задач, математическую формулировку задачи, методы решения оптимизационных задач.

- Технологический менеджмент (усовершенствование) в биофармацевтическом производстве.

В результате реализации этого раздела дисциплины обеспечиваются:

- начальный опыт в стремлении магистров техники и технологии решать вопросы оптимизации технологических

процессов без существенных капитальных вложений в производство;

- овладение уровнями задач по проектированию промышленных предприятий биофармацевтической отрасли (достаточных для потенциала магистра завода, производственной или научно-внедренческой фирмы);

- умение представить исходные данные и методический алгоритм оформления опытных или лабораторных регламентов и соответствующих технологических схем, технических условий на продукцию или услуги, технические задания или бизнес-планы на получение заданных количеств (показательных единичных образцов, опытных партий) биофармацевтических продуктов разнообразного назначения. Разбор материала проводится на примере конкретного проекта (или нескольких проектов) будущей квалификационной диссертационной работы.

- Новые перспективные процессы в производстве биофармацевтических препаратов.

Содержание этого раздела дисциплины 3.1 включает рассмотрение перспективной проблематики. Особое внимание уделяется следующим вопросам: общая характеристика полимерных носителей (ПН), их строение и реакционная способность. Иллюстрируется

применение ПН в биотехнологии и синтезе БАС, а именно: (i) аффинная хроматография; (ii) иммобилизация ферментов и белков; (iii) синтез биоолигомеров на твердой фазе.

В целом, в рамках комплексной дисциплины 3.1 должны быть отражены практически все дисциплины ныне функционирующего инженерного цикла (программы ВИШ), информатика, контроль производства, техника безопасности и т.д.

3.2. Программа дисциплины ***«Информационные технологии в биофармацевтическом производстве»*** («Биоинформатика»).

Рассматривается использование информационных технологий в проектировании и в процессе

функционирования биофармацевтического производства.

3.3. Программа дисциплины **«Инженерные системы промышленной безопасности в биофармацевтических производствах»** («Промбезопасность»).

4. Блок дисциплин, определяющих **организационно-правовые и технико-экономические** основы МП «Технология биофармацевтических препаратов»:

4.1. Программа дисциплины **«Нормативно-правовое обеспечение биофармацевтических производств»** и ее разделы:

- аналитический контроль субстанций и лекарственных средств (основные направления фармакологических исследований, необходимых для регистрации биофармпрепаратов);
- нормативная база утверждения статуса готовой лекарственной готовой формы (ГЛФ) и применения ГЛФ в практическом здравоохранении;
- лицензирование производства, аккредитация контрольных лабораторий;
- нормативное регулирование производства биофармацевтических препаратов.

4.2. Программа дисциплины **«Современная система организации биофармацевтических производств** (инженерные системы биологической безопасности – GLP, GMP и т.д.)».

Рассматриваются инженерные системы биологической безопасности промышленных производств (стерилизация объектов биофармацевтической технологии; инженерное обеспечение испытаний и производства продукции в соответствии с международными стандартами (GLP, GMP)); технические показатели класса чистоты биофармацевтических производственных помещений.

4.3. Программа дисциплины **«Экономика, организация и управление предприятиями биофармацевтических производств»** («Биоэкономика»).

Концепция программы дисциплины может быть представлена следующей структурой дисциплины:

- инновационный менеджмент;
- управление рисками;
- технико-экономическое обоснование на

стадии проектирования биофармацевтических производств;

– технико-экономический анализ эффективности биофармацевтического производства.

4.4. Положение о прохождении **производственной практики** студентами, обучающимися по МП «Технология биофармацевтических препаратов».

Слушатели магистратуры, как будущие исследователи и (или) организаторы прикладных исследований и разработок, должны знать реальные технологические и инженерные проблемы для того, чтобы научно-технические решения были приемлемы для их практической реализации, т.е. внедрения (инновации) на промышленном уровне. В этом смысле будущие магистры будут иметь **«технологическое сознание»**, т.е. определенные знания в области производственной технологии, особенно на стыке биотехнологии, химической инженерии, фармакологии. Именно поэтому в рамки магистерской программы введена обязательная специальная дисциплина **«Производственная практика студентов, обучающихся по МП «Технология биофармацевтических препаратов»**.

Дисциплина осуществляется на современной производственной базе ИБХ РАН, где реализуются значительные достижения российской биофармацевтической науки.

4.5. Программа **постдипломного образования**.

Многие положения программы ориентируются на значительный опыт постдипломного образования в МИТХТ.

В заключение следует отметить, что освоение всей предлагаемой МП будет реализовано на базе существующего бакалавриата по направлению «Химические технологии и биотехнология». Базовыми дисциплинами бакалавриата являются дисциплина «Основы биотехнологии» и специальные дисциплины бакалавриата, устанавливаемые вузом. В МИТХТ это – «Методы получения БАС», «Основы биохимии и химия БАС», «Принципы биотехнологии», «Промышлен-

ная биотехнология».

В магистерскую программу могут войти рассмотренные выше дисциплины в виде циклов «Специальные дисциплины» и «Дисциплины по выбору». Распределение дисциплин по циклам определяется спецификой вуза, факультета и системообразующих кафедр.

Дисциплины, входящие в МП, в ряде случаев представляются составными и хорошо отработанными частями информационно-программного образовательного комплекса «Инженерные проблемы биотехнологии» как методологической системы планов, пособий и указаний. Именно этот комплекс весьма органично может стать исходной базой информационных данных для получения высокой квалификационной степени в сфере высшего технологического образования – магистра по программе «Технология биофармацевтических препаратов».

В этом комплексе (иллюстрируемым перечнем наиболее важных публикаций – см. [1–8]) впервые в теории и практике высшего биотехнологического образования оказались логично связанными специальные разделы типичных инженерных и профильных для соответствующих кафедр МИТХТ дисциплин – процессов и аппаратов химической технологии, моделирования химико-технологических процессов, систем управления и контроля химико-технологических процессов и собственно биотехнологии (в ее инженерных и

прикладных разделах).

Более того, эта база данных может и должна успешно интегрироваться с новыми информационными базами, например, в соответствии с концепцией, развитой в новом учебно-методическом пособии МИТХТ – «Фармацевтический инжиниринг» [9], а также других новейших приоритетных пособиях [10–12].

Предполагается, что группы студентов – слушателей магистратуры по биофармацевтической технологии будут формироваться из выпускников бакалавриата всех специальностей МИТХТ после соответствующего тестирования, а также выпускников бакалавриата других вузов.

Целевая аудитория слушателей МП «Технология биофармацевтических препаратов» может быть существенно расширена за счет переподготовки инженерно-технических специалистов химико-фармацевтических, биохимических, инженерно-иммунологических и других производственных фирм.

Итак, нами сделана попытка дать научно-концептуальное обоснование организационной структуры новой магистерской программы «Технология биофармацевтических препаратов» на основе интеграции многоуровневой фундаментальной подготовки и использования достижений российской науки, а также целесообразности выделения в непрерывном технологическом образовательном процессе основных уровней подготовки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Опыт кафедры Биотехнологии в подготовке магистров и специалистов в рамках многоуровневой структуры высшего химико-технологического образования / В.И. Швец [и др.] // Опыт реализации и перспективы развития многоуровневой структуры высшего образования : док. Научно-методической конф., МИТХТ, Москва - М., 2000 - С. 57-61.
2. Инженерные основы биотехнологии. Учебное пособие для студентов Высшей инженерной школы [Электронный ресурс] : [интерактив. учеб.]. / Регистрац. свидет. №1195 от 14 ноября 2001 г. Номер госучета 0320100382. ; ред. Д.Г. Победимский и В.И. Швец.
3. Сборник учебных программ, типовых заданий и вопросов. Учебное пособие для бакалавров по направлению 550800 «Химическая технология и биотехнология» // Швец В.И.. [и др.] – М. : МИТХТ, 2002. – 2,4 п.л.
4. Пшеничникова, А.Б. Подготовка научных кадров в соответствии с магистерской программой 550822 «Молекулярная и клеточная биотехнология» / А.Б. Пшеничникова,

В.И. Швец // Биотехнология: состояние и перспективы развития : Материалы II Междунар. конгресса, т. II, Москва, 10-14 ноября 2003. – М., 2003. – С. 275.

5. Биотехнология: сб. учебных программ профилирующих дисциплин специальности 07.01.00 «Биотехнология» и специализаций: 07.01.01 «Технология белковых и биологически активных веществ», 07.01.02 «Технология биоорганического синтеза», 07.01.03 «Технология лекарственных препаратов». Учебное пособие для студентов Высшей инженерной школы. Руководство для постдипломного образования. / В.И. Швец, А.Ф. Миронов, Д.Г. Победимский. – М. : МИТХТ, 2004. – 3,2 п.л.

6. Швец, В.И. Принципы построения и опыт организации образовательной системы нового поколения в области биотехнологии на основе интеграции многоуровневой фундаментальной подготовки и использования достижений российской науки / В.И. Швец, Д.Г. Победимский // Биотехнология: состояние и перспективы развития : Материалы III Междунар. конгресса, т. II, Москва, 14-18 марта 2005. – М., 2005. – С. 286-287.

7. Швец, В.И. Принципы построения и опыт организации образовательной системы нового поколения в области биотехнологии на основе интеграции многоуровневой фундаментальной подготовки и использования достижений российской науки / В.И. Швец [и др.] // Биотехнология. – 2005. - №4. – С. 84-94.

8. Инженерные основы биотехнологии: учебное пособие (II-е издание) / Отв. ред. Д.Г. Победимский, В.И. Швец. - Саратов : Изд-во Саратовского государственного аграрного университета; 2005. - 24 п.л.

9. Фармацевтический инжиниринг: сб. учебных программ дисциплин дополнительной профессиональной образовательной программы для получения дополнительной квалификации «Менеджер фармацевтического инжиниринга» / В.В.Береговых [и др.] – М.: МИТХТ, 2006. - 28 с.

10. Биотехнология: сб. учебно-методической документации для аспирантов, обучающихся по специальности 03.00.23 / Отв. ред. акад. РАМН В.И.Швец. - М.: МИТХТ, 2006. – 44 с.

11. Современные достижения, проблемы и перспективы развития биоорганической химии и биотехнологии. Программа теоретического обучения аспирантов по специальности 02.00.10 «Биоорганическая химия» и 03.00.23 «Биотехнология». Учебно-методическое пособие. / Отв. ред. акад. РАМН В.И.Швец. - М.: МИТХТ, 2006. - 43 с.

12. Молекулярная и клеточная биотехнология.: сб. учебных программ профилирующих дисциплин магистерской программы 550822. Учебное пособие для магистров. / В.И. Швец, А.Б. Пшеничникова, Г.М.Сорокоумова. – М.: МИТХТ, 2006. – 56 с.

РОССИЙСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ БИОТЕХНОЛОГИИ

**В.В. Береговых, *В.А. Быков, **В.Т. Иванов, А.Ф. Миронов,
**Т.В. Овчинникова, Д.Г. Победимский, И.Д. Симонов-Емельянов,
В.А. Соломонов, А.К. Фролова, В.И. Швец*

**Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова*

***Институт биоорганической химии им. акад.М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН*

На основе системного подхода многоуровневой структуры образовательных программ и направленной инновационной деятельности представлены пути модернизации традиционного биотехнологического образования до наукоемкого уровня, создания современной образовательной системы и новой интегрированной структуры – Российского инновационного комплекса для построения и реализации единого учебно-научного процесса подготовки кадров мирового уровня в области биотехнологии.

Актуальность научно-практической разработки. Биотехнология является одним из мировых научно-практических приоритетов XXI века. Сегодня – это сложная, развивающаяся быстрыми темпами наукоемкая технология, аккумулирующая фундаментальные, специальные и прикладные знания многих смежных наук, объем которых стремительно возрастает. В настоящее время ее фундаментальные основы претерпевают революционные преобразования, что открывает широкие возможности для достижения совершенно новых результатов в здравоохранении, медицине, сельском хозяйстве, производстве продовольствия, защите окружающей среды и новых научных открытиях, а биотехнология выдвигается в ряд наукоемкой экономики, создающей новые возможности для общественной и экономической жизни в стране.

По оценкам экспертов, рынок суммарной биотехнологической продукции в мире в 2010 году достигнет 2 трлн. евро, однако, доля Российской Федерации в нем крайне низка и не соответствует интеллектуальному потенциалу, научно-организационным, экономическим и кадровым возможностям государства.

Правительством России поставлена приоритетная задача – войти в число

мировых лидеров. В ближайшие годы отечественная биотехнология должна совершить прорыв и внести решающий вклад в развитие наукоемкой экономики страны. Эффективность и быстрота решения этой комплексной проблемы будет определять компетентность, профессионализм кадров новой формации, владеющих последними достижениями биотехнологической науки и техники, вооруженных передовыми идеями и методами управления. Системная работа в этом направлении координируется Правительством Российской Федерации и комплексной национальной программой «Развитие биотехнологии в России на 2006–2015 г.г.», в которой особое внимание уделено подготовке кадров и созданию Национального учебно-научного биотехнологического центра (пункт 2.9 Национальной программы).

Таким образом, подготовка элитных кадров в области биотехнологии выдвигает эту проблему в ряд актуальных национальных приоритетов.

Учитывая темпы развития современной биотехнологии, динамики обновления знаний в этой области, ускорения инновационного процесса и внедрения новых технологий в практику, эффективное ее решение возможно только в рамках новой концепции и системы биотехнологического образования, а

также организационных структур нового типа, представляющих собой интегрированные комплексы учебно-научно-практического типа. Современная система биотехнологического образования должна быть построена как наукоемкая образовательная технология, в которой процесс получения знаний и компетенций является инновационным и реализуется в наукоемкой образовательной среде, включающей все новое, эффективное и передовое в области как образовательной, так и научной деятельности.

Цель научно-технической разработки – модернизация биотехнологического образования и создание современной образовательной системы подготовки кадров с компетентностями мирового уровня на базе научно-образовательной инновационной деятельности, формирование наукоемкой образовательной среды, открытие новых научно-образовательных интегрированных комплексов и целенаправленное изменение содержания образования путем дальнейшего совершенствования многоуровневой системы подготовки кадров на основе наукоемкости, фундаментальности и качества.

Основные результаты работы. Впервые ведущими российскими научно-педагогическими биотехнологическими школами профильных вузов и Российской академии наук, возглавляемыми академиками РАН и РАМН Ю.А. Овчинниковым, В.Т. Ивановым, В.А. Быковым, В.И. Швецом и другими, были сформулированы основополагающие принципы построения современного биотехнологического образования в России: *наукоемкость и фундаментальность образовательного процесса; многоуровневность реализации программ подготовки кадров; создание наукоемкой образовательной среды в условиях единства учебного и научного процессов, интеграция и взаимовыгодное партнерство в образовательной и научной сферах деятельности; развитая инфраструктура; индивидуализация и корпоративность образования; многоканальность финансирования; высокое качество и эффективность конечного*

продукта (специалиста).

На основе компетентностного подхода были сформулированы основные положения модели современного специалиста. *Современный специалист-профессионал должен обладать компетенциями, индивидуальными психофизическими качествами, обеспечивающими коммуникабельность и адаптацию, способность к обучению, логическому и творческому мышлению, а также иметь совокупность необходимых и достаточных фундаментальных, специальных и общих знаний, умений, навыков для его профессиональной деятельности, включая формулирование целей и задач и их эффективное решение.*

Научной и научно-методической основой создания и практической реализации универсальной образовательной системы и новой интеграционной структуры в российском биотехнологическом образовании – Российского инновационного учебно-научного комплекса для подготовки кадров в области биотехнологии – явились исследования, выполненные авторами разработки в период с 1990 по 2007 г., а также положительный опыт инноваций, реализованный МИТХТ им. М.В. Ломоносова в сфере образовательной и научной деятельности.

Комплекс научных, научно-методических и практических разработок, выполненных МИТХТ им. М.В. Ломоносова в период с 1993 по 2000 г. по решению Государственного Комитета высших учебных заведений России, Приказ № 719 от 14 августа 1991 года, явился фундаментальной базой для инновационных преобразований учебно-научного процесса. В рамках исследования были разработаны концепция, положения, научно-методические подходы и пути реализации высокоэффективной многоуровневой структуры образовательных профессиональных программ высшего биотехнологического образования в области подготовки кадров для наукоемких технологий; гибкие наукоемкие технологии реализации учебного процесса; основы кадровой политики для

обеспечения образовательной системы высококвалифицированными научно-педагогическими кадрами, системы аттестации и рейтингов студентов, поэтапного формирования и раскрытия творческого потенциала личности; новые учебные планы и программы полного комплекта необходимой документации по организации и проведению наукоемкого учебно-научного процесса. Основные результаты и рекомендации были включены во «Временное Положение о многоуровневой структуре высшего образования в Российской Федерации», утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации № 940 от 12 августа 1994 года.

Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова является первым химико-технологическим вузом России, которая полностью перешла на многоуровневую систему подготовки кадров и практическим опытом работы доказала ее высокую эффективность. Начиная с 1995 года, по этой системе было подготовлено более 5000 специалистов на базе 6 направлений бакалавриата, по 3 направлениям магистратуры, включающим 22 магистерские программы, и по 14 специальностям, включающим 25 специализаций.

Наукоемкость образовательного процесса – важнейший элемент формирования наукоемкой образовательной среды, построения наукоемкой технологии многоуровневой подготовки современных кадров для биотехнологии, концентрирования научных знаний в содержательной части обучения. Работа выполнена в рамках 5 проектов по Государственной научно-технической программе «Наукоемкие химические технологии» в 1993–1997 г.г. (3 проекта), Межвузовской комплексной программе «Наукоемкие технологии образования» в 1995–1997 г.г. (2 проекта) и Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» (5 проектов). Результатом явилось формирование у выпускников профессиональных, инстру-

ментальных, информационных и социальных компетенций, обеспечивающих конкурентоспособность, психологическую устойчивость, быструю адаптацию к научной деятельности и бизнес-среде.

Интеграция вузов с фундаментальной наукой и взаимовыгодное партнерство с бизнес-сообществом позволило выявить стратегических партнеров, обосновать построение организационной структуры нового типа – учебно-научно-практического комплекса – для реализации системы подготовки элитных кадров в новых условиях и принципов формирования наукоемкой среды обучения.

В рамках Федеральных целевых программ «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 г.г.», «Национальная технологическая база», «Интеграция науки и высшего образования России» было выполнено 8 проектов, в которых впервые были обоснованы подходы к созданию высокоэффективных интегрированных образовательных структур, координации совместной деятельности партнеров в едином учебно-научном процессе, определены условия формирования наукоемкой образовательной среды, развитой инфраструктуры, развиты формы и методы взаимодействия со стратегическими партнерами, отбора наиболее талантливых студентов и специалистов для работы в области наукоемких биотехнологий, повышения мотивации и качества образования при существенной экономии государственных средств, а также вхождения интегрированных структур в различные мировые образовательные системы. Созданы прочные партнерские отношения с промышленно развитыми регионами России, СНГ и зарубежными партнерами.

Организация в системе Российской академии наук и опыт учебно-научной деятельности Учебно-научного центра ИБХ РАН (УНЦ ИБХ РАН), созданного основателем отечественной биотехнологии академиком Ю.А. Овчинниковым в Институте биоорганической химии

им. М.М. Шемякина Российской академии наук, стала организационным фундаментом построения структуры нового типа – интегрированного учебно-научного комплекса. Решением Координационного межведомственного совета по приоритетному направлению «Науки о жизни и биотехнология» от 15 ноября 1993 г. он был утвержден в качестве головной организации по подготовке кадров в области науки о жизни и биотехнологии в Российской академии наук.

Идеология современного биотехнологического образования, пути его реализации, сформулированные научно-методологические основы построения образовательного процесса позволили объединить в стройную систему учебно-научную инновационную деятельность 4 профильных вузов страны в области подготовки кадров для биотехнологии. Это привело к созданию универсальной системы биотехнологического образования в России и первого в стране Российского инновационного учебно-научного комплекса для подготовки кадров мирового уровня для биотехнологии.

В организационную структуру Комплекса вошли 4 профильных вуза России с признанными мировым сообществом научными и научно-педагогическими биотехнологическими школами, которые определяют развитие биоорганической химии, биотехнологической науки и высшего образования в стране – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова (МИТХТ), Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова (ММА), Российский университет дружбы народов – и Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук (ИБХ РАН), включая учебно-научный центр ИБХ РАН (УНЦ ИБХ РАН) и его Пущинский филиал.

Создание новой организационной структуры позволило объединить интеллектуальные силы партнеров в

уникальный единый потенциал, сконцентрировать и рационально использовать материальные и людские ресурсы для подготовки кадров для биотехнологии в вузах различной направленности из разных регионов России – всего свыше 30 (университеты, медицинские, сельскохозяйственные, технологические, педагогические и др. вузы) и выполнения крупных проектов и инновационных программ. Инновационная деятельность Комплекса оказывает существенное влияние на предприятия и организации биотехнологической отрасли в результате создания корпоративных центров, целевой подготовки кадров, повышения квалификации и переподготовки специалистов. Более 50 отраслей вошло в комплексную программу подготовки кадров – фармацевтический инжиниринг.

Российский инновационный учебно-научный комплекс занял передовые позиции в международной интеграции. Он успешно сотрудничает с 25 зарубежными университетами и научно-исследовательскими институтами Швейцарии, Швеции, Нидерландов, Франции, Германии, США и других стран, а также Европейской ассоциацией высшего биотехнологического образования и Организацией объединенных наций по вопросам образования науки и культуры (UNESCO). В течение 10 лет согласно международной интеграции было подготовлено более 50 специалистов из 32 зарубежных стран. Признание научно-методической, образовательной и международной деятельности, многолетнего опыта и достижений способствовало вхождению Комплекса в мировую элиту образовательных биотехнологических центров и Европейскую ассоциацию высшего технологического образования.

Подготовка кадров в Российском инновационном учебно-научном комплексе ведется в полном соответствии с государственными образовательными стандартами, согласно многоуровневой структуре образовательных профессиональных программ и наукоемкой технологии обучения по согласованным и

скоординированным планам. Универсальность предложенной системы заключается в возможности использования как многоуровневой, так и линейной подготовки специалистов.

Только в рамках многоуровневой системы удалось эффективно выстроить стройную систему современного биотехнологического образования. Базовая фундаментальная, инженерная подготовка и отбор наиболее способных студентов в технологических вузах ведется на первой ступени высшего образования (образовательные уровни 1 и 2 – студенты 1–3 курсов) на кафедрах в профильных вузах, имеющих свою специфику, традиции и особенности построения учебного процесса. Студенты 4–6 курсов (бакалавриат, магистратура и высшая инженерная школа – образовательный уровень 2 и профессиональный уровень 1), отобранные по рейтингу, проходят обучение в структурном подразделении комплекса – УНЦ ИБХ РАН, а также на специальных кафедрах профильных вузов по индивидуальным учебным планам. Этот принцип, в частности, реализован в МИТХТ при подготовке по следующим основным программам биотехнологического образования: магистерские программы – 550822 «Молекулярная и клеточная биотехнология», 550828 «Химия и технология биологически активных веществ», и специальности – 070100 «Биотехнология» со специализациями 070101 «Технология белковых и биологически активных веществ», 070102 «Технология биоорганического синтеза», 070103 «Технология лекарственных препаратов». В УНЦ ИБХ РАН ежегодно по индивидуальным учебным планам проходит обучение более 200 студентов из 4 профильных вузов (10 факультетов и 13 специальных кафедр). Подготовка ведется по 2 направлениям бакалавриата, 4 магистерским программам и 6 специальностям, в том числе по 12 специализациям в области биоорганической химии, биотехнологии, биологии, химии лекарственных веществ, фармакологии, медицины и др. В подготовке кадров принимают участие

53 ученых-преподавателя ИБХ РАН, среди которых академики и члены-корреспонденты РАН, профессора, доктора и кандидаты наук, руководители подразделений и ведущие специалисты. Программа обучения в разных структурных подразделениях Комплекса, включая УНЦ ИБХ РАН, насыщена уникальными курсами лекций и практикумами по новым дисциплинам, отражающими современное состояние биотехнологической науки. Разработаны и читаются 31 эксклюзивный курс лекций, из них 7 по биотехнологии, создан уникальный общий и специализированные практикумы (всего 7 практикумов) по основным направлениям современной физико-химической биологии и биотехнологии, проводится итоговая аттестация в виде зачетов и экзаменов. Проведение на 4-м (общеобразовательный уровень 2), 5-м или 6-м (профессиональный уровень 1) курсах научных исследований в рамках выполнения квалификационных работ (бакалавр или инженер) или магистерских диссертаций, или университетских дипломных работ осуществляется, как правило, по индивидуальному учебному плану с учетом рейтинга и индивидуальных способностей каждого конкретного студента.

Одним из подразделений ИБХ РАН является уникальное опытное биотехнологическое производство по получению и выпуску новых лекарственных средств и препаратов нового поколения. Опытные производства стали единственной в России специализированной базой производственной практики студентов в области современных биотехнологий.

За последние 5 лет в Российском инновационном учебно-научном комплексе прошло обучение 1064 студента, которые на Государственных аттестационных комиссиях в профильных вузах страны (экспертная оценка подготовки кадров) защищали магистерские диссертации и квалификационные работы бакалавров, специалистов и инженеров. О высоком уровне подготовки специалистов можно судить по следующим данным: из общего числа работ защищено с оценкой

«отлично» — 89%, с рекомендацией к опубликованию — 93%, а диплом с отличием получили 62% и продолжили обучение в аспирантурах профильных вузов и ИБХ РАН от 58 до 100% выпускников. Кандидатские диссертации защитили более 54% выпускников Комплекса. С 2000 по 2003 г. было защищено 6 докторских и 104 кандидатских диссертаций. Практически 95% всех выпускников работают в областях наукоемких биотехнологий в институтах Российских академий наук (РАН, РАМН, РАСХН), государственных научных центрах России, предприятиях и ведущих фирмах. По многочисленным отзывам потребителей в Российском инновационном учебно-научном комплексе готовятся специалисты-профессионалы мирового уровня, полностью удовлетворяющие требованиям современной биотехнологической отрасли.

Практические результаты и рекомендации авторов представленной разработки получили одобрение Комитета по промышленности, строительству и наукоемким технологиям Государственной Думы РФ (протокол № 3 от 11 октября 2005 года) и использованы Рособрнаукой в качестве основополагающих материалов при составлении директивных документов в области биотехнологического образования.

Таким образом, в результате проведенных исследований, интеграционных процессов и инновационной деятельности в области образования и науки

- разработана концепция, сформулированы основные принципы и построена универсальная система современного биотехнологического образования в России;
- впервые в России создана новая высокоэффективная интегрированная структура — Российский инновационный учебно-научный комплекс по подготовке кадров с компетенциями мирового уровня для биотехнологической отрасли;
- разработаны и внедрены в практику многоуровневая система реализации профессиональных программ на уровне мировых стандартов согласно Болонской системе, новые технологии, учебные дисциплины и планы подготовки,

переподготовки кадров и повышения квалификации специалистов в области биотехнологии, обеспечивающие функционирование Российского инновационного учебно-научного комплекса как единой высокоэффективной образовательной структуры;

- на основе разработанных методов аттестации, поэтапного контроля, рейтингов и методологии обучения реализована эффективная система отбора, формирования и раскрытия творческого потенциала и способностей каждого обучающегося; разработаны гибкие траектории обучения и подготовки кадров по индивидуальным планам и программам на разных образовательных уровнях с учетом объективных показателей качества;

- Российский инновационный учебно-научный комплекс, реализующий универсальную систему современного биотехнологического образования, практически решает (в течение 10 лет) на мировом уровне приоритетную государственную задачу подготовки специалистов-профессионалов, переподготовки и повышения квалификации инженерных, научных и педагогических кадров для биотехнологической отрасли.

Результаты работы отражены в многочисленных публикациях и научно-технических разработках, а также в докладах на конференциях и съездах. За последние 10 лет результаты научно-практической разработки доложены авторами на 3-х конгрессах Общества биотехнологов России (2004, 2005, 2006 г.г.), на 3-х Московских международных конгрессах «Биотехнология. Состояние и перспективы развития» (2002, 2003, 2004 г.г.) и на 55 международных и всероссийских конференциях и круглых столах.

По актуальности, постановке целей и задач, методам и уровню их решения, новизне и практической значимости полученных результатов, оказавших эффективное влияние на развитие системы биотехнологического образования в Российской Федерации, выводам и рекомендациям представленная научно-практическая разработка полностью соответствует Федеральному уровню и не имеет аналогов в мировой практике высшего биотехнологического образования.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРОВ. 1. ТЕОРИЯ

А.А. Валишин, Т.С. Степанова

Многомерный регрессионный анализ используется для статистической обработки экспериментальных данных по длительной прочности полимеров. Сформулированы важнейшие статистические модели температурно-временной зависимости прочности: (модель Журкова и модель Регеля-Ратнера). Получены формулы для нахождения статистических оценок коэффициентов регрессии моделей и физических параметров долговечности. Проведен полный статистический анализ моделей.

1. Долговременная прочность полимеров проявляется на практике как температурно-временная зависимость прочности (ТВЗП). Явление ТВЗП систематически исследуется с 50-х годов прошлого столетия. ТВЗП – важнейшее прочностное свойство полимеров. Оно проявляется у многих материалов самой разной природы, но в первую очередь ТВЗП присуща полимерам.

Для твердых полимеров (кристаллических и аморфных) ТВЗП чаще описывается формулой Журкова [1]:

$$\tau = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/(kT)] \quad (1)$$

В этой формуле τ – долговечность при постоянном растягивающем напряжении σ и постоянной температуре T , k – постоянная Больцмана; τ_0, U_0, γ – эмпирические константы, подлежащие определению из экспериментально полученных значений долговечности. В нашу задачу сейчас не входит обсуждение их физического смысла; об этом можно прочитать в монографии [1]. Эти константы определяются, как правило, графически из данных изотермического и изобарического экспериментов по долговечности. Подробно методика графического определения параметров формулы (1) описана в [1].

Однако, не столь редко встречаются и отклонения от формулы Журкова. Самым известным из них является, так называемый, эффект смещения полюса, когда ТВЗП описывается обобщенной формулой Регеля-Ратнера:

$$\tau = \tau_0 \exp\left[U_0 - \gamma \sigma \left(\frac{1}{kT} - \frac{1}{kT_n}\right)\right] \quad (2)$$

В эту формулу добавлена еще одна константа T_n – температура полюса пучка прямых долговечности в координатах $(1/T, \lg \tau)$.

Эффект смещения полюса был впервые обнаружен в работах представителя школы академика С.Н. Журкова – В.Р. Регеля и вызвал оживленную дискуссию на научных конференциях и в печати. Высказывались различные мнения о причинах смещения полюса, в тоже время многие исследователи выражали сомнение в реальности этого эффекта, приписывая его погрешностям обработки экспериментальных данных. Горячим сторонником реальности этого эффекта был С.Б. Ратнер. Он не только подтвердил его своими экспериментами, но и обнаружил новый вид ТВЗП, отличной от (1) и (2) [2], который, впрочем, не обсуждается в этой статье.

После смерти С.Б. Ратнера внимание научной общественности к этому вопросу ослабло, и он остался открытым. Мы считаем необходимым вернуться к этой проблеме, так как она естественно вписывается в наши представления о нелинейных эффектах в кинетике разрушения полимеров [3]. С этой точки зрения смещение полюса является просто одним из таких нелинейных эффектов. Кроме того, в этой статье мы покажем, что принципиальный вопрос о наличии или

отсутствии смещения полюса естественно решается статистическими методами.

2. Следует заметить, что в практике экспериментальных исследований прочности полимеров совершенно недостаточно применяются статистические методы при обработке экспериментальных данных. Так, из богатого арсенала регрессионного анализа используется лишь простейшая одномерная форма метода наименьших квадратов (м.н.к.), да и то без статистического анализа. Многомерный регрессионный анализ, который позволяет строить и исследовать статистические модели, описываемые функциями многих переменных, практически совсем не известен. В работе [4] мы попытались частично восполнить этот пробел.

При испытаниях на долговечность значения напряжения и температуры (аргументов или факторов) фиксируются с ошибкой, много меньшей, чем измеренная долговечность. Поэтому ошибкой в фиксации напряжения и температуры обычно пренебрегают и считают, что они фиксируются точно. Измеренные же значения долговечности фиксируются со значительным разбросом.

Причин такого разброса в основном две: а) влияние на результат измерения случайных инструментальных факторов, не имеющих отношения к физической природе изучаемого явления; б) влияние

случайных неоднородностей материала испытываемых образцов.

Последний фактор особенно сильно себя проявляет при испытаниях малых образцов (тонкие волокна и пленки) [5]. Поэтому полученные в эксперименте значения долговечности суть реализации случайной величины, и зависимость долговечности от напряжения и температуры – статистическая. Но зависимость среднего значения нескольких измерений долговечности от тех же аргументов – функциональная. Такая зависимость называется, как известно, корреляционной или регрессией. С этой точки зрения все эмпирические формулы долговечности суть уравнения регрессии.

Задачами регрессионного анализа являются: а) по экспериментальным данным построить регрессионную модель и найти оптимальное уравнение регрессии; б) оценить коэффициенты выбранной модели (коэффициенты регрессии или регрессоры) и найти их статистические характеристики; в) оценить адекватность выбранной модели по имеющимся экспериментальным данным и в случае неадекватности перейти к другой модели.

Путем последовательной «постройки» находится наилучшая регрессионная модель.

Для дальнейшего изложения удобно представить (1) и (2) в несколько ином виде. Формула Журкова (1):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 y + \beta_{12} xy, \quad (3a)$$

$$\eta = \lg \tau, \sigma = \frac{1}{kT}, \beta_0 = \lg \tau_0, \beta_1 = MU_0, \beta_{12} = -M \gamma \quad (3a')$$

$$M = \lg e \approx 0.434$$

Формула Регеля-Ратнера (2):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_{12} xy, \quad (4a)$$

$$\eta = \lg \tau, \sigma = \frac{1}{kT}, \beta_0 = \lg \tau_0 - M \frac{U_0}{kT_n}, \beta_1 = M \frac{\gamma}{kT_n}, \beta_2 = MU_0, \beta_{12} = -M \gamma \quad (4a')$$

По терминологии регрессионного анализа x и y называются предикторами; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}$ – коэффициентами регрессии или регрессорами; η – измеряемым откликом. Формулы (3a) и (4a) назовем регрессионными моделями Журкова и Регеля-Ратнера, соответственно. По

имеющимся экспериментальным значениям отклика η необходимо найти оптимальные оценки регрессоров и их точность. Связь коэффициентов регрессии с физическими параметрами долговечности выражается формулами (3б) и (4б).

Поэтому получаем:

Формула Журкова:

$$\lg \tau = \beta_0, U_0 = \frac{\beta_1}{M}, \gamma = -\frac{\beta_2}{M} \quad (5)$$

Формула Регеля-Ратнера:

$$\lg \tau = \frac{1}{M} \left(\beta_0 - \frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_2} \right), U_0 = \frac{\beta_1}{M}, \gamma = -\frac{\beta_2}{M}, kT_n = -\frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (6)$$

По этим формулам, зная оценки регрессоров, можно найти оценки физических параметров долговечности.

Для дальнейшего нам будет удобна геометрическая точка зрения. Совокупность значений предикторов x и y образуют факторную плоскость. Измерение отклика (долговечности) производится при некоторых значениях напряжения и температуры, т.е. на некотором «экспериментальном» множестве точек факторной плоскости. Конфигурация этих точек определяет стратегию или план эксперимента. Пусть всего будет N «экспериментальных» точек и пусть в j -ой из них отклик $\lg \tau$ измеряется p_j раз, $j = 1, 2, 3, \dots, N$, то есть в этой точке произведено p_j повторных измерений. Полное число измерений долговечности во всех точках равно $N_0 = \sum_{j=1}^N p_j$; ясно, что $N_0 \geq N$. Через $w_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, p_j, j = 1, 2, 3, \dots, N$ обозначим i -тое измерение отклика в j -той «экспериментальной» точке, а через:

$$\bar{w}_j = \frac{1}{p_j} \sum_{i=1}^{p_j} w_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

обозначим среднее результатов повторных измерений отклика в той же точке.

В основе классического регрессионного анализа лежат следующие предпосылки: а) наблюдаемое значение отклика w_{ij} в каждой «экспериментальной» точке состоит из регулярной части η_j и случайной ошибки ε_{ij} , то есть:

$$w_{ij} = \eta_j + \varepsilon_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, p_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (8)$$

Ни то ни другое не известны, измеряется лишь их сумма. Полезную информацию содержит только регулярная компонента, случайная - это шум, создаваемый действием случайных неконтролируемых причин; б) регулярная часть η_j постулируется регрессионной моделью (3а) или (4а); в) случайная компонента ε_{ij} измеренного отклика в каждой «экспериментальной» точке M_j распределена нормально с нулевым математическим ожиданием и дисперсией.

$$D(\varepsilon_{ij}|M_j) = \frac{\sigma^2}{\omega_j}, i = 1, 2, 3, \dots, p_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

Множитель ω_j называется статистическим весом j -той «экспериментальной» точки и отражает тот факт, что в разных «экспериментальных» точках измерение отклика (долговечности) может быть неравноценно. Дисперсия измерения отклика может зависеть от конкретных значений предикторов. Это явление называется гетероскедактичностью, в противоположность гомоскедактичности, когда дисперсии во всех «экспериментальных» точках одинаковы. Статистически все зависит от свойств измерительной установки и от испытываемых образцов. Испытания на долговечность могут быть проведены на различных установках, различными исследователями, в разное время, в различных лабораториях. Кроме того, образцы имеют присущую им и неустранимую статистичность из-за микронеоднородности их структуры и прочностных свойств, особенно, если они взяты из различных партий материала. Все это аккумулируется в статистическом весе. Если же все измерения в разных «экспериментальных» точках равноценны и равноточны, то есть гомоскедактичны, то можно принять $\omega_j = 1, j = 1, 2, 3, \dots, N$.

Явно определить статистические веса можно следующим образом. Из формулы (9) видно, что отношение дисперсий воспроизводимости в двух точках равно

отношению их статистических весов, то есть статистический вес – величина относительная. Поэтому выбрав какую-либо контрольную точку (причем эта точка может даже не участвовать в дальнейшей обработке), вычислим оценку дисперсии воспроизводимости в ней по формуле:

$$\hat{D}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{p_j} (w_{ij} - \bar{w}_j)^2}{p_j - 1} \quad (10)$$

Во всех остальных точках оценки дисперсии воспроизводимости вычислим по аналогичной формуле. В результате найдем:

$$\omega_j = \frac{\hat{D}(M_j)}{\hat{D}_0}, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (11)$$

Найдя статистические веса, тем самым, определим весовую матрицу G :

$$G = \begin{pmatrix} \omega_1 p_1 & 0 \dots & 0 \\ 0 & \omega_2 p_2 \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \dots & \omega_N p_N \end{pmatrix} \quad (12)$$

Это диагональная матрица размером $(N \times N)$.

Среднее измеренных значений отклика во всех «экспериментальных» точках также представляется в виде регулярной и случайной частей:

$$x_j^k = \frac{x_j - \bar{x}}{s_x}, y_j^k = \frac{y_j - \bar{y}}{s_y}, z_j^k = \frac{z_j - \bar{z}}{s_z}, w_j^k = \frac{w_j - \bar{w}}{s_w} \quad (16 \text{ а})$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j x_j}{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j}, \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j y_j}{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j}, \bar{z} = \frac{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j z_j}{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j}, \bar{w} = \frac{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j \bar{w}_j}{\sum_{j=1}^N \omega_j p_j} \quad (16 \text{ б})$$

$$s_x^2 = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (x_j - \bar{x})^2, s_y^2 = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (y_j - \bar{y})^2, \\ s_z^2 = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (z_j - \bar{z})^2, s_w^2 = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (\bar{w}_j - \bar{w})^2 \quad (16 \text{ в})$$

В кодированных переменных регрессионная модель (15) принимает вид:

$$w_j^k = \alpha_1 x_j^k + \alpha_2 y_j^k + \alpha_3 z_j^k + \bar{\varepsilon}_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (17)$$

В этой формуле кодированные коэффициенты регрессии $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ связаны с некодированными коэффициентами соотношениями:

$$\bar{w}_j = \eta + \bar{\varepsilon}_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (13)$$

В этой формуле $\bar{\varepsilon}_j$ – среднее от ошибок случайных измерений в той же точке. Величина $\bar{\varepsilon}_j$ также распределена нормально с нулевым математическим ожиданием и дисперсией.

$$D(\bar{\varepsilon}_j | M_j) = \frac{\sigma^2}{\omega_j p_j}, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (14)$$

Регрессионные модели (3а) и (4а) можно объединить в одну обобщенную модель. С учетом (13) это будет:

$$\bar{w}_j = \beta_0 + \beta_1 x_j + \beta_2 y_j + \beta_3 z_j + \bar{\varepsilon}_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (15)$$

В этой формуле $z = xy$. Модель Журкова получается отсюда, когда отсутствует слагаемое с предиктором x .

Опытные данные о предикторах и об отклике обычно имеют различный физический смысл и различные размерности. Это вызывает вычислительные неудобства, поскольку приходится работать как с очень большими, так и с очень малыми числами, это влечет значительные вычислительные ошибки. Для уменьшения этого нежелательного эффекта предикторы и отклик кодируют. Кодированные переменные для обобщенной модели (15) имеют вид:

$$\alpha = \frac{s_x}{s_w} \beta_1, \alpha_2 = \frac{s_y}{s_w} \beta_2, \alpha_3 = \frac{s_z}{s_w} \beta_3, \quad (18)$$

В кодированной модели (18) отсутствует свободный член. Все переменные кодированной модели – безразмерные. Кодирование постулированной модели является необходимым предварительным этапом. В дальнейшем, если не Модель Журкова:

$$\lg t_0 = \bar{w} - \bar{y} - \frac{s_w}{s_y} \alpha_2 - \bar{z} \frac{s_w}{s_z} \alpha_3, U_0 = M^{-1} \frac{s_w}{s_y} \alpha_2, \gamma = -M^{-1} \frac{s_w}{s_z} \alpha_3 \quad (19 \text{ а})$$

Модель Регеля-Ратнера:

$$\lg t_0 = \bar{w} - \bar{x} \frac{s_w}{s_x} \alpha - \bar{y} \frac{s_w}{s_y} \alpha_2 - \bar{z} \frac{s_w}{s_z} \alpha_3 - \frac{s_w s_z}{s_x s_y} \frac{\alpha \alpha_2}{\alpha_3}, U_0 = M^{-1} \frac{s_w}{s_y} \alpha_2, \gamma = -M^{-1} \frac{s_w}{s_z} \alpha_3, \frac{1}{kT_n} = -\frac{s_z}{s_x} \frac{\alpha}{\alpha_3} \quad (19 \text{ б})$$

3. В дальнейшем будет удобно представить все в матричном виде. С этой целью введем следующие векторы и матрицы: вектор наблюдений (матрица – столбец) размером $(N \times 1)$

$\vec{w}^T = (\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_N)$, символ «Т» означает операцию транспонирования; вектор наблюдений $\vec{w}$ состоит из кодированных значений измеренного отклика; вектор эмпирической регрессии $\vec{\hat{w}}^T = (\hat{w}_1, \dots, \hat{w}_N)$, состоящий из предсказанных по принятой модели значений отклика; вектор ошибок $\vec{\varepsilon}^T = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)$, все это матрицы – столбцы размером $(N \times 1)$; вектор регрессоров $\vec{\alpha}^T = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ и вектор их статистических оценок $\vec{\hat{\alpha}} = (\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3)$ – это матрицы-столбцы размером (3×1) . Наконец, введем матрицу F, размер которой для обобщенной модели и модели Регеля-Ратнера равен $(N \times 3)$, состоящую из кодированных значений предикторов во всех «экспериментальных» точках:

$$F = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & z_N \end{pmatrix} \quad (20)$$

Для модели Журкова в матрице плана отсутствует первый столбец. Взвешенная с весами $\omega_j p_j$ сумма элементов каждого столбца матрицы плана равна нулю, а взвешенная с тем же весом сумма их квадратов равна единице. Случайный вектор ошибок $\vec{\varepsilon}$ имеет нулевое математическое ожидание и диагональную дисперсионную матрицу

$$C(\vec{\varepsilon}) = \sigma^2 G^{-1} \quad (21)$$

В этой формуле G^{-1} – матрица, обратная к весовой матрице G (12), σ^2 – дисперсия воспроизводимости гомоскедастических повторных измерений отклика $\lg \tau$ в «экспериментальных» точках.

Постулированная кодированная регрессионная модель (17) в матричном виде записывается так:

$$\vec{\gamma} = F \vec{\alpha} \quad (22 \text{ а})$$

$$\vec{w} = F \vec{\alpha} + \vec{\varepsilon} \quad (22 \text{ б})$$

На основе экспериментальных данных по долговечности можно найти статистическую оценку вектора регрессоров $\hat{\alpha}$. С помощью этой оценки вычисляется вектор эмпирической регрессии $\hat{w}$, то есть предсказанные по модели значения отклика:

$$\hat{w} = F\hat{\alpha} \quad (23)$$

Формула (22 б) представляет собой систему линейных уравнений относительно вектора регрессоров $\hat{\alpha}$. Решая ее методом наименьших квадратов, получаем оценку:

$$\hat{\alpha} = B^{-1}F^T G\bar{w} \quad (24)$$

В этой формуле матрица B размером (3×3) для модели Регеля-Ратнера и (2×2) для модели Журкова называется информационной матрицей и равна

$$B = F^T GF \quad (25)$$

Компоненты вектора $\hat{\alpha}$, определяемого формулой (24), являются статистическими оценками регрессоров кодированной модели. Так как в основе этих оценок лежат наблюдаемые значения отклика, содержащие случайную составляющую, то и сами оценки являются случайными величинами со своими статистическими свойствами. Если постулированная регрессионная модель адекватна экспериментальным данным, то оценки (24) не смещены, то есть

$$M[\hat{\alpha}] = \bar{\alpha} \quad (26)$$

Дисперсионная матрица вектора оценок $\hat{\alpha}$ равна:

$$V(\hat{\alpha}) = \sigma^2 B^{-1} \quad (27)$$

Это симметричная квадратная матрица размером (3×3) для модели Регеля-Ратнера и (2×2) для модели Журкова. Ее диагональные элементы равны дисперсиям оценок регрессоров $\hat{\alpha}_i$, а внедиагональные элементы равны ковариациям оценок $\hat{\alpha}_i$. Отличие от нуля внедиагональных элементов свидетельствует о коррелированности оценок. Если постулированная регрессионная модель адекватна, то

оценки $\hat{\alpha}_i$ помимо несмещенности еще эффективны и состоятельны.

Предсказываемые с помощью выбранной модели значения отклика определяют вектор эмпирической регрессии, определяемый формулой (23). Он является статистической оценкой вектора теоретической регрессии $\bar{\eta}$. Если модель адекватна, то оценка (23) – несмещенная, то есть:

$$M[\hat{w}] = \bar{\eta} \quad (28)$$

В формулу (27) входит неизвестная величина σ^2 , появившаяся в формуле (9) и определяющая дисперсию воспроизводимости отдельных измерений долговечности. По экспериментальным данным можно построить две ее статистические оценки:

$$S_l^2 = \frac{1}{N_0 - N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{p_j} \omega_j (w_{ij} - \bar{w}_j)^2 \quad (29 \text{ а})$$

$$S_r^2 = \frac{1}{N - q} \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (\bar{w}_j - \hat{w}_j)^2 \quad (29 \text{ б})$$

В этой формуле $q = 2$ для модели Журкова и $q = 3$ для модели Регеля-Ратнера. Выборочная дисперсия S_l^2 определяется отклонениями отдельных измеренных значений отклика от их среднего значения в каждой «экспериментальной» точке; она обусловлена только ошибками воспроизводимости измерений долговечности и не зависит от выбранной модели. Вторая выборочная дисперсия S_r^2 определяется отклонениями измеренных значений отклика в каждой экспериментальной точке от предсказанных по постулированной модели; она обусловлена выбранной моделью и называется остаточной дисперсией. Обе дисперсии вычисляются для кодированных данных. Выборочная дисперсия S_l^2 является несмещенной оценкой при условии, что регрессионная модель выбрана правильно, то есть адекватна экспериментальным данным. Процедура проверки модели на адекватность будет описана ниже. Если модель признана адекватной, то обе

выборочные дисперсии S_l^2 и S_r^2 являются несмещенными оценками дисперсии σ^2 . Тогда из них можно построить объединенную оценку:

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{p_j} \omega_j (w_{ij} - \hat{w}_j)^2}{N - q} \quad (30)$$

Заметим, что если измерения долговечности в каждой «экспериментальной» точке однократные, то есть без повторных измерений, то выборочная дисперсия S_l^2 не имеет смысла. В этом случае объединенная оценка (30) не существует и дисперсию σ^2 приходится оценивать лишь по S_r^2 . Оценка дисперсии σ^2 по повторным измерениям более надежна, чем оценки, получаемые из любых других источников. Поэтому при планировании эксперимента необходимо стараться ставить эксперименты с повторениями. Найдя оценку дисперсии σ^2 , можно по формуле (27) вычислить оценки дисперсий и ковариаций регрессоров и самой регрессии.

Проверка адекватности постулированной модели является важнейшим элементом регрессионного анализа. Постулированная регрессионная модель является адекватной, если предсказанный с ее помощью вектор эмпирической регрессии $\hat{w}$ является несмещенной оценкой значений отклика, определяемых истинной моделью, то есть если выбранная модель – несмещенная оценка истинной. Обычно постепенно «настраивают» модель, каждый раз проверяя адекватность.

Проверка адекватности модели осуществляется путем сравнения двух выборочных дисперсий S_l^2 и S_r^2 . Остаточная дисперсия S_r^2 образуется по двум причинам: а) влияние случайных ошибок воспроизводимости при измерениях отклика; б) влияние неадекватности модели. Неадекватность модели проявляется в смещенности оценок

регрессоров и вектора эмпирической регрессии. В противоположность этому выборочная дисперсия воспроизводимости S_l^2 не зависит от вида модели и представляет «чистую» ошибку воспроизводимости. Если дисперсии S_l^2 и S_r^2 оказываются близки, то влияние неадекватности можно считать незначимым и признать модель адекватной. Если же S_r^2 значительно больше S_l^2 , то влиянием неадекватности пренебречь нельзя и модель нужно пересмотреть.

Сравнение выборочных дисперсий S_l^2 и S_r^2 осуществляется с помощью критерия Фишера следующим образом. Составляется отношение:

$$F = \frac{S_r^2}{S_l^2} \quad (31)$$

Статистика F имеет распределение Фишера со степенями свободы $\nu_r = N - q, \nu_l = N_0 - N$. Далее нужно задаться уровнем значимости γ и для этих чисел степеней свободы по таблицам распределения Фишера найти квантиль $F_T = F(1 - \gamma, \nu_r, \nu_l)$. Затем вычисленное по формуле (31) наблюдаемое (то есть фактическое) значение статистики F сравнить с табличным F_T . Если $F_T < F$, то дисперсия S_r^2 значимо отличается от S_l^2 и модель неадекватна; если же $F < F_T$, то различие дисперсий незначимо и с надежностью $1 - \gamma$ модель признается адекватной.

В качестве дополнительной меры, характеризующей качество выбранной модели регрессии, используется коэффициент множественной корреляции, а в отсутствие повторных измерений отклика этот коэффициент является единственным средством, позволяющим оценить пригодность модели. Коэффициент множественной корреляции определяет долю общего разброса экспериментальных значений отклика

(логарифма долговечности), объясняемую выбранной моделью регрессии. Чем ближе этот коэффициент к своему предельному значению – единице, тем лучше выбранная модель описывает экспериментальные данные.

$$R^2 = \frac{Q_R}{Q} \quad (32)$$

Сумма квадратов регрессии:

$$Q_R = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (\hat{w}_j - \bar{\bar{w}})^2 \quad (33)$$

Она обусловлена отклонением предсказанных по модели значений отклика $\hat{w}_j$ от среднего значения по всем измерениям $\bar{\bar{w}}$ из-за регрессии, то есть зависимости отклика от выбранных предикторов (зависимости $\lg \tau$ от напряжения σ и температуры T).

Общая сумма квадратов равна:

$$Q = \sum_{j=1}^N \omega_j p_j (\bar{w}_j - \bar{\bar{w}})^2 \quad (34)$$

Она определяет отклонение измеренного отклика $\bar{w}_j$ от общего среднего $\bar{\bar{w}}$, возникающее по двум причинам: во-первых, из-за влияния на результаты измерений изменения предикторов (напряжения и температуры), то есть из-за регрессии, и, во-вторых, из-за влияния случайных инструментальных ошибок измерений.

Необходимо выяснить, не является ли отличие R^2 от нуля следствием случайных возмущений, иначе говоря, необходимо выяснить значим ли этот коэффициент. Для этого вычисляем отношение:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{N - q}{q} \quad (35)$$

Далее сравниваем F с $F_T = F(1 - \gamma, \nu_r, \nu_l)$ и, если $F_T < F$, то коэффициент множественной корреляции значим и значима регрессия, модель признается адекватной, если $F < F_T$, то модель признается неадекватной.

При ошибочной выборке модели типа (15) (17) возможны два случая: а) выбранная модель содержит меньше

предикторов и регрессоров, чем действительная; б) модель содержит больше предикторов и регрессоров, чем действительная. В первом случае ошибочный выбор модели приводит к смещению всех оценок, то есть к неадекватности. Если, например, выбрана модель Журкова (3 а), в то время как для исследуемого полимера справедлива модель Регеля-Ратнера (4 а) со смещением полюса, то полученные по модели Журкова оценки физических параметров долговечности будут содержать систематическую ошибку смещения и приведут к неправильным выводам. Включение же в модель предикторов не искажает оценки коэффициентов регрессии действительной модели, но увеличивает дисперсию оценок, то есть снижает их эффективность. При сравнении двух случаев неправильного выбора регрессионной модели ясно, что первый из них приводит к более серьезным последствиям. Поэтому при выборе модели основное внимание должно быть направлено на недопущение модели с меньшим числом коэффициентов, чем требуется.

В некоторых случаях полезно проверить значимость полученных коэффициентов регрессии. Это особенно полезно в связи с проблемой выбора между двумя регрессионными моделями Журкова и Регеля-Ратнера. Модель Регеля-Ратнера в кодированном виде представлена формулой (17). Модель Журкова отличается тем, что в ней отсутствует слагаемое $\alpha_1 x$, характеризующее смещение полюса. Если оценка $\hat{\alpha}_1$ в модели Регеля-Ратнера получилась малой по абсолютной величине, то необходимо проверить, не отличается ли полученная оценка от нуля только за счет случайных возмущений, а в действительности коэффициент α_1 равен нулю. Если проверка покажет незначимость оценки $\hat{\alpha}_1$, то этот коэффициент можно изъять из модели, и

тогда данные экспериментальные результаты описываются формулой Журкова. Если же будет установлена значимость оценки $\hat{\alpha}_1$, то пренебрегать этим коэффициентом нельзя и тогда для исследуемого полимера смещение полюса – реальность.

Проверка коэффициента α_1 осуществляется с помощью статистики:

$$t = \frac{\hat{a}}{s_l \sqrt{c_{11}}} \quad (36)$$

В этой формуле c_{11} – первый элемент матрицы B^{-1} , обратной к информационной матрице B , а s_l – выборочная дисперсия воспроизводимости, согласно формуле (29 а). Статистика t имеет распределение

Стьюдента с числом свободы, равным числу степеней свободы дисперсии S_l^2 , то есть $\nu_s = N_0 - N$. Задаемся уровнем значимости γ и по таблицам распределения Стьюдента находим квантиль

$$t_T \left(1 - \frac{\gamma}{2}, \nu_{s_l} \right).$$

Если окажется, что вычисленное значение статистики (32) $|t_{i\hat{a}\hat{a}\hat{e}}| > t_T$, то коэффициент значим в модели, если же $|t_{i\hat{a}\hat{a}\hat{e}}| < t_T$, то α_1 незначим и с надежностью $1 - \gamma$ его можно изъять. В этом случае модель Регеля-Ратнера превращается в модель Журкова и все расчеты нужно произвести заново.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слункер, Э.Е. Томашевский. - М.: Наука, 1974. - 450 с.
2. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев - М.: Химия, 1992. - 320 с.
3. Валишин, А.А. Нелинейные эффекты в кинетике разрушения полимеров / А.А. Валишин, Э.М. Карташов // Проблема прочности. - 1993. - № 6. – С. 13-16.
4. Валишин, А.А. Применение математической статистики в исследованиях долговечной прочности полимеров / Валишин А.А., Карташов Э.М. // Высокомолекулярные соединения. – 1989. - Т. А 31. - С. 877-882.
5. Разрушение тонких полимерных пленок и волокон / Б. Цой [и др.] - М.: Химия, 1997. - 175 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРОВ. 2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.

А.А. Валишин, Т.С. Степанова

Предложен метод построения оптимальной регрессионной модели ТВЗП, основанной на принципах многомерного регрессионного анализа. Выполнен вычислительный эксперимент, моделирующий реальные условия испытаний на долговечность и получены квазиэкспериментальные данные, которые были подвергнуты статистической обработке предложенным методом. Доказана реальность эффекта смещения полюса и, тем самым, закончен давний спор по поводу этого эффекта. На примере полимеров ПЭ и ПММА показано, что ТВЗП ПЭ описывается моделью Журкова, а ТВЗП ПММА – моделью Регеля-Ратнера.

Основной задачей настоящей статьи является: установить реальность или ложность эффекта смещения полюса, о котором говорилось в [1], используя методы многомерного регрессионного анализа. С этой целью был проведен вычислительный эксперимент для двух различных полимеров: полиметилметакрилата (ПММА) и полиэтилена (ПЭ). Из литературы известно, что температурно-временная зависимость прочности (ТВЗП) полиэтилена описывается формулой Журкова, а полиметилметакрилата – формулой Регеля-Ратнера [2, 3]. Обе формулы и следующие из них модели приведены в [1]. Из источника [2] были взяты численные значения физических параметров долговечности τ_0, U_0, γ, T_n . По формулам (1) и (2) из [1] рассчитывалась долговечность $\lg \tau$, или в терминах регрессионного анализа регулярная часть отклика η_j для различных напряжений и температур (то есть в различных «экспериментальных» точках факторной плоскости). Затем с помощью генератора нормальных случайных чисел с нулевым мате-матическим ожиданием и различной дисперсией разыгрывалась на компьютере случайная составляющая отклика ε_{ij} . Она добавлялась к регулярной части, и тем самым, были получены «экспериментальные» данные по долговечности. Полученные «экспериментальные» данные обрабатывались по описанному в

[1] алгоритму.

Параметрами генератора случайных чисел являются математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение (стандартное отклонение). Математическое ожидание случайной составляющей отклика равно нулю, а среднее квадратичное отклонение варьировалось в пределах $\Sigma = 0.5 \div 3$.

Известно, что с вероятностью близкой к единице (а точнее 0.99862), нормальное распределение сосредоточено в интервале радиусом 3Σ с центром в точке математического ожидания (правило трех сигм). Варьирование среднего квадратичного отклонения в указанных пределах означает, что рассеивание «экспериментальных» значений логарифма долговечности $\lg \tau$ варьировалось нами от 1.5 до 9 в обе стороны по логарифмической шкале.

Из практики эксперимента известно, что разброс экспериментальных значений весьма значителен. Именно поэтому мы варьировали в математическом эксперименте этот разброс в максимально широких пределах, в пределах устойчивости вычислительной схемы регрессионного анализа. Каждый раз при этом проверяли, распознаются ли две исследованные модели (Журкова и Регеля-Ратнера) или нет. Распознавание моделей производилось по критерию адекватности моделей с дополнительной оценкой значимости коэффициентов регрессии. Установлено, что по критерию адекватности модели надежно распознаются до значений

среднего квадратичного отклонения $\Sigma = 3$. При больших значениях среднего квадратичного отклонения по критерию адекватности упомянутые модели уже не распознаются. Это означает, что разброс экспериментальных значений логарифма долговечности становится настолько большим, что вычислительная схема регрессионного анализа становится неустойчивой. При таком большом разбросе теряет смысл понятие экспериментальной долговечности как среднего из полученных значений при повторных измерениях. В этом случае

нужно пользоваться распределением вероятностей отдельных значений $\lg \tau$. Заметим, что подобный и даже еще больший разброс экспериментальных данных особенно характерен для образцов малых размеров (тонкие полимерные волокна и пленки). Для них обнаружено еще и другое новое явление – уровни долговечности или прочности, когда кривая распределения экспериментальных значений становится полимодальной [3].

В табл. 1 и 2 в качестве примера приведены фрагменты «экспериментальных» данных для ПЭ и ПММА.

Таблица 1.
Значения $\lg \tau$ при $\Sigma = 1.5$ для ПММА.

$\sigma = 10^6$ МПа	T=203K	T=223K	T=243K	T=263K	T=283K	T=303K	T=323K	T=343K
20	18.96	14.99	11.67	8.86	6.44	4.35	2.51	0.95
	18.98	15.01	11.70	8.88	6.47	4.37	2.54	0.98
	18.21	14.24	10.92	8.11	5.69	3.59	1.76	0.20
	19.69	15.72	12.41	9.59	7.18	5.08	3.25	1.69
	16.98	13.01	9.69	6.88	4.46	2.37	0.53	-1.03
	18.35	14.38	11.06	8.25	5.83	3.73	1.90	0.34
	19.95	15.98	12.66	9.85	7.44	5.34	3.50	1.95
	21.56	17.59	14.27	11.46	9.04	6.95	5.11	3.55
	19.92	15.95	12.63	9.82	7.41	5.31	3.47	1.91
	17.57	13.60	10.28	7.47	5.05	2.96	1.12	-0.44
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
90	-9.88	-10.13	-10.34	-10.52	-10.68	-10.81	-10.93	-10.44
	-9.85	-10.11	-10.32	-10.50	-10.65	-10.78	-10.90	-10.41
	-10.63	-10.88	-11.09	-11.27	-11.43	-11.56	-11.68	-11.19
	-9.14	-9.40	-9.61	-9.79	-9.94	-10.07	-10.19	-9.70
	-11.86	-12.11	-12.32	-12.50	-12.66	-12.79	-12.91	-12.42
	-10.49	-10.74	-10.95	-11.13	-11.29	-11.42	-11.54	-11.05
	-8.88	-9.14	-9.35	-9.53	-9.68	-9.82	-9.93	-9.44
	-7.28	-7.53	-7.74	-7.92	-8.08	-8.21	-8.33	-7.83
	-8.92	-9.17	-9.38	-9.56	-9.71	-9.85	-9.96	-9.47
	-11.27	-11.52	-11.73	-11.91	-12.07	-12.20	-12.32	-11.82

Среднее квадратичное отклонение случайной составляющей отклика ($\lg \tau$) для данных этих таблиц было $\Sigma = 1.5$, что соответствует радиусу интервала рассеивания значений $\lg \tau$, равному 4.5 по логарифмической шкале. Для ПЭ «измерения» проводились в 84-х «экспериментальных» точках факторной плоскости, соответствующих различным

напряжениям и температурам. Напряжение варьировалась на 12 уровнях, температура – на 7. В каждой «экспериментальной» точке производилось по 10 повторных «измерений». Для ПММА «измерения» проводились в 64-х «экспериментальных» точках факторной плоскости. Напряжение и температура варьировались на 8 уровнях.

Таблица 2.
Значения $\lg \tau$ при $\Sigma = 1.5$ для ПЭ.

$\sigma = 10^6 \text{ МПа}$	T=183K	T=203K	T=243K	T=263K	T=283K	T=303K	T=323K
100	16.05	13.20	8.92	7.26	5.84	4.61	3.53
	16.08	13.23	8.94	7.29	5.87	4.63	3.55
	15.30	12.45	8.16	6.51	5.09	3.86	2.78
	16.79	13.94	9.65	8.00	6.58	5.34	4.26
	14.07	11.22	6.93	5.28	3.86	2.63	1.55
	15.44	12.59	8.30	6.65	5.23	4.00	2.92
	17.04	14.20	9.91	8.26	6.83	5.60	4.52
	18.65	15.80	11.52	9.86	8.44	7.21	6.13
	17.01	14.17	9.88	8.22	6.80	5.57	4.49
	14.66	11.81	7.53	5.87	4.45	3.22	2.14
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1200	-8.54	-8.97	-9.60	-9.85	-10.06	-10.24	-10.41
	-8.52	-8.94	-9.58	-9.82	-10.04	-10.22	-10.38
	-9.29	-9.72	-10.36	-10.60	-10.81	-11.00	-11.16
	-7.81	-8.23	-8.87	-9.11	-9.33	-9.51	-9.67
	-10.52	-10.95	-11.59	-11.83	-12.04	-12.23	-12.39
	-9.15	-9.58	-10.22	-10.46	-10.67	-10.86	-11.02
	-7.55	-7.97	-8.61	-8.86	-9.07	-9.25	-9.41
	-5.94	-6.36	-7.00	-7.25	-7.46	-7.64	-7.80
	-7.58	-8.00	-8.64	-8.89	-9.10	-9.28	-9.44
	-9.93	-10.35	-10.99	-11.24	-11.45	-11.63	-11.79

Прежде всего, все «экспериментальные» данные, приведенные в табл. 1 и 2, проверились на гомоскедастичность. Для этого в каждой «экспериментальной» точке факторной плоскости вычислялась выборочная дисперсия воспроизводимости повторных измерений по формуле (10) из [1]. Все полученные дисперсии по критерию Кохрена проверялись на однородность. Было установлено, что дисперсии воспроизводимости в «экспериментальных» точках различаются незначимо. Это позволило принять статистический вес каждой «экспериментальной» точки равным единице. Затем все экспериментальные данные кодировались с помощью формул (16) из [1]. В кодированных переменных две исследуемые регрессионные модели имеют вид:

Модель Журкова:

$$w_j = \alpha_2 y_j + \alpha_3 z_j + \varepsilon_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

Модель Регеля-Ратнера:

$$w_j = \alpha_1 x_j + \alpha_2 y_j + \alpha_3 z_j + \varepsilon_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

В этих формулах кодированные коэффициенты регрессии $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ связаны с физическими параметрами долговечности формулами (19 а) и (19 б) из [1]. Смысл обозначений в формулах (5) и (6) разъясняется в [1]. Матрица для модели Журкова имеет вид:

$$F = \begin{pmatrix} y_1 & z_1 \\ y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots \\ y_N & z_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

Для модели Регеля-Ратнера:

$$F = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & z_N \end{pmatrix} \quad (4)$$

Число «экспериментальных» точек факторной плоскости для ПЭ $N = 84$, для ПММА $N = 64$. Матрица плана для ПЭ имеет размеры (84×2) , для ПММА –

(64×3). По формулам (22) и (23) из [1] вычисляется вектор статистических оценок коэффициентов регрессии $\hat{\alpha} = (\hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3)$ для

модели Журкова и $\hat{\alpha} = (\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_3)$ для модели Регеля-Ратнера. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3.

Результаты статистической обработки модельных экспериментальных данных (стандартное отклонение $\Sigma = 1.5$).

Оценки	Полиэтилен (ПЭ)		Полиметилметакрилат (ПММА)	
	модель Журкова	модель Регеля-Ратнера	модель Журкова	модель Регеля-Ратнера
$\hat{\alpha}_1$	-	$-8.3 \cdot 10^{-15}$	-	0.59
$\hat{\alpha}_2$	0.73	0.73	0.8	1
$\hat{\alpha}_3$	-0.99	-0.99	-0.97	-1.6
S_r^2	1.73	1.73	6.21	0.28
S_l^2	1.78	1.78	1.77	1.77
$F = \frac{S_r^2}{S_l^2}$	0.97	0.97	3.45	0.16
F_T	1.29	1.29	1.34	1.34
R^2	0.999	0.999	0.98	0.999
$\hat{U}_0$	$1.86 \cdot 10^{-19}$ Дж ($1.81 \cdot 10^{-19}$ Дж)	-	-	$3.66 \cdot 10^{-19}$ Дж ($3.62 \cdot 10^{-19}$ Дж)
$\hat{\gamma}$	$1.4 \cdot 10^{-28}$ м ³ ($1.3 \cdot 10^{-28}$ м ³)	-	-	$3.92 \cdot 10^{-27}$ м ³ ($3.82 \cdot 10^{-27}$ м ³)
$\lg \tau_0$	-11.6 (-13)	-	-	-11.35 (-12)
$\hat{T}_n$	-	-	-	660K (667K)

Проверка адекватности моделей Журкова и Регеля-Ратнера осуществлялась путем сравнения выборочных дисперсий S_r^2 и S_l^2 , как было описано в [1]. Вычисленные значения выборочных дисперсий приведены в той же таблице 3. Для уровня значимости γ и чисел степеней свободы $\nu_r = N - q, \nu_l = N_0 - N$ по таблицам распределения Фишера была найдена квантиль $F_T = F(1 - \gamma, \nu_r, \nu_l)$, ее значение также приведено в таблице. Для ПЭ их сравнение с вероятностью 95% показало, что выборочные дисперсии отличаются незначимо для обеих моделей. Это означает, что обе модели – Журкова и Регеля-Ратнера адекватно описывают «экспериментальные» данные табл. 1. Но для физики и материаловедения полимеров первостепенное значение имеют оценки физических параметров

ТВЗП с вытекающими далее выводами и следствиями. С этой точки зрения модели Журкова и Регеля-Ратнера неравноценны. А именно, следует обратить внимание на малое значение коэффициента регрессии $\hat{\alpha}_1$ для ПЭ в модели Регеля-Ратнера. Этот регрессор отвечает за смещение полюса. Поэтому производилась оценка значимости коэффициента $\hat{\alpha}_1$ для ПЭ. Процедура оценки значимости коэффициентов регрессии была описана в [1]. Получено, что с 95%-ной надежностью коэффициент $\hat{\alpha}_1$ в модели Регеля-Ратнера для ПЭ незначим. Это означает, что приведенное в таблице 3 ненулевое значение коэффициента $\hat{\alpha}_1$ следует отнести на счет случайных возмущений, а в действительности он равен нулю с заданной надежностью. При изъятии регрессора $\hat{\alpha}_1$ модель Регеля-

Ратнера становится моделью Журкова. Таким образом, с 95%-ной надежностью можно утверждать, что ТВЗП полиэтилена описывается моделью Журкова. Для ПММА при проверке на адекватность модели Журкова путем сравнения дисперсий S_l^2 и S_r^2 было получено их значимое различие, а в модели Регеля-Ратнера проверка показала значимость регрессора $\hat{\alpha}_1$ с надежностью 95% и, следовательно, для этого полимера существенно смещение полюса. Таким образом, можно утверждать, что ТВЗП полиметилметакрилата описывается моделью Регеля-Ратнера.

В работе [1] было показано, что, если в регрессионной модели недостает регрессоров, то это приводит к смещению статистических оценок этих регрессоров. Это означает, что, если для ПММА принять модель Журкова, то оценки физических параметров ТВЗП получатся смещенными, то есть, если для ПММА найти значения физических параметров по модели Журкова, то полученные значения будут содержать систематическую оценку

и будут неправильными со всеми вытекающими далее следствиями для физики и материаловедения.

В той же табл. 3 приведены вычисленные значения коэффициента множественной корреляции. Во всех случаях полученные значения практически одинаковы. Следовательно, коэффициент множественной корреляции не различает модели Журкова и Регеля-Ратнера, он нечувствителен к различию этих моделей. Это понятно, если вспомнить то, что, как было сказано выше, коэффициент множественной корреляции характеризует лишь значимость регрессии, то есть значимое влияние на долговечность изменений температуры и напряжения. Однако, для обоих материалов – ПЭ и ПММА это влияние значимо, что и отражает коэффициент множественной корреляции.

Также в табл. 3 представлены вычисленные оценки физических параметров $\lg \tau_0, \hat{U}_0, \hat{\gamma}, \hat{T}_n$ долговечности и в скобках указаны их значения, взятые из литературы.

Таблица 4.
Значения $\lg \tau$ при $\Sigma = 2.9$ для ПММА.

$\sigma = 10^6 \text{ МПа}$	T=203K	T=223K	T=243K	T=263K	T=283K	T=303K	T=323K	T=343K
20	21.17	17.20	13.88	11.07	8.65	6.56	4.72	3.16
	18.12	14.15	10.83	8.02	5.60	3.51	1.67	0.11
	19.40	15.43	12.11	9.30	6.89	4.79	2.95	1.39
	15.87	11.90	8.58	5.77	3.35	1.25	-0.58	-2.14
	16.23	12.26	8.94	6.13	3.71	1.62	-0.22	-1.78
	16.17	12.20	8.88	6.07	3.65	1.56	-0.28	-1.84
	17.92	13.95	10.64	7.82	5.41	3.31	1.48	-0.08
	17.90	13.93	10.61	7.80	5.39	3.29	1.45	-0.11
	20.14	16.17	12.85	10.04	7.62	5.53	3.69	2.13
	16.22	12.25	8.93	6.12	3.70	1.60	-0.23	-1.79
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
90	-7.67	-7.92	-8.13	-8.31	-8.46	-8.60	-8.72	-8.22
	-10.72	-10.97	-11.18	-11.36	-11.52	-11.65	-11.77	-11.28
	-9.44	-9.69	-9.90	-10.08	-10.23	-10.37	-10.48	-9.99
	-12.97	-13.22	-13.44	-13.61	-13.77	-13.90	-14.02	-13.53
	-12.61	-12.86	-13.07	-13.25	-13.40	-13.54	-13.66	-13.16
	-12.67	-12.92	-13.13	-13.31	-13.46	-13.60	-13.72	-13.22
	-10.91	-11.17	-11.38	-11.56	-11.71	-11.84	-11.96	-11.47
	-10.94	-11.19	-11.40	-11.58	-11.73	-11.87	-11.98	-11.49
	-8.70	-8.95	-9.16	-9.34	-9.50	-9.63	-9.75	-9.26
	-12.62	-12.87	-13.08	-13.26	-13.42	-13.55	-13.67	-13.18

Таблица 5.
Значения $\lg \tau$ при $\Sigma = 2.9$ для ПЭ.

$\sigma = 10^6 \text{ МПа}$	T=183K	T=203K	T=243K	T=263K	T=283K	T=303K	T=323K
100	18.26	15.41	11.13	9.47	8.05	6.82	5.74
	15.21	12.36	8.08	6.42	5.00	3.77	2.69
	16.49	13.65	9.36	7.70	6.28	5.05	3.97
	12.96	10.11	5.82	4.17	2.75	1.52	0.44
	13.32	10.47	6.19	4.53	3.11	1.88	0.80
	13.26	10.41	6.13	4.47	3.05	1.82	0.74
	15.02	12.17	7.88	6.23	4.81	3.57	2.49
	14.99	12.15	7.86	6.21	4.78	3.55	2.47
	17.23	14.38	10.10	8.44	7.02	5.79	4.71
	13.31	10.46	6.17	4.52	3.10	1.87	0.79
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1200	-6.33	-6.75	-7.39	-7.64	-7.85	-8.03	-8.19
	-9.38	-9.81	-10.44	-10.69	-10.90	-11.09	-11.25
	-8.10	-8.52	-9.16	-9.41	-9.62	-9.80	-9.96
	-11.63	-12.06	-12.70	-12.94	-13.15	-13.34	-13.50
	-11.27	-11.69	-12.33	-12.58	-12.79	-12.97	-13.13
	-11.33	-11.75	-12.39	-12.64	-12.85	-13.03	-13.19
	-9.58	-10.00	-10.64	-10.88	-11.10	-11.28	-11.44
	-9.60	-10.02	-10.66	-10.91	-11.12	-11.30	-11.46
	-7.36	-7.79	-8.42	-8.67	-8.88	-9.07	-9.23
	-11.28	-11.71	-12.35	-12.59	-12.80	-12.99	-13.15

В табл. 4 и 5 приведены фрагменты результатов моделирования испытаний на долговечность тех же двух полимеров для среднего квадратичного отклонения случайной составляющей отклика $\Sigma = 2.9$. Этот предел устойчивости вычислительной схемы регрессионного анализа соответствует радиусу интервала рассеивания значений отклика $\lg \tau$, равному 8.7 по логарифмической шкале. Условия математического эксперимента сохранялись такие же, при которых были получены данные табл. 1 и 2.

Далее производилась статистическая обработка этих данных. Результаты приведены в табл. 6.

Сравнивая результаты, приведенные в табл. 3 и 6, видим, что, несмотря на большой разброс в исходных «экспериментальных» данных во втором случае, результаты практически одинаковы. Также как и в прошлом эксперименте, оценка значимости регрессионного коэффициента $\hat{\alpha}_1$ в модели Регеля-Ратнера для материала ПЭ

оказалась незначимой и, значит, для этого материала постулируется модель Журкова, для ПММА вновь выявлена неадекватность модели Журкова и с 95%-ной надежностью принята модель Регеля-Ратнера.

Полученные в этой статье результаты могут показаться малоубедительными и, более того, заранее очевидными: что было заложено, то и было получено. В самом деле, мы с самого начала приняли, что ТВЗП полиэтилена описывается формулой Журкова, ПММА – формулой Регеля-Ратнера. Именно этот результат мы и получили в конце. А вот как будет с настоящим экспериментальными данными, полученными в реальном эксперименте с реальным материалом? Ведь в этом случае заранее не известно, какой моделью описывается ТВЗП. Однако необходимо заметить, что смоделированные нами на компьютере квазиэкспериментальные данные в действительности ничем не хуже, чем реальные. Хотя в основу мы положили заранее постулированную модель и вычисляли по ней долговечность

τ (а точнее $\lg \tau$), но эти результаты «затушевывались» случайной ошибкой, которая варьировалась и искажала «до неузнаваемости» вычисления по постулированной модели. В реальном случае природой тоже заложено, что ТВЗП изучаемого материала описывается

какой-то неизвестной детерминированной формулой, но значения долговечности, которые следовали бы из этой формулы, тоже искажаются естественным образом из-за статичности, присущей самому изучаемому материалу и из-за инструментальных помех.

Таблица 6.

Результаты статистической обработки модельных экспериментальных данных (стандартное отклонение $\Sigma = 2.9$).

Оценки	Полиэтилен (ПЭ)		Полиметилметакрилат (ПММА)	
	модель Журкова	модель Регеля-Ратнера	модель Журкова	модель Регеля-Ратнера
$\hat{\alpha}_1$	-	$-8.3 \cdot 10^{-15}$	-	0.59
$\hat{\alpha}_2$	0.73	0.73	0.8	1
$\hat{\alpha}_3$	-0.99	-0.99	-0.97	-1.6
S_r^2	1.73	1.73	6.21	0.28
S_l^2	3.41	3.41	3.41	3.41
$F = \frac{S_r^2}{S_l^2}$	0.5	0.5	1.81	0.08
F_T	1.29	1.29	1.34	1.34
R^2	0.999	0.999	0.98	0.999
$\hat{U}_0$	$1.86 \cdot 10^{-19}$ Дж ($1.81 \cdot 10^{-19}$ Дж)	-	-	$3.66 \cdot 10^{-19}$ Дж ($3.62 \cdot 10^{-19}$ Дж)
$\hat{\gamma}$	$1.4 \cdot 10^{-28}$ м ³ ($1.3 \cdot 10^{-28}$ м ³)	-	-	$3.92 \cdot 10^{-27}$ м ³ ($3.82 \cdot 10^{-27}$ м ³)
$\lg t_0$	-12.68 (-13)	-	-	-12.45 (-12)
$\hat{T}_n$	-	-	-	660K (667K)

При обработке реального эксперимента тоже постулируется некоторая модель и статистическими методами, описанными здесь, выявляется ее адекватность или неадекватность экспериментальным данным. Если обнаружена неадекватность, постулируется другая модель, вновь проделываются все вычисления и проверяется адекватность. И так делается до тех пор, пока не будет подобрана регрессионная модель, адекватно описывающая экспериментальные данные. При этом нужно иметь некий запас или банк регрессионных моделей ТВЗП, из которого берется наиболее подходящая модель. На сегодняшний день в этом банке четыре модели, основанные на четырех известных формулах

долговечности. Две из них: модель Журкова и модель Регеля-Ратнера обсуждались в этой статье. Еще две модели основаны на формуле долговечности Бартенева:

$$\tau = \tau_0 \sigma^{-m} \exp[U_0 / (kT)] \quad (5)$$

А также на формуле долговечности Ратнера:

$$\tau = \tau_0 \exp[U_0 / (kT) - \alpha \sigma] \quad (5)$$

При этом α не зависит от температуры.

Чтобы подчеркнуть работоспособность предложенного здесь метода различия и подбора регрессионных моделей ТВЗП, модельные экспериментальные данные в табл. 1, 2 и 3, 4 обрабатывались по модели Бартенева, которая имеет вид:

$$\bar{w}_j = \beta_0 + \beta_1 x_j + \beta_2 y_j + \bar{\varepsilon}_j, j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

Результаты приведены в табл. 7 и показывают безусловную неадекватность модели Бартенева.

Таким образом, можно утверждать, что

предложенный в этой статье метод позволяет надежно различать регрессионные модели ТВЗП и дает возможность подобрать оптимальную модель.

Таблица 7.

Результаты статистической обработки модельных экспериментальных данных по модели Бартенева (стандартное отклонение $\Sigma = 2.9$).

Оценки	Полиэтилен (ПЭ)	Полиметилметакрилат (ПММА)
$\hat{\alpha}_1$	-0.79	-0.84
$\hat{\alpha}_2$	0.38	0.42
$\hat{m}$	15.9	29.1
$\hat{U}_0$	$9.7 \cdot 10^{-20}$	$1.5 \cdot 10^{-19}$
$\lg \tau_0$	125.6	204.2
S_r^2	$2.11 \cdot 10^{14}$	$1.75 \cdot 10^{13}$
S_l^2	3.41	3.41
$F = \frac{S_r^2}{S_l^2}$	$6.2 \cdot 10^{13}$	$5.1 \cdot 10^{12}$
F_T	1.29	1.34

ЛИТЕРАТУРА:

1. Валишин, А.А. Применение многомерного статистического анализа в исследованиях долговременной прочности полимеров. 1. Теория / А.А. Валишин, Т.С. Степанова // Вестник МИТХТ. - 2007. - Т. 2, № 1. - С. 40-45.
2. Регель, В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слункер, Э.Е. Томашевский - М. : Наука, 1974. - 450 с.
3. Разрушение тонких полимерных пленок и волокон / Б. Цой [и др.] - М. : Химия, 1997. - 175 с.

ТЕПЛОВОЙ НАГРЕВ ДИСКА С ВНУТРЕННИМ КРУГОВЫМ ВЫРЕЗОМ

Э.М. Карташов, И.А. Нагаева

Исследована термическая реакция бесконечного диска с внутренним круговым вырезом. Установлены закономерности термоупругих напряжений, возникающих при тепловом нагреве поверхности выреза.

Бесконечный диск $r > R$ достаточно тонкий по толщине с внутренним круговым вырезом $0 \leq r \leq R$ нагревается тепловым потоком через поверхность $r = R$ (рис. 1). Возникающее вследствие этого термонапряженное состояние является плоским. Изменение толщины диска, вызванное температурой и напряжениями не учитывается; все механические и тепловые константы материала не зависят от температуры. Вследствие осевой симметрии задачи все величины, а именно напряжения σ_{ij} , деформации ε_{ij} , перемещения U_i , температура T зависят только от радиуса

r полярной системы координат (r, φ) и времени t ($i, j = r, \varphi$). Изучается термическая реакция диска на внутренний нагрев тепловым потоком постоянной мощности q_T при свободной от напряжения поверхности выреза:

$$\sigma_{rr}(r, t) = 0, \quad r = R, \quad t > 0.$$

Этот процесс представляет практический интерес для ряда инженерных направлений, в частности машиностроения, энергетики, электроники, атомной промышленности, авиационной и космической техники.

Постановка задачи в перемещениях имеет вид [1]:

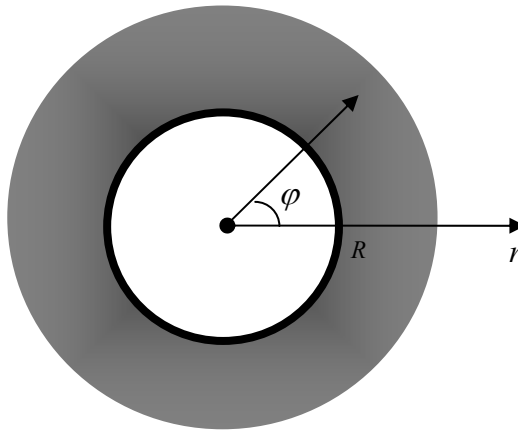


Рис.1. Геометрия области.

$$\frac{\partial^2 U_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial r} - \frac{1}{r^2} U_r - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U_r}{\partial t^2} = (1 + \nu) \alpha_T \frac{\partial T}{\partial r}, \quad r > R, \quad t > 0, \quad (1)$$

$$U_r(r, t)|_{t=0} = \frac{\partial U_r(r, t)}{\partial t}|_{t=0} = 0, \quad r \geq R, \quad (2)$$

$$\sigma_{rr}(r, t)|_{r=R} = \left\{ \frac{2G}{(1-\nu)} \left[\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{\nu}{r} U_r - (1+\nu) \alpha_T (T - T_0) \right] \right\} \Big|_{r=R} = 0, \quad t > 0, \quad (3)$$

$$|U_r(r, t)| < +\infty, \quad r \geq R, \quad t \geq 0; \quad (4) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad r > R, \quad t > 0, \quad (5)$$

$$T(r, t)|_{t=0} = T_0, \quad r \geq R, \quad (6) \quad \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = -(q_T / \lambda_T), \quad t > 0, \quad (7)$$

$$|T(r, t)| < +\infty, r \geq R, t \geq 0. \quad (8)$$

Здесь ν - коэффициент Пуассона; G - модуль сдвига; α_T - коэффициент линейного теплового расширения; a, λ_T - соответственно температуропроводность и теплопроводность материала; $c = \sqrt{2G/[(1-\nu)\rho]}$ - скорость распространения волны расширения в упругой среде (величина, близкая к скорости звука), ρ - плотность материала.

$$\text{В безразмерных переменных } \xi = r/R; \quad \tau = at/R^2; \quad W(\xi, \tau) = \frac{T(r, t) - T_0}{R(q_T/\lambda_T)};$$

$$\gamma^2 = R^2 c^2 / a^2; U(\xi, \tau) = \frac{U_r(r, t)}{R^2(1+\nu)\alpha_T(q_T/\lambda_T)}; \sigma_{\xi\xi}(\xi, \tau) = \frac{(1-\nu)\sigma_{rr}(r, t)}{2G(1+\nu)\alpha_T R(q_T/\lambda_T)}; G = E/[2(1+\nu)]$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\xi, \tau) = \frac{\sigma_{\varphi\varphi}(r, t)}{E(1+\nu)\alpha_T R(q_T/\lambda_T)};$$

задача (1) – (8) имеет вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi} - \frac{1}{\xi^2} U - \frac{1}{\gamma^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} = \frac{\partial W}{\partial \xi}, \xi > 1, \tau > 0, \quad (9) \quad U|_{\tau=0} = \frac{\partial U}{\partial \tau}|_{\tau=0} = 0, \xi \geq 1, \quad (10)$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{\nu}{\xi} U \right) \Big|_{\xi=1} = W(\xi, \tau) \Big|_{\xi=1}, \tau > 0, \quad (11)$$

$$|U(\xi, \tau)| < +\infty, \xi \geq 1, \tau \geq 0; \quad (12)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 W}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial W}{\partial \xi}, \xi > 1, \tau > 0, \quad (13)$$

$$W|_{\tau=0} = 0, \xi \geq 1, \quad (14)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} = -1, \tau > 0, \quad (15)$$

$$|W(\xi, \tau)| < +\infty, \xi \geq 1, \tau \geq 0. \quad (16)$$

Проанализируем постановку задачи (9) – (12). Так как температурное поле меняется с течением времени, то определение температурных напряжений является, в сущности, не статической, а динамической задачей, что и отражено в (1) и (9) наличием инерционных членов. В то же время для ряда конструкционных материалов – полимеры (органические и неорганические стекла), металлы, керамика и др. – величина $1/\gamma^2 \sim (10^{-17} - 10^{-15})$ и в (9) можно пренебречь влиянием ускорений и рассматривать задачу как квазистатическую. Вначале рассмотрим тепловую задачу (13) – (16). Её решение можно получить различными подходами. Один из них на основе теории интегральных преобразований, развитой одним из авторов в [2]. Используем для этой цели также обобщенные преобразования Вебера. В результате (после ряда длинных выкладок) можно получить интегральное преобразование для области $r > R$ при решении краевых задач с граничным условием второго рода. Приведем все необходимые формулы.

Интегральное преобразование функции $W(\xi, \tau)$:

$$L(W) = \overline{W}(y, \tau) = \int_1^\infty \xi \Psi(y\xi) W(\xi, \tau) d\xi, \quad (17)$$

где ядро $\Psi(y\xi)$ есть решение спектральной задачи:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \Psi}{d\xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{d\Psi}{d\xi} + y^2 \Psi = 0, \xi > 1 \\ \frac{d\Psi}{d\xi} \Big|_{\xi=1} = 0 \end{cases} \quad (18)$$

и имеет вид

$$\Psi(y\xi) = J_0(y\xi)Y_1(\xi) - J_1(y)Y_0(y\xi). \quad (19)$$

Изображение оператора

$$L[\Delta_3 W(\xi, \tau)] = -y^2 \bar{W}(y, \tau) - \frac{2}{\pi y} \frac{\partial W}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1}. \quad (20)$$

Формула обращения;

$$W(\xi, \tau) = \int_0^\infty \frac{y \Psi(y\xi) \bar{W}(y, \tau)}{[J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy. \quad (21)$$

Применяя указанное преобразование, находим:

$$W(\xi, \tau) = -\frac{2}{\pi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_0(y\xi)Y_1(y) - Y_0(y\xi)J_1(y)}{y^2 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy. \quad (22)$$

Второй подход – применение операционного исчисления при нахождении всех искомых величин. В пространстве изображений по Лапласу $\int_0^\infty \dots \exp(-p\tau) d\tau$ решение

квазистатической задачи (9) – (16) имеет вид:

$$\bar{W}(\xi, p) = \frac{K_0(\xi\sqrt{p})}{p\sqrt{p}K_1(\sqrt{p})}; \quad U(\xi, p) = \frac{1}{p^2\xi} - \frac{K_1(\xi\sqrt{p})}{p^2K_1(\sqrt{p})}; \quad (23)$$

$$\bar{\sigma}_{\varphi\varphi}^*(\xi, p) = (1 + \nu) \bar{\sigma}_{\varphi\varphi}(\xi, p) = \frac{1}{p^2\xi^2} - \frac{1}{p^2\xi} \frac{K_1(\xi\sqrt{p})}{K_1(\sqrt{p})} - \frac{K_0(\xi\sqrt{p})}{p\sqrt{p}K_1(\sqrt{p})};$$

$$\bar{\sigma}_{\xi\xi}^*(\xi, p) = \frac{\bar{\sigma}_{\xi\xi}(\xi, p)}{(1 - \nu)} = -\frac{1}{p^2\xi^2} + \frac{1}{p^2\xi} \frac{K_1(\xi\sqrt{p})}{K_1(\sqrt{p})}, \quad (24)$$

где $K_0(z)$ и $K_1(z)$ - модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка, соответственно. Изображения, входящие в (23) – (24) не являются табличными, и вычисление оригиналов проводится с помощью контурного интеграла Римана – Меллина [2], содержащего, к тому же, точку ветвления. Используем для этих целей найденное важное соотношение:

$$\frac{1}{p^2} \frac{K_1(\xi\sqrt{p})}{K_1(\sqrt{p})} \leftarrow \frac{\tau}{\xi} + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_1(\xi y)Y_1(y) - Y_1(\xi y)J_1(y)}{y^3 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy, \quad (25)$$

где $J(z)$ и $Y(z)$ - функции Бесселя и Вебера, соответственно [2].

Запишем оригиналы искомых величин:

$$W(\xi, \tau) = -\frac{2}{\pi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_0(y\xi)Y_1(y) - Y_0(y\xi)J_1(y)}{y^2 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy; \quad (26)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}^*(\xi, \tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_0(y\xi)Y_1(y) - Y_0(y\xi)J_1(y)}{y^2 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy - \frac{2}{\pi\xi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_1(y\xi)Y_1(y) - Y_1(y\xi)J_1(y)}{y^3 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy; \quad (27)$$

$$\sigma_{\xi\xi}^*(\xi, \tau) = \frac{2}{\pi\xi} \int_0^\infty [1 - \exp(-y^2 \tau)] \frac{J_1(y\xi)Y_1(y) - Y_1(y\xi)J_1(y)}{y^3 [J_1^2(y) + Y_1^2(y)]} dy; \quad (28)$$

Проанализируем термическую реакцию рассматриваемой области на основе полученных соотношений (26) - (28). На рис. 2 приведены распределения температуры в сечениях $\xi = 1$, $\xi = 1.5$, $\xi = 2$. По мере удаления от поверхности выреза нагрев области уменьшается, достигая максимального значения в точках поверхности $\xi = 1$.

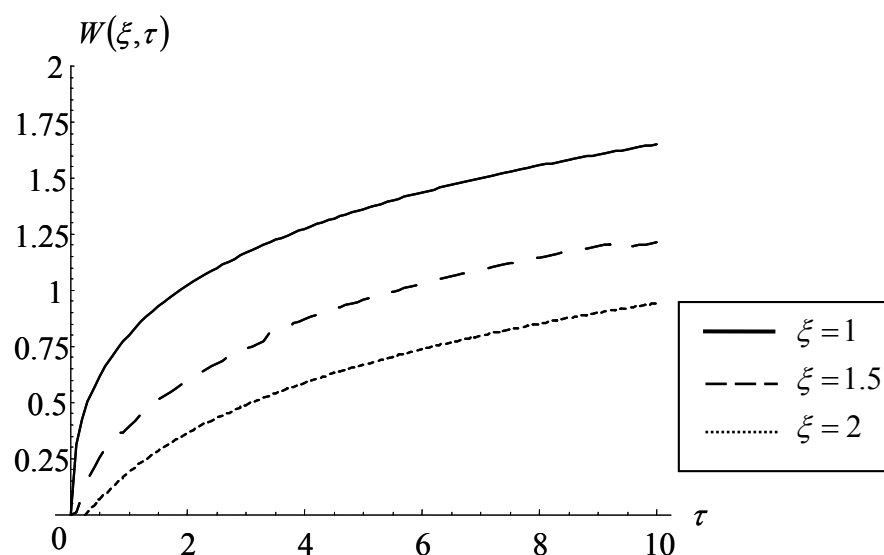


Рис. 2. Распределения температуры внутри диска.

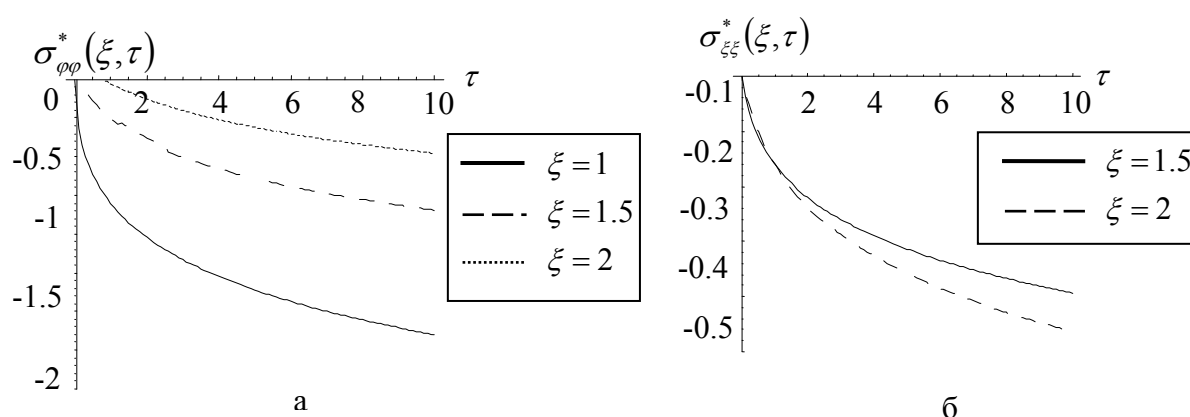


Рис. 3. Распределения касательного (а) и радиального (б) напряжений в указанных сечениях диска

На рис. 3 приведены зависимости касательного (а) и радиального (б) напряжений в указанных сечениях. Из данных рисунка 3 следует весьма важный вывод, характеризующий поведение данного конструктивного элемента при тепловом нагреве: по всем направлениям на поверхности выреза и внутри области действуют сжимающие напряжения.

Можно предположить, что в условиях равномерного нагрева термические

воздействия не приводят к разрушению материала. Разумеется, этот вывод имеет лишь определенную степень достоверности, так как сжимающие напряжения также могут вызвать разрушение, если они превосходят предел прочности на сжатие. Однако предел прочности на сжатие значительно превосходит предел прочности при растяжении и в этом смысле полученные кривые характеризуют сопротивление материала тепловому нагреву.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Карташов, Э.М. Динамическая термоупругость и проблемы термического удара / Э.М. Карташов // Итоги науки и техники. Серия Механика деформируемого твердого тела. – 1991. – Т. 22. – С. 55-127.
2. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.

ОЦЕНКА РИСКА И ПОТЕРЬ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

**А. П. Михайлуц, **Г.Е. Мекуш*

**Кемеровская государственная медицинская академия*

***Кемеровский государственный университет*

Исходя из особенностей сформировавшейся антропогенной нагрузки на окружающую среду, предложены критерии и показатели для оценки прошлого экологического ущерба. С учетом предложенного подхода проведена оценка риска от прошлого экологического ущерба основных отраслей промышленности Кемеровской области. На примере закрытых предприятий химической промышленности выполнена экономическая оценка прошлого экологического ущерба

Экологизация социально-экономического развития в районах старого промышленного освоения осложняется сформировавшейся за многие годы антропогенной нагрузкой на их территорию и накопившимся прошлым экологическим ущербом. Под прошлым экологическим ущербом (ПЭУ) понимается остаточное воздействие/вред на здоровье человека и окружающую среду, вызванное прошлой или продолжающейся хозяйственной деятельностью, включая компенсацию за возмещение этого вреда (ущерба). Это своего рода «экологический долг» не только перед природой, как это рассматривает Е.В. Рюмина [1], но и долг перед нынешней и будущей экономикой, поскольку природа вовлечена в хозяйственный оборот. Совершенно справедливо, на наш взгляд, в этот долг включается упущенная выгода. В данном случае это упущенная возможность использовать эти территории для производства сельскохозяйственной продукции, градостроительства, а также короткая, вследствие воздействия экологического фактора, продолжительность жизни и повышенная заболеваемость населения и др. Накопившийся экологический ущерб в Кемеровской области представляет собой риск для нынешней экономики в виде нарушенных и загрязненных земель, больших объемов токсичных отходов, заболеваемости и смертности населения,

деградации экосистем и др. По всем параметрам большая часть ее территории уже давно соответствует зоне экологического бедствия. В целях формирования компенсационного механизма, очень актуальным становится оценка риска от прошлого экологического ущерба. Оценка риска – это инструмент, широко используемый в самых разных областях и, в том числе, в практике природоохранной деятельности. В связи с ущербом окружающей природной среде, причиненным хозяйственной деятельностью в прошлом, оценка риска используется в мировой практике в следующих целях:

- для определения остроты проблемы, требующей решения (количественное определение риска);
- для идентификаций последствий хозяйственной деятельности в прошлом (потенциальный и реальный риск неблагоприятных последствий);
- для постановки целей очистных и восстановительных мероприятий;
- для отбора вариантов проведения наиболее эффективных очистных и иных мероприятий и др.

В практике регулирования многих стран широко используется понятие приемлемого риска, т.е. такого уровня, который считается относительно безопасным. Если уровень риска выше приемлемого, тогда требуются меры по его уменьшению. Во многих странах

считается уровнем приемлемого риска цифра 10^{-6} . Она предложена в частности, Управлением здоровья и безопасности Великобритании. В Нидерландах приемлемым в области безопасности промышленных объектов для местного населения и не требующих вмешательства считается индивидуальный риск, не превышающий 10^{-8} . Риск выше 10^{-6} считается неприемлемым (т.е. самый высокий уровень риска, который будет считаться приемлемым, это 10^{-6} , причем в отношении рисков в диапазоне $10^{-6} - 10^{-8}$ желательны меры по их снижению. Максимально приемлемый уровень группового риска рассчитывается для инцидента, повлекшего за собой гибель до 10 человек. Вероятность такого инцидента не должна превышать 10^{-5} в год. Уровень в 10^{-7} принят как незначительный и не требующий вмешательства [2].

Исходя из особенностей сформировавшейся антропогенной нагрузки на окружающую среду, были предложены критерии и показатели для оценки прошлого экологического ущерба. С учетом предложенного подхода была проведена оценка риска от прошлого экологического ущерба для основных отраслей промышленности Кемеровской области. Вблизи городов с развитой горнодобывающей промышленностью при длительной многолетней эксплуатации угольных шахт и разрезов, углеобогачительных фабрик, железорудных шахт и разрезов, а также предприятий теплоэнергетики создались необустроенные свалки промышленных, отходов преимущественно 4 и 3 классов опасности и нетоксичных с суммарной массой более 14 млн. т. Опасность промышленных отходов определяется содержанием в них металлов, макроэлементов и полиароматических углеводородов (ПАУ), которые могут мигрировать в подземные и поверхностные воды, почву и растения. Как следствие, в водоисточниках, включая подземные воды, в концентрациях выше ПДК обнаруживаются марганец (1.3-1.8 ПДК), железо (1.1-3.2 ПДК), фенол (4-15

ПДК), свинец (1.1-1.4 ПДК) кадмий (1.6-1.8 ПДК) и др. При этом загрязненные химическими веществами подземные воды используются как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения для 140 тыс. человек населения шахтерских городов [3]. Почва в шахтерских городах загрязнена хромом, свинцом, цинком, марганцем и кадмием, концентрации которых в 6.1-30.5% случаев превышали ПДК, а суммарный показатель химического загрязнения почвы составляет 34-60% на территории площадью более 4500 га. Местные сельскохозяйственные продукты загрязнены свинцом, кадмием и мышьяком, концентрации которых в 1.6-3.4% проб превышали ПДК. В шахтерских городах остаются:

- более чем у 60 тыс. человек повышенные канцерогенные индивидуальные риски, составляющие $1 \cdot 10^{-4}$; у 170 тыс. чел;
- популяционные относительные риски смертности, обусловленные запыленностью воздуха и достигающие 0.6 случая на 1000 человек;
- более чем у 240 тыс. человек суммарные индексы опасности инфекционных заболеваний, равные 2.5 и более.

Доли вкладов прошлых экологических ущербов в показатели состояния здоровья населения шахтерских городов ориентировочно оцениваются в заболеваемость раком в пределах 0.7-0.9%, в смертность – 4.5-7.0% в инфекционную заболеваемость в пределах 5-9% [3, 4]. В г. Кемерово вследствие 60-летней эксплуатации сосредоточенных химических предприятий, имеющих разнообразные производства с не утилизируемыми промышленными отходами 2-4 классов опасности, которых ежегодно образуется до 27-30 тыс. т., создано 5 крупных свалок, где скопилось около 1.8 млн. т. токсичных отходов. Они представляют потенциальную опасность загрязнения подземных вод. В подземных водах санитарно-защитных, жилых и пригородных зон обнаруживаются

аммиак, амины, формальдегид, фенол, кадмий, свинец. Количество населения, использующего химически контаминированные подземные воды как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения, составляет около 18 тыс. человек. Почва жилых и пригородных зон загрязнена мышьяком, фенолом, метанолом, формальдегидом, свинцом, кадмием, марганцем, и другими веществами. По суммарному показателю химического загрязнения почвы, который составляет 26-47 баллов, ее загрязнение оценивается как «умеренно опасное» и «опасное» на площади до 9 тыс. га [5]. В овощах, выращенных в санитарно-защитных зонах в 29-100% проб обнаруживаются кадмий, свинец, мышьяк и ртуть в концентрациях меньше ПДК. Не исключено, что длительная эксплуатация химических производств по получению хлора и хлорсодержащих продуктов вызвали загрязнение почвы санитарно-защитных зон и Кировского района г. Кемерово диоксинами. Вследствие химического загрязнения овощей, выращиваемых в пригородной зоне, для 340 тыс. человек создаются канцерогенные индивидуальные риски, составляющие $4.4 \cdot 10^{-4}$. Из-за запыленности воздуха для 370 тыс. человек имеются популяционные относительные риски смертности, превышающие 0.6 случая на 1000 человек. Загрязнения атмосферного воздуха, обуславливает индекс опасности неинфекционных заболеваний, превышающий 2.5, у 380 тыс. человек [5, 6, 7]. Доли вкладов прошлых экологических ущербов в показатели состояния здоровья населения г. Кемерово ориентировочно оцениваются в заболеваемость раком в 0.84%, в смертность в 4.0% и неинфекционную заболеваемость в 11-14%.

Предприятия черной и цветной металлургии, расположенные в городах Новокузнецке, Белово и Гурьевске, имеют значительные неутилизованные производственные отходы 2-4 классов опасности, накопленные в свалках общей массой более 4.5 млн. т. Подземные воды

жилых и санитарно-защитных зон г. Новокузнецка значительно загрязнены железом, магнием, марганцем, фтором, цинком, мышьяком, хромом, фенолом и другими, суммарные концентрации которых достигают 6.2-10.2 ПДК. Количество населения, использующего загрязненные подземные воды в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет в названных городах ориентировочно 42 тыс. человек. Содержание в почве районов, имеющих металлургические предприятия, никеля, хрома, свинца, марганца, мышьяка, фтора, цинка превышает ПДК. Суммарный показатель химического загрязнения почвы достигает в радиусе до 5 км от металлургических предприятий 52-79 баллов и оцениваются как опасное загрязнение почвы на площади более 8 тыс. га. Овощи, выращенные в пригородной зоне г. Новокузнецка, содержат значительно больше, чем полученные на «экологически чистых территориях», ванадия, цинка, алюминия, хрома, мышьяка, свинца. При этом концентрации названных веществ в 1.7-4.2% проб, превышали допустимые нормами уровни. Вследствие химического загрязнения овощей, выращиваемых в пригородной зоне, создается канцерогенный индивидуальный риск, превышающий $1 \cdot 10^{-4}$, для 420 тыс. человек. Запыленность воздуха обуславливает формирование популяционного относительного риска смертности, превышающего 0.6 случаев на 1000 населения, для 490 тыс. человек. Загрязнение атмосферного воздуха формирует индекс опасности неинфекционных заболеваний, значительно превышающий 2.5 для 510 тыс. человек [8]. Не исключено, что длительная эксплуатация предприятий черной металлургии в г. Новокузнецке вызвала загрязнение почвы и даже подземных вод диоксинами. Доли вкладов прошлых экологических ущербов в показатели состояния здоровья населения г. Новокузнецка ориентировочно оцениваются в заболеваемость злока-

чественными новообразованиями как 1.1 - 1.4%, в смертность населения в 5.0-9.0% и в неинфекционную заболеваемость в 14-17%.

Необходимость разработки компенсационных механизмов и распределение ответственности за прошлый экологический ущерб определяет важность проведения его экономической оценки. Экономическая оценка ущерба природным ресурсам, экономике региона, а также здоровью населения по причине прошлого экологического ущерба была проведена по материалам обследования территорий закрытых несколько лет назад предприятий химической и оборонной промышленности в г. Кемерово – ОАО «Анилинокрасочный завод» и ФГУП «Кемеровский завод «Коммунар»». Обследованная территория составляет около 500 га, что составляет почти половину всей занимаемой этими предприятиями территории.

ОАО «Анилинокрасочный завод» более 50 лет производил антрахиновые красители, анилин, синтетические красители, лекарственные средства, товары бытовой химии. Предприятие по своей технологии всегда образовывало опасные отходы, имело несколько крупных собственных объектов размещения отходов (шламоотстойники, очистные сооружения закрыты с 2000 г.), которые продолжают оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Причем объекты размещения отходов оказывают воздействие на атмосферный воздух, подземные и поверхностные воды. Биологические очистные сооружения находятся на консервации: сброс в р. Томь не осуществляется. В настоящее время на территории завода располагается значительное количество отходов 2-4 класса опасности всего более двадцати наименований (серная кислота, едкий натр, метанол, бензол, анилин, аммиачная вода и др.). Количество различных загрязняющих веществ варьирует от нескольких килограмм до десятков тонн.

Риск ущерба обусловлен тем, что загрязняющие вещества хранятся в заброшенных помещениях бесконтрольно при свободном доступе на территорию. Кроме того, у предприятия и его арендаторов отсутствуют обоснование лимитов на размещение отходов, обученные специалисты по обращению с отходами, статотчетность не ведется и не выплачиваются платежи за негативное воздействие на окружающую среду. Такая ситуация, к сожалению, наблюдается на большинстве закрытых и находящихся на стадии банкротства предприятий региона. Кроме того, вся территория захламлена строительными отходами от разрушенных зданий и металлоломом от конструкций и сооружений, общий объем которых составляет несколько тысяч куб. метров. Потенциальный риск увеличивается возможностью разлива жидких отходов из шламоотстойников и мест их хранения. Территория завода с остатками зданий и производственной инфраструктуры перешла в собственность муниципалитета. Ответственность за ликвидацию ущерба также перешла к администрации города.

Для экономической оценки размера прошлого экологического ущерба от деятельности ОАО «Анилинокрасочный завод» была проведена оценка ущерба от загрязнения поверхностных вод, химического загрязнения почв и захламления территории.

Ущерб от загрязнения реки Томь в результате вероятной аварии шламонакопителя. В случае разрушения ограждающей дамбы шламонакопителя сточные воды из «аварийной» секции непосредственно изольются в реку Томь, загрязняя её. Ущерб от вероятной аварии шламонакопителя определен, согласно «Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба» [9]. Полный эколого-экономический ущерб определяется путём умножения приведенного ущерба на фактический объём сточных вод, который будет сброшен в результате аварии (более 130 тыс. куб. м). Возможный ущерб от

гидродинамической аварии в результате оценивается в 162 098.5 тыс. руб.

Оценка ущерба окружающей среде, причиненного нарушением законодательства в области обращения с отходами производства и потребления. По материалам обследования территории предприятия выявлено несанкционированное размещение отходов производства и потребления около 12 тысяч тонн 3 и 4 класса опасности. В соответствии с нормативными требованиями в области обращения с отходами производства и потребления, в том числе и по Кемеровской области, отходы, предназначенные для передачи в целях дальнейшего использования или захоронения, должны передаваться специализированным организациям, имеющими соответствующие технологии или ведущие этот вид деятельности. Все названные отходы можно передать организациям г. Кемерово, ведущим соответствующий вид деятельности и имеющим лицензию на обращение с опасными отходами. Организации имеют установленные тарифы на прием, транспортировку и захоронение опасных отходов. В основу расчета ущерба положен затратный подход, предусматривающий учет всех расходов на реабилитацию территории (транспортировка, захоронение, рекультивация и т.д.), исходя из сложившихся цен на услуги организаций занятых оборотом отходов и степенью их опасности. В результате размер ущерба, исходя из восстановительной стоимости, составил 12 602. 4 тыс. руб.

Ущерб от загрязнения земель химическими веществами в результате несанкционированного захоронения промышленных отходов. В результате обследования выявлено загрязнение земли химическими веществами на площади 2.5 га. Размер ущерба от загрязнения земель химическими веществами причиненный в результате несанкционированного захоронения промышленных отходов завода определен,

согласно «Порядку определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» (1993 г.). В расчетах было принято степень загрязнения отнести к средней категории, глубину загрязнения до 50 см и продолжительность 16-20 лет. Размер ущерба от загрязнения земель определен исходя из затрат на проведение полного объема работ по очистке загрязненных земель и составил 3453.8 тыс.руб.

Ущерб, причиняемый земельным ресурсам прошлой деятельностью предприятия, определяется не только потерями, вследствие загрязнения, захламления и деградации территории. Существенные потери несет местный бюджет вследствие упущенной выгоды от «недополучения» арендной платы за землю, инфраструктуру, здания и сооружения. Небольшая часть имущества Анилиноокрасочного завода передана в аренду, но около 20 га территории с бывшей производственной инфраструктурой и сооружениями заброшены и разрушены, частично демонтированы. По существующей методике расчета арендной платы за пользование землей и прочим недвижимым имуществом для г. Кемерово, средняя ставка размера арендной платы за землю, расположенную в промышленной зоне составляет 98 руб/кв.м. В данном случае предполагается, что эти территории могут быть использованы для размещения складских помещений и торгово-посреднической деятельности. Упущенная выгода только от недополученной арендной платы за пользование земельным участком может составить до 2 млн. руб. в год. Потери от неиспользования зданий и сооружений определить сложнее вследствие многовариантности возможностей и условий передачи их в арендное использование.

Завод «Коммунар» также остановлен и на территории более 400 га оставлены отходы производства в виде разрушенных зданий, химических веществ,

используемых ранее для производства взрывчатых веществ, препаратов бытовой химии, фенатиозина ветеринарного, технической салициловой кислоты и др. Земельный участок с остатками прошлой деятельности является федеральной собственностью, и ущерб также становится ответственностью государства. ФГУП «Кемеровский завод «Коммунар»» вошел в федеральную целевую программу «Промышленная утилизация вооружения и военной техники (2005-2010) г.г.». Согласно программе предприятию планируется выделить до 200 млн. рублей. По инициативе Администрации г. Кемерово был проведен экологический аудит на территории этого предприятия. Программа предусматривает восстановление территории в несколько этапов:

- Дезактивация и утилизация загрязняющих и опасных веществ;
- Рекультивация территории;
- Возвращение территории в хозяйственный оборот.

По оценке специалистов на полную реабилитацию территории потребуется не менее 1 млрд. рублей. Совершенно очевидно, что эта сумма представляет собой «экологический долг» за прошлый экологический ущерб. Предприятия даже после закрытия и диверсификации продолжают оказывать негативное воздействие на здоровье населения и создавать опасность для жизнедеятельности. Требуется много усилий и затрат как со стороны государства, так и самих проживающих на этой территории для компенсации и предотвращения ущерба от заболеваемости и смертности населения по причине экологического фактора. При оценке воздействия прошлого экологического ущерба на заболеваемость и смертность населения были учтены два основных пути воздействия.

Первый путь обусловлен оставшимися необустроенными свалками промышленных отходов, в которых накопилось почти 1.4 млн. т токсичных отходов 2-4 классов опасности,

содержащих фенол, хлорированные углеводороды, анилин, металлы и др. вещества. Токсичные отходы могут загрязнять подземные воды и создавать риски заболеваний для населения, если оно использует подземные воды как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако в настоящее время нет данных о содержании вредных веществ в подземных водах Кировского района и его окрестностях, отсутствуют сведения о численности населения, употребляющего подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Поэтому определить риски и вред для здоровья населения, связанный с загрязнением подземных вод вследствие оставшихся свалок промышленных отходов, не представляется возможным.

В то же время многолетняя, более 45 лет, эксплуатация названных химических предприятий, имевших выбросы вредных веществ в атмосферу, создала в радиусе до 4.5 км диффузное химическое загрязнение почвы. Суммарный показатель химического загрязнения почвы в Кировском районе, где расположены данные предприятия, составляет за последние годы 25-48 баллов и оценивается как «опасное загрязнение почвы» [5]. Вследствие этого овощи, выращиваемые на территориях садово-огородных кооперативов, расположенных вблизи от заводов, а также в частном секторе, контаминированы свинцом, цинком, кадмием, марганцем, мышьяком, органическими соединениями. В тестах на микроорганизмах они проявляли мутагенную активность, и, следовательно, представляют опасность для здоровья.

Второй путь неблагоприятного воздействия на состояние здоровья населения действовавших и закрытых химических предприятий обусловлен тем, что у части населения остались заболевания, которые сформировались в период прошлого воздействия атмосферных загрязнений, а также сохранились риски рака и смертности.

Выращенные на загрязненной почве

овощи, хотя содержание в них вредных веществ не превышает ПДУ, создают при употреблении индивидуальные канцерогенные риски, равные $12.4 \cdot 10^{-4}$, для 11 тыс. человек в Кировском районе. Это, в конечном счете, обуславливает популяционные абсолютные риски рака, как возможное развитие 14 случаев рака. Кроме того, употребление контаминированных вредными веществами овощей, может обуславливать возникновение у 11 тыс. жителей Кировского района заболеваний органов пищеварения, крови, эндокринной и сердечно-сосудистой систем, кожи и подкожной клетчатки. Их суммарное количество при ориентировочной доле вклада употребления химически загрязненных овощей в сложившиеся уровни заболеваемости, равной 9%, может составлять 87 случаев заболеваний дополнительно в год.

Загрязнения атмосферного воздуха в прошлом вызвали развитие хронических заболеваний органов дыхания, органов пищеварения, глаз, кожи и подкожной клетчатки. Они периодически обостряются и вызывают необходимость обращаться за медицинской помощью в настоящее время. При проводимой оценке определялось количество случаев заболеваний на контингент населения численностью 10.8 тыс. человек, как один из показателей вреда здоровью, обусловленный прошлым экологическим загрязнением. При этом, на основании ранее проводившихся исследований и статистических данных, принималось, что доли вклада атмосферных загрязнений в уровни заболеваемости составляют 11%, а доли вклада выбросов названных химических предприятий в уровни загрязнения атмосферного воздуха Кировского района – 27%. При уровне обострений названных хронических заболеваний, равных в г. Кемерово 248 случаев на 1000 человек, ежегодно как следствие прошлых атмосферных загрязнений возникает дополнительно 80 случаев заболеваний.

Воздействие в прошлом загрязнений атмосферного воздуха взвешенными веществами обуславливает риск смертности для контингента населения численностью 10.8 тыс. человек. Индивидуальный риск смертности с учетом времени воздействия взвешенных частиц в течение предыдущих 25 лет составляет $0.65 \cdot 10^{-2}$. При этом доля вклада выбросов химических предприятий в загрязнении атмосферного воздуха взвешенными веществами составляла 12%. Абсолютный популяционный риск смертности, как следствие прошлых атмосферных загрязнений взвешенными веществами равен 8 случаев смерти дополнительно.

Используя данные о характере последствий воздействия прошлого экологического ущерба от деятельности ОАО «Анилиноокрасочный завод» и ФГУП «Коммунар» была проведена экспертная оценка затрат на компенсацию этого ущерба. Следует отметить, что в настоящее время нет единой методики стоимостной оценки ущерба здоровью населения от экологических факторов. В данном исследовании было предложено при расчете учесть расходы со стороны государства и населения по компенсации этого ущерба. Для расчета были использованы данные по заболеваемости и смертности населения по причине употребления населением овощей, выращенных в зоне влияния АКЗ и Коммунара, а также загрязнения атмосферы.

При оценке стоимостного ущерба заболеваемости было предложено учитывать:

- затраты государства в системе обязательного медицинского страхования на лечение населения из расчета по данным на 2004 год 2326.8 рублей в год на человека;
- затраты населения на покупку лекарств и обращение к врачу по итогам социопроса по заданию департамента охраны здоровья составляют в среднем 3126 рублей в год на человека;

- затраты на санаторно-курортное лечение (смешано государство и население) исходя из средней стоимости проживания 900 руб/сутки x 14 дней = 12600 рублей;

- оплата больничных листов, исходя из средней продолжительности временной нетрудоспособности 11 дней и, согласно статистике, средней заработной платы в 7000 рублей в месяц, составляет 3208 рублей на человека;

- потери ВРП в дни нетрудоспособности человека, исходя из макроэкономической оценки, могут составить до 60 тысяч рублей в год [10].

Затраты населения в системе добровольного медицинского страхования сложно учесть из-за большого спектра услуг и тарифов в различных фондах. Кроме того, использование полисов добровольного медицинского страхования представляет небольшую долю в затратах населения на лечение и профилактику. В расчете принято, что среди заболевших, доля трудоспособного населения составляет 50% (в нашем случае 83 человека). В результате получается, что затраты населения и государства на компенсацию ущерба здоровью по причине прошлого экологического ущерба от обследованных предприятий составляет 6 798 тысяч рублей в год.

Экономическая оценка ущерба от заболевания населения онкологическими заболеваниями проводилась отдельно от общей заболеваемости по причине значительной разницы в размерах затрат на лечение и количества дней нетрудоспособности. В структуре затрат были выделены:

- затраты государства на лечение в системе обязательного медицинского страхования;
- выплата зарплаты по месту работы;
- потери ВРП.

При расчете было принято считать продолжительность болезни за 1 год и применение амбулаторного лечения. Затраты на лечение онкологических

больных ведутся отдельно от общей заболеваемости и могут составлять в зависимости от состояния больного от 1100 до 1900 тысяч рублей в год. Заработная плата и потери ВРП определены также как и в случае с общей заболеваемостью. В результате ущерб от заболеваемости населения раком по причине прошлого экологического ущерба от обоих заводов составляет 23 025 тысяч рублей в год. Структура затрат при определении размера ущерба в случае смерти, обусловленной загрязнением окружающей среды обследованными предприятиями, состоит из следующих элементов:

- затраты государства в виде выплат по случаю потери кормильца;
- потери ВРП;
- затраты на ритуальные услуги.

Поскольку расчет выплаты по случаю потери кормильца связан с размером заработной платы умершего то, как и в предыдущих случаях, она рассчитана из расчета 7000 рублей в месяц. Затраты на ритуальные услуги одного умершего, по данным ритуальных агентств, составляют в среднем 10 тысяч рублей. В нашем случае от прошлого экологического ущерба могут умереть 8 человек и, соответственно ущерб составит 1 237 тысяч рублей в год.

Совокупный ущерб от заболеваемости и смертности населения, обусловленный прошлым экологическим ущербом «Анилиноокрасочного завода» и завода «Коммунар» составляет 31 060 тысяч рублей в год.

Следует отметить, что в процессе оценки ПЭУ могут возникать трудности и неопределенности.

В первую очередь это относится к использованию оценки риска и затратного подхода. Многофакторность риска, отсутствие полноценного мониторинга за оценкой воздействия, недостаточность методик и неадекватность эколого-экономического эффекта снижают эффективность и полноту оценки ущерба.

Например, компенсационные механизмы при оценке ущерба здоровью населения должны включать значительное количество мероприятий, как смена места жительства, моральный ущерб, упущенная выгода, превентивные меры и т.д. Однако из-за многовариантности видов заболеваний и мер компенсации практически невозможно это учесть в оценке общего ущерба. При оценке упущенной выгоды следует учесть, как в нашем случае, то обстоятельство, что передача в аренду участков земли и

имущества должна быть соотнесена с условиями промышленной безопасности. Участки, сдаваемые в аренду не должны подвергаться предполагаемый бизнес риску на случай взрыва, пожара, заболевания сотрудников и т.д.

Эффективной оценка ПЭУ может быть только в случае участия в этом процессе органов власти, бизнеса и общественности. Только при непосредственном участии всех заинтересованных сторон может формироваться механизм снижения воздействия ПЭУ на нынешнее и будущее поколения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рюмина, Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е.В. Рюмина. – М.: Наука, 2000. – 31 с.
2. Возмещение экологического ущерба (правовые и экономические аспекты прошлого экологического ущерба) / Под ред. С.А. Боголюбова и И.Н. Сенчени. - М.: Издательство научного и учебно-методического центра, 2001. – 98 с.
3. Зенков, В.А. Проблемы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения шахтерских городов Кузбасса / В.А. Зенков. – Кемерово : издательство ТГУ, 1997. – 156 с.
4. Зенков, В.А. Гигиенические проблемы шахтерских городов Кузбасса: автореф. дис... докт. мед. наук / В.А. Зенков – М. : 2000. – 44 с.
5. Михайлуц, А.П. Экономическая и медико-гигиеническая оценка прошлого экологического ущерба от промышленных предприятий / А.П. Михайлуц, Г.Е. Мекуш // Проблемы региональной экологии. – 2006. – №5. – С. 111-119.
6. Михайлуц, А.П. Гигиена труда и окружающей среды на химических предприятиях / А.П. Михайлуц. – Кемерово : издательство ТГУ, 1991. – 93 с.
7. Зайцев, В.И. Гигиеническая оценка загрязнений окружающей среды при многолетней эксплуатации сосредоточенных химических предприятий / В.И. Зайцев, А.П. Михайлуц. - Кемерово : издательство ТГУ, 2001. – 190 с.
8. Зайцев, В.И. Гигиенические проблемы территорий с развитой, много лет работающей химической промышленностью : автореф. дис... докт. мед. наук / В.И. Зайцев – Омск, 2001. – 46 с.
9. Минаков, Е.С. Гигиеническая оценка сосредоточения металлургических предприятий в городе (на примере г Новокузнецка) : автореф. дис... канд. мед. наук – Кемерово, 2003. - 24 с.
10. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. – М. : Госкомэкология, 1999.
11. Мекуш, Г.Е. Макроэкономическая оценка заболеваемости населения от экологического фактора на региональном уровне / Г.Е. Мекуш // Экономика природопользования. – 2005. - № 5. – С. 79-90.

СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

С.М.Сухорукова, *П.В.Сухоруков, М.С. Брыкина

**Международный Московский Банк*

Переход России к «открытой экономике» способствовал формированию в реальном секторе экспортно-сырьевой направленности и вымыванию наукоемких отраслей химической промышленности. Для выхода из этой ситуации предлагается концепция институциональной экономики, которая позволит восстановить диверсифицированный комплекс наукоемких отраслей в России на новой системной основе, одновременно решая связанные с этим экологические, социальные и экономические проблемы химической индустрии.

*«Есть время разбрасывать камни,
и есть время их собирать»*

Экклезиаст

Отрасли химической индустрии всегда относились к сферам повышенного экологического риска, но с ходом реформирования российской экономики эта проблема усугубилась и приобрела новый характер, будучи тесно увязанной с негативом экономических и социальных последствий распада народно-хозяйственного комплекса России. В силу системной взаимообусловленности социальных, экологических, экономических проблем их решение возможно только в совокупности и на системной основе. В данной статье предлагается рассмотреть две темы:

1. социо-эколого-экономическая ситуация в химической промышленности: анализ состояния и причин ухудшения,

2. концепция экономической политики, позволяющая решить комплекс социо-эколого-экономических проблем химической промышленности,

1. Социо-эколого-экономическая ситуация в химической промышленности: анализ состояния и причин ухудшения,

За последние пятнадцать лет химическая промышленность в России пережила значительное падение производства. Объем выпуска основных видов продукции химической промышленности (серная кислота, кальцинированная и каустическая сода,

синтетические смолы и пластические массы) снизился в период с 1990 по 1998 г. в 2 раза, минеральных удобрений за этот же период – в 1.5 раза, а по химическим волокнам – в 5 раз. Если в последующие годы наметился определенный рост производства некоторых видов химической продукции (синтетические смолы и пластические массы, минеральные удобрения), то по ряду позиций (стеклопластики, лакокрасочные материалы и др.) это падение остается значительным (4-5 раз) до настоящего времени [1]. Сократилось производство в отраслях фармацевтики. Скажем, в 1980-е годы в Советском Союзе производили около 70 различных субстанций антибиотиков из 90 известных в то время. Их экспортировали не только в социалистические страны, но и на Запад. А теперь почти все субстанции мы покупаем в Китае и Индии.

Сокращение химического производства обусловило социальные проблемы в связи с возникшей безработицей, особенно в городах, где были полностью закрыты градообразующие химические предприятия с комплексом обслуживающих их НИИ, КБ и образовательных учреждений. Ухудшились и общие по отрасли экономические показатели: реальные затраты в сопоставимой оценке выросли на 60%. Что касается экологических последствий, то показатели удельной природоемкости по отраслям химической промышленности значительно возросли.

При этом средняя энергоемкость единицы химической продукции в России сегодня в несколько раз выше чем в США и других развитых странах, на 25% выше потребление воды, как технологической, так и оборотной. Удельные выбросы окислов серы значительно выше, чем в Японии, Норвегии, Германии. Все это говорит о низкой экономической и экологической эффективности химического производства. Совершенно очевидно, что решение проблемы требует технологического переоснащения производства, поскольку технологии, используемые химическими предприятиями, были созданы еще в 1970-е годы. При этом износ многих основных производственных фондов уже превышает 50-80%. Физическое устаревание оборудования создает повышенную угрозу техногенных катастроф с необратимыми экологическими последствиями, ростом экотических заболеваний и реальной вероятностью новых экономических и социальных рисков, дестабилизирующих развитие регионов.

Ухудшение социо-эколого-экономической ситуации, связанное с падением производства в химической индустрии, обусловлено рядом причин. Рассмотрим эти причины на макро- и микроуровне.

Сокращение производства в химической промышленности в значительной степени было вызвано сужением ресурсной базы, так как на макроуровне произошел масштабный структурный сдвиг – сырьевой. В стране стали лидировать экспортно-ориентированные предприятия по добычи нефти и газа.

В настоящее время доминирует в структуре российской экономики газонефтяной комплекс. Он обеспечивает около четверти производства ВВП, треть объема промышленного производства и доходов консолидированного бюджета России, примерно половину доходов федерального бюджета [2]. И все это благодаря сырью – газу и нефти, успешно продаваемым за рубеж нашими компаниями. Экологический негатив этой структурной деформации реального

сектора очевиден. Происходит убывание невоспроизводимого энергоресурса, необходимого самой России, прежде всего по причине ее холодного климата. Убывает и сырье, необходимое для отечественной химической перерабатывающей промышленности. Причем добыча этого сырья порождает весьма негативные последствия для биогеоценозов на территориях добычи. Не меньшую экологическую проблему создает и транспортировка газа, нефти по стране.

Что касается экономической оценки структурной деформации, то и тут мы несем серьезные потери. Сырьевая направленность российского экспорта повлияла на рост внутренних цен на сырье, в том числе и для химической промышленности, повышая себестоимость продукции, снижая ее конкурентоспособность и, следовательно, базу для налогообложения. Но, тем не менее, сохраняется ложное представление, что будто бы продажа сырья выгоднее продажи нефтепродуктов глубокой переработки и поэтому она может считаться предпочтительной бюджетобразующей основой. Однако, на самом деле именно при росте глубины переработки нефти и газа многократно растет экономический, экологический и социальный эффект в силу того, что:

О улучшается качество продукта и, следовательно, его продажная цена,

О при внутреннем потреблении качественных нефтепродуктов (бензин, дизельное топливо и т.д.) сокращаются загрязняющие атмосферу выбросы серы, азота на нашей территории,

О при внутреннем потреблении качественных нефтепродуктов минимизируется риск штрафов с учетом того, что с 2008 года согласно Киотскому протоколу начнутся экономические санкции за выбросы парниковых газов,

О сокращается энергоемкость единицы ВВП и при условии его роста не требуются дополнительные объемы добычи энергоресурсов,

О увеличивается занятость населения без введения в хозяйственный кругооборот дополнительных объемов

невоспроизводимого сырья,

О появляется социальный заказ на квалифицированных специалистов и, следовательно, повышаются требования к профессиональной подготовке кадров и поднимается общая культура населения.

Несмотря на очевидные социо-эколого-экономические преимущества вывоза не сырья, а продуктов глубокой переработки, нефтехимическая промышленность продолжает сокращать объемы своего наукоемкого производства, а экспорт углеводородного сырья растет. По экспертным оценкам генерального директора Научно-исследовательского инженерного центра «Синтез» д.х.н. Ю.А. Трегера лишь 10% углеводородного сырья, добываемого в России, подвергается химической переработке. Химическая индустрия, если производит (и экспортирует), то в основном продукцию первых химических переделов, т.е. сырье, полуфабрикаты и базовые крупнотоннажные материалы, тогда как 30-50% уникальной наукоемкой продукции – катализаторы, химикаты-добавки, смеси и сплавы полимеров, конструкционные полимеры и продукция переработки полимеров – импортируется из развитых стран [1].

С потерей наукоемких отраслей отечественная химическая промышленность стала не только «глупее», но и «грязнее», так как, если на фоне общего снижения объемов производства наукоемкие стадии производства резко сократились, то природоемкие, с токсичными выбросами – возросли. Это объясняется тем, что зарубежный рынок широко распахнул свои врата для продукции энерго-, водоемкого и наиболее «грязного» химического производства. Так в производстве удобрения, серной кислоты, синтетических волокон после значительного, но непродолжительного спада, начиная с 1999 года стал наблюдаться рост объемов выпускаемой продукции [3]. Но это отрасли, продукция которых интересует иностранных покупателей не в последнюю очередь по причине экологической опасности их производства.

Макроэкономические причины ухуд-

шения социо-эколого-экономической ситуации в отраслях химической индустрии связаны и со следующим обстоятельством. В 1990-е годы распался многоотраслевой комплекс, создаваемый десятилетиями советской власти и обеспечивающий связь добычи сырья, его транспортировки и полного технологического цикла переработки до конечной наукоемкой продукции, направляемой конкретным потребителям. Это произошло в силу того, что в результате разгосударствления собственности была ликвидирована системная основа, обеспечивающая экономическую связь отраслей добычи сырья и его переработки. Произошло и разъединение самих химических комбинатов, связанных единой технологической цепочкой. Государство в новых условиях уже не может командно-административными методами обеспечить той связи отраслей и подотраслей, которая позволяет решать основные экологические задачи производства: ресурсосбережение и малоотходность. Необходимы средства индикативного, а не директивного управления. Пока эти средства отсутствуют невозможно осуществление эколого-ориентированных программ, направленных на обеспечение единых и замкнутых хозяйственных циклов при добыче и переработке природного сырья. Если в настоящее время и сохранилась природоохранная деятельность, то она носит разрозненный и компенсационный характер: мероприятия по ликвидации последствий техногенных аварий, обезвреживанию накопленных отходов, рекультивации земель, нарушенных в результате прокладки трубопроводов и т.д. Такая природоохранная деятельность не может принести радикального улучшения социо-эколого-экономической ситуации химической индустрии. Но тут обратимся к ежегодно публикуемым Государственным докладом «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». Здесь экологическая ситуация в интересующих нас отраслях преподнесена достаточно оптимистично: статистика говорит о преимущественном снижении отходов за последние годы (табл. 1).

Таблица №1.

Динамика образования отходов производства и потребления по отраслям (млн. т) [4].

	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Нефтедобывающая промышленность	0.9	1.4	0.6
Газовая промышленность	0.25	0.3	0.1
Нефтеперерабатывающая промышленность	1.6	0.9	1.0
Химическая и нефтехимическая промышленность	116.4	120.3	133.2

Если по химической и нефтехимической отрасли показан рост отходов производства, то статистика при этом показывает весьма незначительный удельный вес этих отраслей в общем объеме загрязнения окружающей среды.

Судя по представленным статистическим данным, действительно, можно оценить экологическое состояние добычи газа и нефти, их переработки как вполне благополучное и с явной тенденцией на улучшение. Но картина обманчива по причине своей неполноты и фрагментарности. Это экологическое «благополучие» не коррелируется с реальным состоянием социальных, экологических и экономических проблем России. Да, отечественные «естественные» монополии, а также зарубежные инвесторы, международные банки, активно устремившиеся к месторождениям наших энергоресурсов и их первичной переработке, начали следовать требованиям экологической безопасности, заложенным в проектах и лицензиях. И вполне возможно, что выбросы у них сокращаются, тем более, что дисциплина экологического контроля будет ужесточаться в связи с введением в действие Киотского протокола. В Протоколе предусмотрен Механизм чистого развития (Clean Development Mechanism), который предложено применять путем совместного осуществления (Joint implementation) проектов «чистого производства», ориентированных на сокращение выбросов и продажи квот на загрязнение. Существуют и другие механизмы реализации Протокола, использование которых также принесет дополнительные финансовые преимущества компаниям

[5]. Так что, повторяем, данные о тенденции сокращения выбросов, приводимые в Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» могут быть вполне достоверны. Но что значат эти сокращающиеся выбросы при добыче нефти, газа и их транспортировке по сравнению с тем, что природное сырье уходит из страны, оставляя нашим регионам связанные с этим экономические и социальные проблемы? Для определения степени позитивности складывающейся ситуации, статистические данные о снижении доли загрязнений в отдельных отраслях ТЭК и химпрома следует рассматривать только в комплексе взаимосвязанных экологических, социальных последствий растущей добычи и экспорта сырья при падающей степени его переработки. И в этом плане социо-эколого-экономическую ситуацию в комплексе отраслей нефте-, газодобычи и нефте-, газопереработки нельзя оценивать как благополучную для Российской Федерации.

Ухудшению социо-эколого-экономической ситуации немало поспособствовали причины и микроэкономического уровня. В процессе приватизации и акционирования произошло дробление крупных химических комбинатов. С учетом резко упавшей платежеспособности предприятий, это стало тормозом в реализации дорогостоящих научно-технических проблем по модернизации оборудования, переходу к технологиям «чистого производства». Конечно, нельзя при этом забывать, что появились крупные хозяйственные объединения со значительными финансовыми возмож-

ностями: ФПГ, ТНК. Но эти рыночные структуры, как правило, строятся на исключительном доступе к месторождениям нефти или газа, что делает их монополистами и ставит вне конкуренции при выборе способов использования сырья. Естественные монополии предпочитают экспортировать сырье, а не продукты его переработки, хотя на основе крупных нефтяных и газовых компаний можно создать вертикально интегрированный полный цикл: от научной разработки до производства конечной наукоемкой продукции. На этот путь встает ОАО

Газпром. Но успехи здесь еще не так уж значительны. ОАО Газпром имеет всего 6 заводов, перерабатывающих около 50 млрд. куб. м. газа в год (для сравнения: мировая газоперерабатывающая промышленность насчитывает около 1600 заводов, перерабатывающих до 1500 млрд. куб. м в год). Общая доля России в химической переработке газа составляет всего 2.3% от объемов переработки мировой газоперерабатывающей промышленности. И это при том, что Россия имеет 35% мировых запасов газа, что должно стать естественной основой мощной отечественной газоперерабатывающей промышленности.

Таблица №2.

Вклад отраслей промышленности в загрязнение окружающей среды [4].

	Выбросы в атмосферу	Сброс загрязненных сточных вод	Образование отходов
Всего	100%	100%	100%
Химическая и нефтехимическая промышленность	2%	20%	5%
Нефтеперерабатывающая промышленность	3%	4%	0.3%
Нефтедобывающая промышленность	25%	0.1%	0.02%
Газовая промышленность	4%	0.2%	0.004%

Конечно, можно наращивать экспорт сырья и пользоваться благоприятной ситуацией на мировом рынке энергоресурсов с целью инвестирования на нужды технологического обновления отечественной химической перерабатывающей промышленности. Но этого не происходит. При постоянно растущих суммах нефтедолларов за последние пятнадцать лет объем инвестиций в нефтехимию уменьшился в 5-6 раз.

Макроэкономические причины данного обстоятельства заключаются в следующем.

В результате рыночных преобразований решение задач макроэкономического регулирования инвестиционных потоков в России сместилось от органов федеральной власти в сторону рыночных структур. Для российских субъектов рыночной экономики до сих пор не создан механизм социальной ответственности и экономической заинтересованности в

решении социо-эколого-экономических проблем, связанных с химической перерабатывающей промышленностью. При этом инвестиционную политику в России, в химической промышленности, в значительной степени, стало определять начавшееся привлечение иностранного капитала, заинтересованного прежде всего в природо-эксплуатирующих отраслях (рис. 1). В результате основной объем инвестиций приходится на сырьевые сектора химической промышленности: производство минеральных удобрений, крупнотоннажных нефтехимикатов. Если экстраполировать эту тенденцию, приняв за условие то, что роль зарубежного капитала в развитии российской химической промышленности будет возрастать, можно ожидать роста не науко-, а природоемкости нашей химической продукции. И приходится отметить, что доля зарубежного капитала пока только увеличивается.

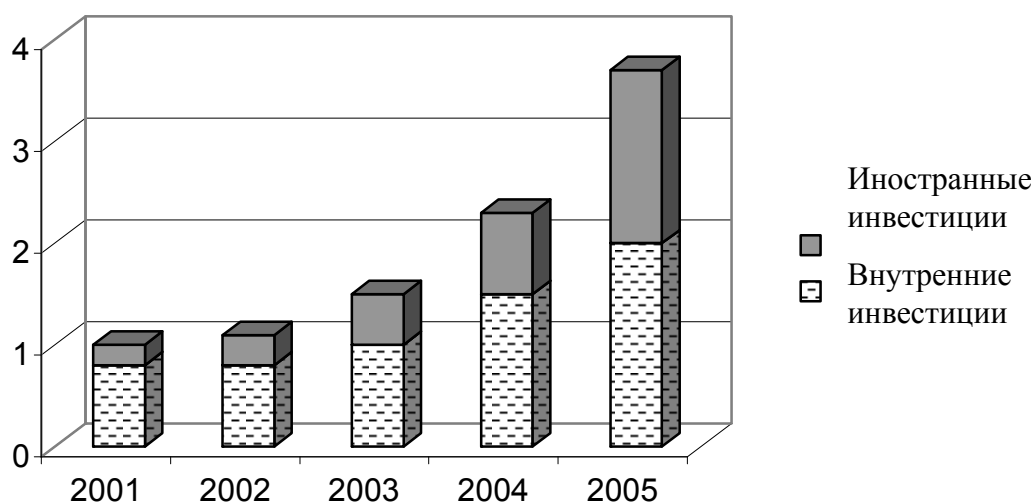


Рис. 1. Динамика инвестиций в химическую индустрию России [6].

Встает вопрос: как переломить тенденцию роста природоемкости химической индустрии, если мы нуждаемся не только в финансовых ресурсах западных инвесторов, но и в их технологиях, так как по ряду производств в технологическом отношении наше отставание измеряется десятилетиями?

Государство в условиях пореформенной России не берет на себя задачу финансирования технологического переоснащения перерабатывающей химической индустрии, используя средства, получаемые от продажи сырья. Государство, согласно «либерально-рыночной» концепции реформирования не должно принимать участия в решении социальных, экологических проблем отечественной промышленности. Поэтому у государства и не вызывает беспокойства тот факт, что в общей сумме природоохранных инвестиций по России на долю химической и нефтехимической промышленности в 2004 году пришлось всего 7.9% [4]. При этом вся природоохранная деятельность в ТЭК и химпроме осуществлялась за счет собственных средств предприятий. Но рассчитывать на их рост не приходится, так как постоянные корпоративные войны за передел собственности не способствуют росту природоохранных инвестиций,

которые в основном должны носить долгосрочный характер.

Учитывая геополитическую стратегию международного капитала (продвижение к природным ресурсам и, прежде всего, к энергоносителям, а также пресной воде, лесным ресурсам и т.д.), не приходится рассчитывать и на его участие в формировании наукоемких отраслей химической промышленности и улучшении социо-эколого-экономической ситуации, там сложившейся. Поэтому, поскольку мы не должны изолироваться от мирового сообщества, сегодня стратегически важно создавать такую институциональную основу для потоков иностранного капитала, которая способствовала бы решению экологических, социально-экономических, технологических проблем в химической промышленности. И трудности по решению этой задачи приходится рассматривать с учетом сложившихся тенденций глобализации мировой экономики.

Дело в том, что рассмотренные выше и макро- и микроэкономические причины ухудшения социо-эколого-экономической ситуации в химической индустрии не были обусловлены лишь внутренними российскими обстоятельствами. В значительной степени они были

предопределены условиями вхождения России в глобализирующуюся мировую экономику (табл. 3). Каковы эти условия? Этот вопрос является ключевым для улучшения социо-эколого-экономической ситуации в химической промышленности.

Начнем с того, что экономическая политика государства (группы государств) строится на концепции конкретной школы экономической теории. В каждой школе своя трактовка роли государства в регулировании инвестиций, структуры промышленных отраслей, а также отношений собственности на природные ресурсы, цен, налогов и т.д. В основу реформирования российской экономики и глобализации положена либеральная экономическая доктрина. Эта доктрина отрицает допустимость государственного регулирования промышленности, абсолютизирует приоритет рыночной свободы и полную открытость границ для перемещения инвестиций, сырьевых ресурсов, рабочей силы, товаров и пр. Либеральная концепция фактически обосновывает право таких субъектов

глобализации, как ТНК, международные банки, проникая в другие страны, подчинять их природные ресурсы своим интересам. В результате появляются «экологические» колонии, обслуживающие развитые страны своей добывающей промышленностью. Если на их территории сохраняется и перерабатывающая промышленность, то преимущественно в самых «грязных» отраслях или наиболее энерго-, водо-, ресурсоемких технологических стадиях. Развитые страны, сосредотачивают на своих территориях «чистые», наукоемкие звенья в цепи промышленных технологий. С начала 1970-х годов прошлого столетия Запад вообще заметно начинает терять интерес к сохранению за собой статуса «передовой индустрии». «Развитые» страны объявили о своем переходе к «постиндустриальной», «информационной» стадии цивилизации, наращивая свои доходы за счет финансовых спекуляций и продажи высоких технологий. Россия в этом процессе заметно отстала.

Таблица 3.

Место России среди развитых стран по производству наукоемкой продукции и услуг [7].

Страны	Объем производства (млрд. долл.)	Место в мире
США	2584.0	1
Япония	1377.2	2
Германия	807.9	3
Франция	450.1	4
Великобритания	356.5	5
Канада	142.5	6
Россия	115.3	7

Транснациональные корпорации развитых стран целенаправленно стали выносить «природоемкие» и «грязные» производства за рамки своих «цивилизованных» государств. Транснационализация производства стала вообще характерной особенностью глобализации. Ее предпосылкой явилось то, что промышленный способ производства основан на технологиях, поддающихся унификации и возможности их рассредоточения по нескольким странам. Благодаря этому и возможна

ситуация, когда отдельные звенья производственно-технологических цепочек выносятся за национальные рамки, что породило феномен международного «технологического» разделения труда. При этом, по мере глобализации происходит не только экономическое сближение стран мирового сообщества, но и растет осознание их экологической взаимозависимости. В результате этого страны выходят на согласование нормативов производственной деятельности с точки зрения их экологической чистоты.

**Факторы, способствующие транснационализации
промышленного производства и учета возрастающих экологических требований к
чистоте производства**



- Унификация требований к производству в соответствии с международными стандартами качества (ISO -9001)
- Унификация технологических регламентов химического производства (GMP, REACH)
- Унификация требований по аудиту систем менеджмента качества продукции (ISO -19011)
- Унификация требований к экологическому менеджменту (ISO-14001)
- Добровольное участие предприятий в системе совместного экологического менеджмента и аудита для стран ЕС (EMAS)
- Унификация требований по подготовке для промышленного производства кадров трех уровней: бакалавров, магистров, специалистов (Bologna agreement) и т.д.

Наряду с этим проводятся регулярные саммиты по охране природы, создаются многочисленные межгосударственные соглашения по трансграничным перемещениям загрязнителей и перевозке опасных отходов, по сокращению выбросов определенных газов и т.д. Приняты международные конвенции в области обеспечения экологической безопасности и химического производства. (Конвенция о предотвращении крупных промышленных аварий – 1993 г., Конвенция по стойким органическим загрязнителям – 2001 г. и т.д.) И все эти меры, безусловно, способны обеспечить повышение уровня

эколого-технологической культуры в химической промышленности тех стран, которые отстали в этом отношении. Однако сам характер международного «технологического» разделения труда, складывающегося за последние десятилетия, должен настораживать, поскольку он обусловил негативные социо-эколого-экономические последствия, которые уже дестабилизировали развитие многих национальных экономик. Речь идет о странах Южной Америки, о странах на постсоциалистическом пространстве в Европе и Азии. В связи с этим растет движение антиглобализма, принимая все более массовые и агрессивные формы.

**Социо-эколого-экономические последствия глобализации,
осуществляемой на либеральной основе**

- Растущий разрыв между странами по уровню благосостояния, возможности получения образования, работы по профессии
- Появление «экологических колоний» - стран с моноотраслевой направленностью, обслуживающих своими природными ресурсами развитые страны
- Главенство наднациональных структур в регуляции инвестиций, как правило, направляемых с целью «экологической эксплуатации» в экономику стран, отставших в индустриальном развитии
- Преимущественное развитие «грязных» природоемких отраслей на территории «экологических колоний» и «чистых» наукоемких отраслей на территории развитых государств

Можно по-разному оценивать явление антиглобализма, но уже нельзя не изучать его причины, заложенные в теоретической концепции глобализации и приведшие во многих странах к развалу экономики,

росту безработицы, катастрофическому состоянию в сфере промышленности, образования, науки и т.д. Ведь именно так произошло с Россией, которая в 1990-х гг. встав на путь рыночных преобразований и

«открытой экономики», использует либеральную концепцию для реформирования своей экономики. Кстати сказать, от либеральной концепции экономики еще в 1950-х гг. отказались Япония и ФРГ, а в наши дни от нее отказываются одна за другой страны Южной Америки. Они увидели в ней реальную угрозу своей экономической и технологической независимости. Венесуэла, Боливия проводят национализацию месторождений и восстанавливают свою нефте-газо-перерабатывающую промышленность посредством целенаправленной государственной политики. Никарагуа также начинает проводить государственную социально-ориентированную политику, отказываясь от доктрины либеральной концепции.

Однако либеральные экономисты продолжают утверждать, что они предлагают миру тот рациональный подход, который способствует наиболее эффективному технологическому разделению труда для производителей промышленной продукции. Либералы также уверяют, что мировой рынок оптимизирует спрос и предложение на энергоресурсы в пользу наиболее рационального международного разделения труда и в сфере природопользования. На самом же деле под вывеской глобальной «рыночной демократии» происходит монополизация развитыми странами природно-ресурсной сферы планеты. Инвесторы из «развитых» стран не учитывают эколого-экономические интересы развивающихся государств, не заботятся о сбережении их естественных ресурсов. Международные финансовые организации не ориентируют их на инвестиции в будущие социальные активы – здоровье и образование своих граждан. Эти «недостатки» глобализирующейся экономики можно нейтрализовать на национальном уровне, если обеспечить «защитный» механизм государственного регулирования в сфере промышленного природопользования. Но в том то и дело, что, согласно либеральной концепции, социальными и экологическими издержками хозяйственной

деятельности можно пренебречь как «побочными эффектами» рынка, а государство ни в коем случае не должно регламентировать экономику.

Но, если судить по публикациям даже западных авторов, то все более значительная часть их пишет о «провалах рынка» и катастрофичности социо-эколого-экономических последствий глобализации для отдельных стран и всего мирового сообщества. Д. Стиглиц – лауреат нобелевской премии по экономике за 2002 год, в своей работе «Глобализация: тревожные тенденции» пишет о покаянии идеологов глобализации. (Насколько кающиеся искренни – это особый разговор). В книге приведены такие слова В.Г. Сороса: «Менее развитые страны ... сегодня втягиваются в широко-масштабные связи по весьма жестким правилам игры, установленным международными (западными) финансовыми организациями с начала 1980-х гг. «Слабакам» отводится роль поставщиков сырья и производителей низко-технологичных товаров. Так называемые structural adjustment programs с их стандартным набором условий (сокращение бюджетных, в основном социальных расходов, девальвация местной валюты, либерализация цен и внешней торговли и т.п.) преследуют две основные цели: стимулировать экспорт слаборазвитой страны для платежей по обслуживанию внешнего долга; расширить импорт товаров из развитых стран, предназначенный в основном для туземного обеспеченного меньшинства. Такой тип кооперации существенно осложняет возможности самостоятельного и эффективного развития периферии, загоняет ее в ловушку слаборазвитости, усиливает здесь социальные контрасты и экологическое неблагополучие» [8]. Повторяем, что нашу оценку искренности соболезнования в этих словах оставляем за рамкой статьи. Но ясно одно, что даже согласно мнению идеологов глобализации видно, что если страна не имеет экономической стратегии, учитывающей сложившийся характер глобализации, то ее экономика оказывается в периферийной

зоне этого процесса с нарастающими эколого-экономическими и социальными проблемами. Для такой страны становится неизбежной технологическая зависимость и узкоотраслевая (природно-ресурсная ориентация). Эта опасность угрожает всей нашей отечественной промышленности:

мы вывозим сырье, а не продукцию нашего интеллекта, как это делают «развитые» страны. По оценкам Мирового Банка Реконструкции и Развития эта ситуация вполне «естественна», что обосновывается следующим образом [9].

Таблица 4.
Структура национального богатства.

Страны	Доля природного капитала в национальном богатстве (%)	Доля произведенного капитала в национальном богатстве (%)	Доля человеческого капитала в национальном богатстве (%)
«Развитые страны»	10	20	70
Россия	88	10	22

Учитывая подобную оценку зарубежных экспертов, ситуация, складывающаяся в России с ростом экспорта энергоносителей при одновременном снижении объема наукоемкой продукции, выпускаемой отечественными нефтехимическими отраслями, не может не беспокоить. А это сокращение по отдельным отраслям составляет 40-90% и оно может стать признаком новой ниши российской химической промышленности в международном разделении труда.

2. Концепция экономической политики, позволяющая решить комплекс социо-эколого-экономических проблем химической индустрии в условиях глобализации экономики

Итак, за последние 15 лет структура производства в химической промышленности изменилась и, главным образом, за счет сокращения наукоемких отраслей глубокой переработки нефти и газа. Вступив на путь «открытой» экономики, в международном разделении труда Россия приняла на себя роль поставщика сырья и низкотехнологичных товаров. В результате резко снизился экономический эффект от использования нефти и газа, выросли экологические издержки и социальная напряженность в стране. Каковы же средства преодоления неблагоприятной социо-эколого-экономической ситуации в химической

индустрии? Эти средства должны носить прежде всего макроэкономический характер.

Чтобы направить инвестиционные ресурсы на формирование наукоемких отраслей химической промышленности, необходимо преодолеть экспортно-сырьевую моноструктуру российской экономики и восстановить системно связанный комплекс добывающей и перерабатывающей промышленности. Эта интеграция обоюдовыгодна. По экспертным оценкам она может многократно увеличить совокупную прибыль по сравнению с раздельным функционированием отраслей и предприятий [2]. Восстановление на уровне макроэкономики системной связанности этих отраслей позволит:

- сокращать квоты на экспорт минерального сырья в пользу отечественных заводов по его переработке,
- изменить политику экспортных пошлин в сторону понижения при вывозе наукоемкой продукции и повышения их при вывозе сырья,
- дифференцировать налоги на производство в зависимости от глубины переработки природного сырья (природоемкости и отходности).
- реинвестировать в химическую промышленность средства, получаемые от реализации природной ренты в сфере

газо-, нефтедобычи,

- диверсифицировать инвестиции, учитывая связи предприятий при добыче и такой последовательной переработке природного сырья, которая обеспечивает достижение троякой цели:

- экологической (малоотходность и ресурсосбережение),

- экономической (сокращение экологических издержек производства),

- социальной (снижение экогенных заболеваний, увеличение рабочих мест при сохранении разнообразия профессиональной структуры занятости и повышении квалификационного уровня населения, обслуживающего все более наукоемкие технологии и т.д.).

Такая макроэкономическая политика возможна, если системообразующим фактором в системе экономических институтов будут приняты экологизированные полномочия собственности на природные ресурсы.

За период реформ в России произошло разгосударствление отношений собственности на природные богатства и механизмов распределения финансовых ресурсов. В условиях складывающегося рынка, если поток инвестиций не институализирован, нельзя ожидать целенаправленного их использования. В данном случае эколого-ориентированного. Поэтому и представляется принципиально важным экологизировать полномочия пользования природными ресурсами, передаваемые субъектам хозяйствования, при том, что полномочия владения принадлежат обществу. В таком случае государство сможет определять «правила игры» на рынке природных ресурсов в интересах как ныне живущих, так и будущих поколений. Государство сможет экономически стимулировать и развитие наукоемких отраслей, используя право общества на присвоение природной ренты и ее использование [7].

Экологизация прав собственности с учетом экологических лимитов означает четкое определение допустимых границ и характера пользования природными ресурсами [10]. В частности, экологизация прав пользования природными ресурсами

должна предусматривать обязанности реинвестировать природную ренту в комплекс отраслей и подотраслей для глубокой переработки извлекаемого природного ресурса (для этого необходимо изменить и такой институт как налог в сфере недропользования, переходя на систему рентных платежей).

Вся система институциональных связей должна строиться с учетом регулирующей роли государства в социо-эколого-экономическом согласовании деятельности субъектов хозяйствования. В «развитых» странах государству в этом согласовании отводится существенная роль, и оно, опираясь на рыночные механизмы, добивается сокращения загрязнения среды, определяя структуру промышленных комплексов в различных регионах, при этом решая такие социальные проблемы, как занятость, образование, миграция рабочей силы. И надо сказать, что государственная политика, благодаря этому, внесла существенные коррективы во внутрикорпоративные и межкорпоративные соглашения на территориях «развитых» стран. Ни в одной «развитой» стране судьба науки, промышленности, образования не отдана на откуп рынку и иностранным инвесторам, не учитывающим интересы страны, принимающей их капиталы. Чтобы и в России в решающих сферах жизнеобеспечения восстановить регулируемую роль государства, оно, повторяем, должно сохранять достаточный «пучок прав» собственности на природные ресурсы. Но, чтобы при этом государство служило интересам не олигархов, а российского общества в целом, необходимо институализировать принцип «общего блага» (в настоящее время этическими, правовыми, экономическими средствами институализирован принцип «индивидуальной выгоды»). В условиях глобального экологического кризиса задача демократического государства (если таковым оно является) состоит в том, чтобы сгармонизировать интересы всех социальных слоев, ориентируя их на

достижение такого «общего блага», как жизнепригодность территории (в качестве справки: Китай отказался от принципа диктатуры пролетариата и объявил себя государством «гармоничного развития»).

Но тут встает следующее препятствие. Перечисленные институты (экологизированные правомочия собственности, государственное регулирование макроэкономических связей отраслей добывающей и перерабатывающей промышленности, рентные платежи, принцип «общего блага») методологически несовместимы с либеральной концепцией. Дело в том, что либералы в своих программах ориентируются на эгоизм homo economics, которого должна интересоваться лишь индивидуальная выгода и защита прав частной собственности. Эта методологическая основа либеральной экономики сформулирована еще в XVIII веке ее основателем Адамом Смитом. Так что для осуществления выше предложенных способов потребуется отказ от «либеральной» доктрины в пользу «институциональной» теории экономики. Это позволит отойти от редуccionизма либералов и вернуться к макроэкономическому подходу в регулировании структуры российской промышленности. Это также позволит вернуть этические основы мотивации пользования ресурсами во имя сохранения историко-культурной общности россиян. Только при таком условии станет возможно в России преодолеть статус экологической колонии и начать формирование диверсифицированной экономики с преобладанием наукоемкой части в химической промышленности.

Институциональная концепция позволяет обосновать

- доминанту экологического императива,
- право народа на сохранение историко-культурных ценностей и нравственных ориентиров хозяйственного природопользования,
- необходимость институционального укрепления национальной государственности и защиты границ

российского экономического пространства в целях формирования диверсифицированной экономики с преобладанием наукоемких производств в сфере перерабатывающей промышленности,

- введение экологизированных прав собственности как системообразующего элемента экономических отношений государства и субъектов хозяйствования,
- необходимость многокритериальной оценки политики инвестиций и введения в нее социо-эколого-экономической составляющей и т.д.

Насколько реален в России отказ от неолиберальной концепции в пользу институциональной теории экономики? Это вопрос не столько воли Правительства и законодательской деятельности Госдумы, сколько ценностного мышления россиян. И обеспечить дееспособность предложенных выше институтов можно лишь при готовности общества принять нравственные ориентиры, принципиально отличающиеся от «рыночных».

Ценностные установки в сфере природопользования, обеспечивающие реализацию институциональной теории экономики

- Отношение к природному богатству России как условию роста благосостояния всех слоев населения с учетом интересов как ныне живущих, так и будущих поколений.
- Признание приоритета таких «качественных» показателей экономического развития, не имеющих стоимостного измерения, как: здоровье российского населения, комфортность проживания в здоровой природной среде, рост экологической культуры, не допускающей агрессии по отношению к своему природному окружению и т.д.

К сожалению, приступая в 1990-х годах к реформированию российской экономики, наше общество не отдавало себе отчета в том, что существует ряд экономических школ, на которых сегодня может строиться экономическая политика правительств или партий. Эти школы принципиально различаются по определению целей развития экономики и

соответствующего им спектра нравственных устоев общества. Поскольку сегодня все чаще раздаются голоса о несовместимости рыночных идей с традициями отечественной культуры, российская экономическая мысль оказывается на распутье:

- следовать западной либеральной экономической мысли, основанной на индивидуализме и краткосрочных ориентациях при использовании природных ресурсов России, сохраняя экспортно-сырьевую ориентацию в экономике, или

- следовать традициям российской экономической мысли, основанной на социальной ответственности государства, делая ставку на развитие интеллектуального потенциала и, следовательно, на внедрение наукоемких

технологий во все отрасли производства. В таком случае для нас не будет альтернативы приоритетному финансированию наукоемкого сектора в химической индустрии и возвращения к государственному протекционизму этой сферы.

Перед выбором стоят не только экономисты-теоретики и экономисты-практики. Вся система экономического образования распята между двумя школами: либеральной и институциональной. Какая из этих школ победит? От этого зависит мотивация хозяйственного природопользования у будущих поколений специалистов и, следовательно, судьба химической промышленности: ее технологического прорыва и социо-эколого-экономически устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Российский статистический ежегодник. Федеральная служба государственной статистики. (Росстат). Официальное издание. – М. – 2004. – С. 378, 385-387.
2. Калинин, А. Экономические проблемы нефтеперерабатывающей промышленности / А. Калинин // Экономист. – 2006. – № 5. – С. 24-25.
3. Белая книга. Экономические реформы в России 1991-2001 г. / Автор-составитель С.Г. Кара-Мурза. – М.: Алгоритм-Книга, 2002. – С. 224-228.
4. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году: Государственный доклад. – М. : Министерство природных ресурсов РФ, 2005. – С. 152-155, 408.
5. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. – Киото, 1997. – Статья 12.
6. Виньков, А. Сесть за парту или уйти на пенсию / А. Виньков, В. Рязанов, Д. Сиваков // Эксперт. Русский бизнес. – 2006. – № 39. – С. 33.
7. Львов, Д.С. Миссия России / Д.С. Львов. – М.: Издательский центр ГОУВПО «ГУУ», 2006. – С. 65, 39-45.
8. Стиглиц, Д. Глобализация: тревожные тенденции / Д. Стиглиц. – М. : Мысль, 2003. – С.49.
9. На пороге 21 века. Доклад о мировом развитии 1999/2000 гг. – М. : Всемирный банк, 2000. – С. 135.
10. Сухорукова, С.М. Принципы природопользования /С.М. Сухорукова // Глобалистика. Энциклопедия. - М. - 2003. – С. 848-850.

ИССЛЕДОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ И ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА CO₂, SO₂, NO₂, NH₃

Хабарова Т.А., Румянцева В.Д., Маслов Л.П., Цой А.В., Хабарова Е.И.

Проведено исследование российского рынка газоанализаторов, предназначенных для мониторинга газообразных веществ, выбрасываемых в максимальных количествах предприятиями химической и нефтехимической промышленности в окружающую среду: CO₂, SO₂, NO₂ и NH₃.

Расширение масштабов производственной деятельности человека приводит к тому, что ее влияние на состояние окружающей среды становится определяющим [1]. Сокращением выбросов углекислого газа в атмосферу, с переработкой которого с трудом справляются все уменьшающиеся зеленые насаждения планеты, озабочено все мировое сообщество [2].

Значительный вклад в объемы производства выбросов загрязняющих веществ вносят предприятия основной

химии (181.1 тыс. т.), азотной промышленности (68.6 тыс. т.) и производства синтетического каучука (57.4 тыс. т.). При этом структура выбросов определяется содержанием СО – 33%, летучих органических соединений – 23%, SO₂ – 12%, NO₂ – 11%, твердых веществ – 10%, углеводородов – 5 % [3].

Данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями химического комплекса России за 2002-2004 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные показатели, характеризующие воздействие химической и нефтехимической промышленности на окружающую среду [3].

Показатель	Ед. изм.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Выброшено вредных веществ	тыс.т	428.0	403.3	407.0
в том числе: твердых веществ	тыс.с	43.0	37.0	39.7
жидких и газообразных веществ	тыс.т	385.0	366.3	367.9
из них: диоксид серы	тыс.т	59.2	54.0	48.9
оксид углерода	тыс.т	126.6	125.2	133.2
оксиды азота	тыс.т	44.0	44.2	43.1
углеводороды (без ЛОС)	тыс.т	38.0	24.7	21.6
ЛОС	тыс.т	89.7	92.6	92.6
Уловлено и обезврежено	%	92.0	92.7	92.2

В проекте экологической доктрины Российской Федерации (одобренном распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225 р) [4] констатируется необходимость совершенствования системы показателей, создания методологии и аппаратного обеспечения экологического мониторинга Российской Федерации, включая комплексную оценку состояния

окружающей среды.

В связи с этим многие ранее применявшиеся методы и приборы для газового анализа и контроля подверглись за последнее время существенным изменениям и усовершенствованиям. Был разработан целый ряд новых методов и установок для анализа и разделения газовых смесей. Широкое применение получили различные физические методы, позво-

ляющие автоматизировать газовый анализ.

Исходя из имеющейся информации было решено провести исследование российского рынка газоанализаторов, предназначенных в первую очередь для мониторинга CO₂, SO₂, NO₂ и NH₃.

При создании базы данных о предлагаемых российским потребителям

газоанализаторах за основу были взяты рекламные и выставочные, бумажные и электронные носители информации, а также каталог измерительных средств [5]. В итоге были проанализированы характеристики 149 приборов, представленных 37 фирмами из 8 стран мира (табл. 2).

Таблица 2.

Количественная характеристика газоанализаторов и представляющих их на российском рынке фирм-производителей и дистрибьютеров.

№№ п/п	Страны-производители	Кол-во на российском рынке	
		фирм	газоанализаторов
1.	Россия	21	103
2.	США	5	10
3.	Германия	4	14
4.	Великобритания	3	9
5.	Финляндия	1	6
6.	Швейцария	1	3
7.	Швеция	1	1
8.	Италия	1	3
	Итого:	37	149

Основная часть газоанализатора – сенсор, т.е. устройство, избирательно реагирующее на сигнал: изменение физического параметра (выделение тепла, флуоресценция, люминесценция, ионный ток, изменение поверхностного электрического потенциала, интенсивности окраски или цвета) или на конкретный химический объект путем

химической реакции, в результате чего сенсор можно использовать для качественного и количественного определения анализируемого вещества.

Преобразователь, также являющийся, помимо сенсора, неотъемлемой частью сенсорного блока, откликается на этот сигнал и преобразует величину сигнала в данные о количестве «аналита» [6].

Таблица 3.

Количественная характеристика газоанализаторов в соответствии с их техническими особенностями.

№№ п/п	Тип сенсора с учетом преобразователя	Кол-во газоанализаторов на основе конкретных сенсоров			
		общее	с учетом исполнения		
			переносные	стационарные	стационарно-переносные
1.	оптический	71	34	32	5
2.	электрохимический	63	48	13	2
3.	тепло-чувствительный (калориметрический)	10	5	3	2
4.	масс-чувствительный	5	1	4	0
	Итого:	149	88	52	9

Анализируемые газоанализаторы по типу преобразователя в сенсорном блоке и по конструктивному исполнению разделились следующим образом (табл. 3).

Преобладание на рынке оптических газоанализаторов обусловлено, по-видимому, достоинствами приборов этого типа: бесконтактностью, способностью к неразрушающему контролю, селективностью, высоким быстродействием, широким диапазоном измерения и др.

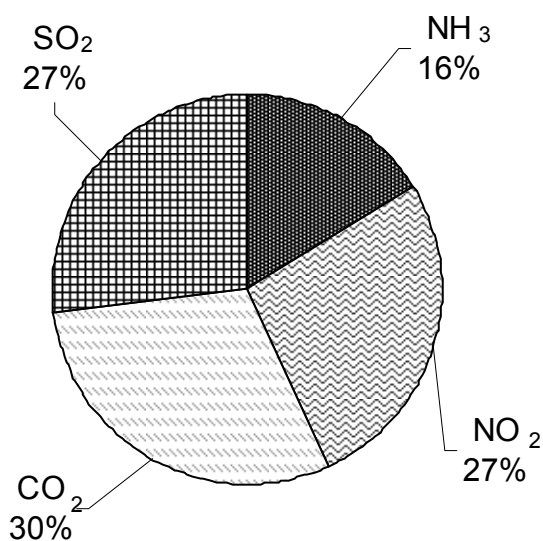


Рис.1. Соотношение газоанализаторов, базирующееся на селективности к CO₂, SO₂, NO₂ и NH₃.

Соотнесение количества газоанализаторов и их способности фиксировать присутствие вышеуказанных газов, с учетом того, что один газоанализатор может обладать селективностью по отношению к нескольким газообразным веществам, отражено в табл. 4.

Базирующиеся на этих цифрах возможности удовлетворения запросов потребителей по осуществлению соответствующих анализов представлены в виде круговой диаграммы (рис. 1).

Возможно, приоритет газоанализаторов, селективных к CO₂, сформировался исторически. Однако, также не исключено, что подобное лидерство обязано своим происхождением деятельности по реализации Киотского протокола и ожиданием предполагаемой прибыли.

Интернет-маркетинг Web-сайтов фирм изготовителей и дистрибьюторов газоанализаторов позволил представить распределение газоанализаторов по цене (рис. 2).

Обобщая полученные результаты можно сказать, что исходная база альтернативных вариантов приборного мониторинга основных загрязнителей атмосферы в России практически сформировалась.

К сожалению, степень их использования определяется не только совершенством сенсорных блоков и доступностью цен, но и наличием или отсутствием природоохранных мотиваций при принятии решений любого уровня.

К сожалению, степень их использования определяется не только совершенством сенсорных блоков и доступностью цен, но и наличием или отсутствием природоохранных мотиваций при принятии решений любого уровня.

Таблица 4.
Селективность газоанализаторов по отношению к CO₂, SO₂, NO₂ и NH₃.

№№ п/п	Анализируемый газ		Кол-во газоанализаторов, способных фиксировать газ
	формула	название	
1.	CO ₂	диоксид углерода	84
2.	SO ₂	диоксид серы	75
3.	NO ₂	диоксид азота	75
4.	NH ₃	аммиак	45

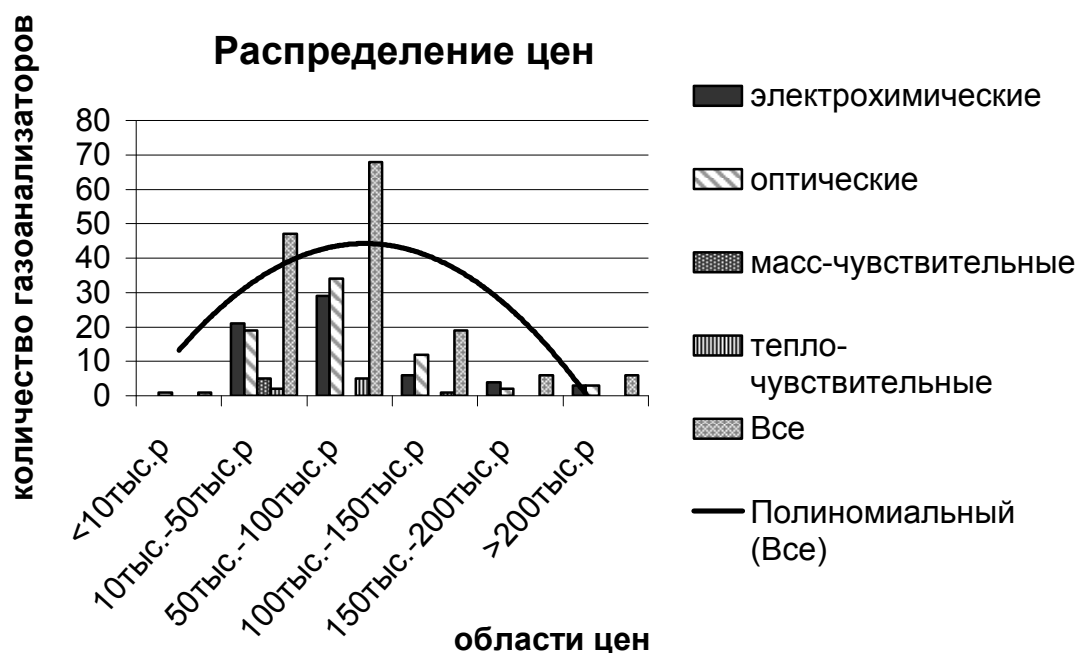


Рис. 2. Соотношение технических особенностей и цен газоанализаторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шмидхейни, С. Смена курса / С. Шмидхейни. – М.: Геликон, 1994. – 384 с.
2. Киотский протокол : политика и практика // Бизнес. – 2003. – Спец. выпуск. – 98 с.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2004 году. Государственный доклад. – М. : АНО «Центр международных проектов», 2005. – 494 с.
4. Экологическая доктрина Российской Федерации. Проект. – М.: ИПК «НИА – Природа», 2002. – 29 с.
5. Приборы и средства автоматизации. Том 5. Приборы для определения состава и свойств газа, жидкости, твердых и сыпучих веществ. – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2005. – 368 с.
6. Каттралл, Р.В. Химические сенсоры / Р.В. Каттралл. – М.: Научный мир, 2000. – 144 с.

**О Всероссийской конференции «Актуальные вопросы
подготовки и переподготовки кадров для предприятий
химической промышленности»**

26 - 27 февраля 2007 года в Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова состоялась Всероссийская конференция «Актуальные вопросы подготовки и переподготовки кадров для предприятий химической промышленности».

Организаторами конференции выступили: Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова, ОАО «СИБУР – Холдинг», ОАО Горно-металлургическая компания «Норильский никель», ГИПК МИТХТ им. М.В.Ломоносова, Ассоциация «РусХлор», Научно-исследовательский инженерный центр «Синтез», Учебно-научный центр «Синтез».

Конференция проводилась при поддержке Министерства промышленности и энергетики РФ, Федерального агентства по образованию, Российского союза промышленников и предпринимателей, Российского союза химиков, Ассоциации «Эластотехника – РТИ», Российского объединения переработчиков пластмасс, Союза руководителей учреждений и подразделений дополнительного профессионального образования и работодателей, Ассоциации консультантов по подбору персонала.

В конференции приняли участие свыше 100 чел. - представители государственных и общественных структур, руководители и менеджеры служб персонала, руководители и менеджеры служб по обучению и развитию персонала, руководители ВУЗов, институтов и центров переподготовки и повышения квалификации кадров, представители промышленных предприятий и рекрутинговых компаний из Москвы, Санкт-Петербурга, Омска, Красноярска, Нижнего Новгорода, Воронежа, Ярославля, Тольятти и др.

На конференции заслушаны 16 пленарных докладов и обсуждены следующие вопросы:

- специфика подготовки и переподготовки кадров для предприятий и организаций химической, нефтехимической промышленности, цветной металлургии;

- требования работодателей к выпускникам ВУЗов;
- формирование и разработка механизмов взаимодействия рынков химико-технологического образования и труда;
- структура программ высшего профессионального образования;
- развитие систем дополнительного профессионального образования;
- совершенствование многоуровневой системы высшего образования;
- развитие систем высшего профессионального образования в макроструктуре «образование - наука – производство»;
- взаимодействие кадровых служб компаний, кадровых агентств и ВУЗов.

Отмечена значительная потребность промышленных компаний в конструкторах и проектировщиках. В процессе делового общения заинтересованных сторон намечены основные направления формирования устойчивых прямых и обратных связей между рынком образовательных услуг и рынком труда.

Решено установить периодичность проведения конференции один раз в два года, расширить спектр обсуждаемых на конференции вопросов за счет привлечения организаций и предприятий цветной металлургии, биотехнологии, промышленности лекарственных средств и препаратов. Решено провести очередную Всероссийскую конференцию в МИТХТ им. М.В.Ломоносова в 2009 году под названием «Актуальные вопросы подготовки и переподготовки кадров для предприятий химической, нефтехимической промышленности, цветной металлургии, биотехнологии, промышленности лекарственных средств и препаратов».

Президент МИТХТ Тимофеев В.С.

ABSTRACT

- A.K. Frolkova, L.A. Serafimov. Fundamental problems of technology of complex multicomponent mixes division 3
Article is devoted to analysis of researches in the field of fundamental bases of technology of complex multicomponent mixes division for last 40 years
- M.K. Zaharov, V.V. Karasev. Analytical definition of parameters the drying agent for a real dryer. 15
The method suggested in the article makes it possible to calculate by analytics the parameters of the drying agent at the moment of its going out of the real dryer at the certain terminal (final) air temperature or humidity. The method concerned dives an opportunity to refuse from using I-x diagram
- V.M. Miasoedenkov, G.A. Nosov, M.N. Razina. Fractional smelting by the means of calorific pump. 18
Feasibility study of the fractional smelting continuum process by the means of a calorific pump with a closed cycle on the working substance is provided in this article. It is shown that the usage of the calorific pump allows decreasing significantly power inputs for realization of the studied process.
- V.I. Shvets, D.G. Pobedimskiy, G.I. Lapshenkov, D.I. Bairamashvili, A.K. Frolkova. New master's program «Technology of biopharmaceuticals». 26
Scientific and conceptual basis of the new Master's program "Technology of biopharmaceuticals" has been proposed.
The development is illustrated by the use of a general organizational approach, which provides training of scientific and technological brain-power in the field of technology of biopharmaceuticals. This approach consists in integration of the fundamental science represented by leading Russian academic and industrial centers of the medicinal and biological sphere and of the higher school.
- V.V. Beregovykh, V.A. Bykov, V.T. Ivanov, A.F. Mironov, T.V. Ovchinnikova, D.G. Pobedimskiy, I.D. Simonov-Emelyanov, V.A. Solomonov, A.K. Frolkova, V.I. Shvets. Russian innovation educational scientific complex for personnel development in the field of biotechnology. 34
On the basis of system approach using a multi-level structure of educational programs and directional innovation activity, ways of modernization of the traditional biotechnological education to knowledge-intensive level, formation of a modern educational system and a new integrated structure – Russian innovation complex for development and realization of unified educational scientific process of personnel development up to the world standard in the field of biotechnology – have been proposed
- A.A. Valishin, T.S. Stepanova. Application of the multivariate statistical analysis in investigation long-term durability of polymers. 1. The theory. 40
The multivariate regressive analysis is used for statistical processing of experimental data in long-term durability of polymers. The most important statistical models of temperature-temporary dependence of durability (model of Jurkov and model of Regel-Ratner) were formulated. Formulas for finding statistical estimations of regresses coefficients and of physical parameters of durability were received. The full statistical analysis of models was carried out. In theory the problem of distinction statistical model of Jurkov from model of Regel-Ratner was solved. Thus, the problem of displacement of pole in temperature-temporary dependence of durability was solved.

- A.A. Valishin, T.S. Stepanova..Application of the multivariate statistical analysis in investigation long-term durability of polymers. 2. Calculating experiment. 49
The method of construction of optimum regressive model of temperature-temporary dependence, basing on principles of multivariate regressive analyses was proposed. Calculating experiment, simulating real conditions of tests of durability was carried out and quasi-experimental data, which were exposed statistical processing by the use of proposed method, were received. Reality of effect of displacement of pole was proved and, thus, old controversy on the occasion of this effect was finished. After the example of polymers polyethylene and polymethylmetacrilat it was showed, that of temperature-temporary dependence of polyethylene is described by model of Jurkov and temperature-temporary dependence of polymethylmetacrilat - by model of Regel-Ratner with displacement of pole.
- E.M.Kartashov, I.A.Nagaeva. Thermal heating of dick with internal round neck 57
The thermal reaction of infinite disc with internal round neck was studied. The law of thermal elastic stresses with thermal heating was established on surface neck.
- A.P. Mikhailuts, G.Y. Mekush. Valuation of the risk and of the regional economic losses from the last ecological damage 61
The criterions and the activities for the estimation of the last ecological damage was offered based on the peculiar properties of the formed anthropological burden on the environment. The estimation of the risk from the last ecological damage of the basic industries of the Kemerovo region was realized, taking into consideration the offered approach. The economic estimation of the last ecological damage was carried out by example of the closed chemical industry enterprises.
- S.M.Sukhorukova, P.V. Sukhorukov, M.S.Brykina. Social-environmental-economic problems of chemical undustry of Russia within the process of globalization of world economy 70
The transition of Russia to "opened economy" contributed to the development of national economy mostly oriented on export of raw materials as well as to reduction of science consuming branches of chemical industry. In order to change such situation the concept of "institutional" economy is proposed. This concept will permit to restore the diversified complex of science consuming branches of Russian economy on the new system basis and simultaneously to solve the respective environmental, social and economic problems of chemical industry.
- Khabarova T.A., Rumyantseva V.D., Maslov L.P., Tsoy A.V., Khabarova E.I. Research of gas-analyzers assortment at russian market wich monitors CO₂, SO₂, NO₂, NH₃ gases presence in the environment. 83
Our research of russian market of gas-analyzers for monitoring gases which are polluting the environment by chemical and oil-chemical manufacturing companies, such as: CO₂, SO₂, NO₂ and NH₃.