

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)**



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры

Under the patronage of
UNESCO

Под патронатом
ЮНЕСКО

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
«ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ:
«ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ»,
ПРИУРОЧЕННЫЕ К 100-ЛЕТИЮ РГУ ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА»**

**Симпозиум проводится под эгидой всемирной федерации инженерных
организаций (WFEO)**

**при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных
исследований – проект № 19-08-20053/19**

МАТЕРИАЛЫ ПЛЕНАРНОЙ СЕССИИ

**МОСКВА
29 ОКТЯБРЯ – 1 НОЯБРЯ 2019 ГОДА**

УДК 66.02(06)

С 56

**ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ** [Текст]: материалы
пленарной сессии Международного научно-технического симпозиума «Вторые
международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени
А. Н. Косыгина» / М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2019. – 97 с.

ISBN 978-5-87055-816-5

В сборник включены программа пленарной сессии МНТС и статьи ведущих российских и зарубежных ученых – пленарных докладчиков, в которых приводятся результаты научных исследований энергоресурсоэффективных процессов и технологических систем, их конструктивного оформления, рассматриваются современные пути энергоресурсосбережения в технологических процессах и оборудовании различных отраслей промышленности и методы повышения энергоресурсоэффективности процессов, оборудования и производств, вопросы их экологической безопасности.

ISBN 978-5-87055-816-5

УДК 66.02(06)

© ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019

© Авторы статей, 2019

Международный научно-технический симпозиум
«Вторые международные Косыгинские чтения: «Энергоресурсоэффективные
экологически безопасные технологии и оборудование», приуроченные к
100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина»

**проводится в РГУ имени А.Н. Косыгина в рамках
Международного Косыгинского форума
29 октября -1 ноября 2019 года**

Организаторами Симпозиума являются:

- Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
- Российская академия наук
- Российский Союз научных и инженерных общественных объединений
- Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева
- Российская инженерная академия
- Евразийский информационно-аналитический консорциум
- Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
- Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН РФ
- Комитет РосСНИО по проблемам энергоресурсоэффективных химических технологий
- Комитет РосСНИО по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов
- Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
- Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
- Московский государственный университет пищевых производств

Рабочие языки СИМПОЗИУМА: русский и английский.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**ПРОГРАММНЫЙ (НАУЧНЫЙ) КОМИТЕТ
МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СИМПОЗИУМА
«ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ:
«ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ»,
ПРИУРОЧЕННЫЕ К 100-ЛЕТИЮ РГУ им. А. Н. КОСЫГИНА»**

Председатель комитета:

Президент Российского Союза научных и инженерных общественных объединений (РосСНИО), Президент Академии инженерных наук имени А. М. Прохорова, академик РАН **Гуляев Юрий Васильевич**

Сопредседатели комитета:

Ректор Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), профессор

Белгородский Валерий Савельевич;

Президент Российского химического общества имени Д.И. Менделеева
академик РАН **Цивадзе Аслан Юсупович;**

Президент Российской инженерной академии,
член-корреспондент РАН **Гусев Борис Владимирович;**
Заместитель Президента РАН, член Президиума РАН,
член-корреспондент РАН, **Иванов Владимир Викторович;**

Вице-президент РХО им. Д.И. Менделеева, профессор

Кулов Николай Николаевич;

Член правления РХО имени Д.И. Менделеева, директор Международного
института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики
академик РАН **Мешалкин Валерий Павлович.**

Учёный секретарь комитета:

профессор РГУ имени А.Н. Косыгина **Кошелева Мария Константиновна**
(тел. моб. 8 (926) 355 04 48, e-mail: oхtraxt@ya.ru).

**Информационное обеспечение Симпозиума на сайтах
<https://www.eeste.org>, <http://chemtech-committee.ru>**

ПРОГРАММНЫЙ (НАУЧНЫЙ) КОМИТЕТ:

Абиев Р.Ш. проф. (Россия), Акулич А.В. проф. (Беларусь), Акулич П.В. проф. (Беларусь), Бабкин В.В. проф. (Россия), Балыхин М.Г. проф. (Россия), Белгородский В.С. проф. (Россия), Блиничев В.Н. проф. (Россия), Бокова Е.С. проф. (Россия), Вошкин А.А. проф. (Россия), Гуляев Ю.В. акад. РАН (Россия), Гусев Б.В., чл.-корр. РАН (Россия), Дорняк О.Р. проф. (Россия), Друкаренко С.П. д-р (Россия), Иванов В.В. чл.-корр. РАН (Россия), Кильдеева Н.Р. проф. (Россия), Кобраков К.И. проф. (Россия), Кошелева М.К. проф. (Россия), Кулов Н.Н. проф. (Россия), Левицкий С.П. проф. (Израиль), Леонтьев Л.И. акад. РАН (Россия), Лесовик В.С. чл.-корр. РААСН (Россия), Лукачевский Б.П. д-р. (Россия), Мешалкин В.П. акад. РАН (Россия), Мизонов В.Е. проф. (Россия), Павлюкевич Н.В., чл.-корр. НАН Р. Беларусь (Беларусь), Рудобашта С.П. проф. (Россия), Тураев А.С. акад. Академии наук р. Узбекистан (Узбекистан), Федосов С.В. акад. РААСН (Россия), Хмелёв В.Н. проф. (Россия), Холькин А.И. акад. РАН (Россия), Цивадзе А.Ю. акад. РАН (Россия), Черепенин В.А. чл.-корр. РАН (Россия), Юртов Е.В. чл.-корр. РАН (Россия), Alves-Filho O. prof. (Norway), Berthiaux Henri prof. (France), Dang Vu Minh, prof. (Vietnam), David Fletcher, prof. (Australia), Ditl P. prof. (Czech Reb.), Dmitry Yu. Murzin, prof. (Finland), Faiçal Larachi, prof. (Canada), Gerhardt Ribatski, prof. (Brazil), Gong K.E., prof. (China), Jirout T. prof. (Czech Reb.), Jürgen Brandner, prof. (Germany), Kiwi-Minsker Lioubov, prof. (Switzerland), Thomas Kiefer, prof. (Germany), Krawczyk J. prof. (Poland), Mark Simmons, prof. (UK), Martin Woerner, prof. (Germany), Martine Poux, prof. (France), Martyn Poliakoff, prof. (UK), Mechtcherin Victor prof. (Germany), Mujumdar Arun S, prof. (Canada, Singapore), Rieger F. prof. (Czech Reb.), Ritunesh Kumar, prof. (India), Smechowski Krzysztof, prof. (Poland), Środulska-Krawczyk Małgorzata, prof. (Poland), Tapio Salmi, prof. (Finland), Volker Hessel, prof. (Netherlands).

РЕГЛАМЕНТ РАБОТЫ СИМПОЗИУМА

ПЕРВЫЙ ДЕНЬ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ ФОРУМА

Дата: 29.10.2019 г.

Время работы: 11.00-16.00. Регистрация с 9.00.

Кофе-пауза: 13.30-14.00

**АКТОВЫЙ ЗАЛ РГУ ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

ВТОРОЙ ДЕНЬ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ СИМПОЗИУМА

Дата: 30.10.2019 г.

Время работы: 10.00 -18.00. Регистрация с 9.00.

Кофе-пауза: 12.00-12.30

Перерыв на обед: 14.00-15.00

**Онлайн зал РГУ ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

**Товарищеский фуршет: с 18.00.
Оплата при регистрации (до 12.00 30.10.2019)**

ТРЕТИЙ ДЕНЬ

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ СИМПОЗИУМА

Дата: 31.10.2019

Время работы: 10.00-13.00. Регистрация с 9.00.

Перерыв на обед: 13.00-14.00.

**Онлайн зал РГУ ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

ТРЕТИЙ ДЕНЬ

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ

Дата 31.10.2019. Время работы: 17.00 - 19.00

**Онлайн зал РГУ имени А.Н. Косыгина
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

ТРЕТИЙ И ЧЕТВЁРТЫЙ ДНИ

ОБЪЕДИНЁННОЕ ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИЙ

Дата 31.10.2019.

Время работы: 14.00-17.00.

Дата 01.11.2019.

Время работы: 10.00-14.00. Регистрация с 9.00.

Кофе-пауза: 12.00-12.30.

**Онлайн зал РГУ имени А.Н. Косыгина
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

ЧЕТВЁРТЫЙ ДЕНЬ

ЗАКРЫТИЕ СИМПОЗИУМА

Дата 01.11.2019.

Время работы: 14.00-15.00

**Онлайн зал РГУ имени А.Н. Косыгина
(ул. Малая Калужская, д. 1, м. Шаболовская)**

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДОКЛАДОВ И ВЫСТУПЛЕНИЙ

Пленарных докладов – до 20 минут.

Секционных докладов – до 10 минут.

Выступлений – до 5 минут.

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКОВ ФОРУМА И МНТС



Белгородский В.С., д-р соц. наук, профессор
*Ректор Российского государственного университета
имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн.
Искусство),
г. Москва, Россия*



Иванов В.В., Член-корреспондент РАН
*Заместитель Президента РАН,
г. Москва, Россия*

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ (АКТОВЫЙ ЗАЛ, ОНЛАЙН ЗАЛ-ПРИВЕТСТВИЕ)



Гуляев Ю.В., академик РАН

Член Президиума РАН

*Президент Российского Союза научных и инженерных
общественных объединений (РосСНИО), Президент
Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова,
г. Москва, Россия*

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПО ОБЪЕМНОЙ МАТРИЦЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ 100 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (АКТОВЫЙ ЗАЛ)



Гусев Б.В., Член-корреспондент РАН

*Президент Российской инженерной академии
г. Москва, Россия*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ И ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (АКТОВЫЙ ЗАЛ)



Мешалкин В.П., академик РАН

Член правления РХО имени

Д.И. Менделеева, директор

*Международного института логистики
ресурсосбережения и технологической
инноватики (МИ-ЛРТИ)*

г. Москва, Россия

ПРОЦЕССЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Кулов Н.Н., д-р техн. наук, профессор
*Вице-президент РХО им. Д.И. Менделеева
г. Москва, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Блинничев В.Н., д-р техн. наук, профессор
*Член научного Совета РАН по теоретическим
основам химической технологии
Ивановский государственный химико-технологический
университет
г. Иваново, Россия*

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ТЕХНОСФЕРЫ: ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ, ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Федосов С.В., академик РААСН
*Советник ректората Ивановского государственного
политехнического университета
г. Иваново, Россия*

**MIXING OF SOLIDS: FROM SIMULATION TO
NEW DESIGN OF MIXERS**

**СМЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ: ОТ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К НОВЫМ
КОНСТРУКЦИЯМ СМЕСИТЕЛЕЙ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Мизонов В.Е., д-р техн. наук, профессор

*Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина
г. Иваново, Россия*



Henri Berthiaux

*Dr. Eng., professor
Centre RAPSODEE,
Ecole des Mines d'Albi-Carmaux
Albi, France*

Анри Бертьё, профессор

*Исследовательский центр RAPSODEE французской
инженерной школы в Альби
Альби, Франция*

**USING COMPUTER TECHNIQUES FOR FITTING SHOES WITHOUT
TRYING THEM ON**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ
ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРКИ ОБУВИ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Krzysztof Śmiechowski

*Dr hab. inż., prof. nadzw. UTH Rad.
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im.
Kazimierza Pułaskiego w Radomiu
Radom, Poland*

Кшиштоф Смаховски, профессор

*Технологический-гуманитарный университет в
Радоме
г. Радом, Польша*

**PROCESS INTENSIFICATION IN CHEMICAL ENGINEERING:
PULSATIONS, VORTICES AND FLOWS IN MICROCHANNELS
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКОЙ
ИНЖЕНЕРИИ: ПУЛЬСАЦИИ, ВИХРИ И ТЕЧЕНИЯ В
МИКРОКАНАЛАХ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Абиев Р.Ш., д-р техн. наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), СПбГИ (ТУ)
г. Санкт-Петербург, Россия*

**ЭНЕРГЕТИКА, ХИМИЗАЦИЯ И ГРАЖДАНСКОЕ ОБЩЕСТВО -
ВЫЗОВЫ НОВОГО ВРЕМЕНИ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Бабкин В.В., профессор

*Президент Международного
института проблем химизации
современной экономики
г. Москва, Россия*

**ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ В XXI ВЕКЕ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Кричевский Г.Е., д-р техн., профессор

*Нанотехнологическое общество России
г. Москва, Россия*

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Акулич П.В., д-р техн. наук, профессор

*Главный научный сотрудник
Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь*

ОГНЕ- И ТЕПЛОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Юртов Е.В., Член-корреспондент РАН
*Заведующий кафедрой Российского
химико-технологического университета имени
Д.И. Менделеева
г. Москва, Россия*

ACHIEVING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS BY COLLABORATIVE INNOVATION ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПУТЕМ СОВМЕСТНЫХ ИННОВАЦИЙ (АКТОВЫЙ ЗАЛ)



Gong Ke
*WFEO President Elect
China*

Гонг Ке
*Избранный Президент WFEO
Китай*

**К 90-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА РАН А. М. КУТЕПОВА
(ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Блиничев В.Н., д-р техн. наук, профессор
*Член научного Совета РАН по теоретическим
основам химической технологии
Ивановский государственный химико-технологический
университет
г. Иваново, Россия*

**ХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ КОНВЕРСИИ
ТРОТИЛА В СЫРЬЁ МИРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (АКТОВЫЙ ЗАЛ)**



Кобраков К.И., д-р хим. наук, профессор
*Российский государственный университет
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
г. Москва, Россия*

**MICRO- AND MILLIREACTORS – A PATHWAY TO PROCESS
INTENSIFICATION
МИКРО- И МИЛЛИРЕАКТОРЫ – ПУТЬ К ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССА (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Tapio Salmi, Professor
*Åbo Akademi University
Turku, Finland*

Тапио Салми, профессор
*Академия Або
г. Турку, Финляндия*

INDUSTRIAL SUPERIOR GREEN TECHNOLOGIES FOR CONVERTING WASTES TO VALUABLES

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ В ЦЕННЫЕ ПРОДУКТЫ (АКТОВЫЙ ЗАЛ)



Prof. Odilio Alves-Filho

*PhD Department of Energy and Process
Engineering Norwegian University of Science and
Technology
Trondheim, NORWAY*

Одилио Алвес-Фильо, профессор

*Норвежский университет науки и технологии
г. Тронхейм, Норвегия*

MICROBIAL RESOURCE AND WATER TREATMENT: LACCASE POTENTIALS IN MITIGATING EMERGING WATER CONCERNS.

МИКРОБНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДООЧИСТКА: СПОСОБНОСТЬ ЛАККАЗЫ СНИЖАТЬ ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ С ВОДОЙ (ОНЛАЙН ЗАЛ)



Uchechukwu U. Nwodo, Professor

*University of Fort Hare
Alice, South Africa*

Учечукву У. Нводо, профессор,

*Университет Форт-Хэр
Алис, Южно-Африканская Республика*

ENGINEERING EDUCATION AND SUSTAINABILITY

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ (АКТОВЫЙ ЗАЛ)



Dr. Thomas Kiefer

*Secretary General of the German Organization of Technical-
Scientific Associations (DVT) and International Affairs
Coordinator at VDI The Association of German Engineer
Germany*

Д-р Томас Кифер

*генеральный секретарь немецкой организации научно-
технических ассоциаций (DVT), координатор по
международным делам в VDI Ассоциации немецких
инженеров
Германия*

**FUTURE CHALLENGES OF THE ENGINEERING PROFESSION IN
THE LIGHT OF THE UN SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
БУДУЩИЕ ВЫЗОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ПРОФЕССИИ В СВЕТЕ
ЦЕЛЕЙ ООН В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
(АКТОВЫЙ ЗАЛ)**



Dirk Bochar
*Secretary General
European Federation of National Engineering
Associations "FEANI"
Brussels, Belgium*

Дирк Бошар
*Генеральный секретарь Европейской федерации
национальных инженерных ассоциаций
г. Брюссель, Бельгия*

**EMERGING CHALLENGES IN THE AQUATIC MILIEU:
INCREASING INCIDENCES OF ANTIBIOTIC RESISTANCE
DETERMINANTS AND THE NEED FOR ALTERNATIVES TO
HAZARDOUS CHEMICAL FLOCCULANTS
НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ВОДНОЙ СРЕДЕ:
УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛА УСТОЙЧИВЫХ К АНТИБИОТИКАМ
ДЕТЕРМИНАНТ И ПОТРЕБНОСТЬ В АЛЬТЕРНАТИВАХ ОПАСНЫМ
ХИМИЧЕСКИМ ФЛОКУЛЯНТАМ (ОНЛАЙН ЗАЛ)**



Anthony I. Okoh, Professor
*University of Fort Hare
Alice, South Africa*

Энтони И. Око, профессор
*Университет Форт-Хэр
Алис, Южно-Африканская Республика*

УДК 537.86

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ METHODS OF RADIO PHYSICS FOR MEDICAL DIAGNOSIS

Юрий Васильевич Гуляев
Yury V. Gulyaev

*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Россия, Москва
Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Russia, Moscow
(e-mail: gulyaev@cplire.ru)*

Аннотация. Радиофизические методы медицинской диагностики такие, как радиометрические измерения распределения радиояркой температуры объектов в различных диапазонах частот, магнитокардиография и магнитоэнцефалография, магниторезонансная томография в слабых статических магнитных полях, квазистатическая томография, являются неинвазивными и используют либо собственные электромагнитные поля человека, либо зондирование тела человека такими полями, которые не нарушают физиологические процессы в организме. В докладе анализируются эти методы как с физической точки зрения, так и с точки зрения развития их практического использования. Учитывая уровень научных результатов, полученных отечественными учеными в этих областях, авторы полагают, что эти методы могут быть отнесены к прорывным технологиям медицинской диагностики.

Abstract. Radiophysical methods for medical diagnostics, such as radiometric measurements of the radio-brightness temperature distribution for the objects in different frequency ranges, magnetocardiography and magnetoencephalography, magnetic resonance tomography in weak static magnetic fields, quasistatic tomography, are non-invasive and use either human natural electromagnetic fields or the sensing by such fields, which do not disturb the physiological processes in the human body. The report analyzes these methods both from a physical point of view and from the point of view of their practical application development. Taking into account the level of scientific results obtained by the Russian scientists in these areas, the authors believe that these methods could be considered as the breakthrough technologies for medical diagnosis.

Ключевые слова: радиофизические методы, медицинская диагностика, неинвазивные методы, электромагнитные поля человека, дистанционная электрокардиография, компьютерная магнитокардиография, магнитоэнцефалография

Keywords: radio physical methods, medical diagnosis, noninvasive methods, human electromagnetic fields, computer magnetocardiography, magnetoencephalography.

Под радиофизическими методами медицинской диагностики понимаются неинвазивные методы, использующие либо собственные электромагнитные поля человека, либо его зондирование такими полями, которые не нарушают физиологические процессы в организме. Их амплитуда может быть сопоставима с собственными полями человека или окружающей среды. Примерами таких методов являются радиометрические измерения распределения радиояркой температуры объектов в различных диапазонах частот, магнитокардиография и магнитоэнцефалография, магниторезонансная томография в слабых статических магнитных полях, квазистатическая томография. В докладе анализируются эти методы как с физической точки зрения, так и с точки зрения развития их практического использования. Учитывая уровень научных результатов, полученных отечественными учеными в этих областях, авторы полагают, что эти методы представляют пример таких технологий, которые могут быть отнесены к прорывным для нашей страны.

Приведем некоторую классификацию:

1. Измерение собственных электромагнитных полей человека.

- а) компьютерная электрокардиография, включая дистанционную электрокардиографию; биоадаптивные системы;
- б) кожно-гальваническая реакция: методы контроля состояния человека-оператора опасных профессий, регулирование глубины наркоза при хирургических операциях и т. д.
- в) компьютерная магнитокардиография;
- г) магнитоэнцефалография;

2. Дистанционное радиофизическое зондирование человека и его органов.

- а) тепловизионные методы — инфракрасная термография;
- б) радиовидение и радио-акусто-термометрия;
- в) оптические методы диагностики и оптическая компьютерная томография;
- г) акустические методы диагностики и акустическая компьютерная томография;
- д) электромагнитная квазистатическая компьютерная томография: электроимпедансная компьютерная томография, включая электроимпедансную маммографию, магнитоиндукционная компьютерная томография.
- е) магниторезонансная компьютерная томография в слабых магнитных полях.

Здесь выделены жирным шрифтом новые для медицины направления, где в России уже получены значимые результаты, либо где они безусловно интересны для дальнейшего быстрого приложения. Разумеется, это не означает, что они менее важны. Так, например, измерения кожно-гальванической реакции имеют важные применения и продолжают интенсивно развиваться.

Рассмотрим теперь часть этих направлений с точки зрения получения максимально значимых медицинских результатов, то есть, что может быть получено и какие проекты могут быть реализованы.

Разработка и внедрение современного диагностического программно-аппаратного комплекса на базе компьютерного многоспектрального термографа для проведения термографических обследований пациентов с целью ранней и экспресс диагностики заболеваний различной этиологии.

Цель работы: Разработка и создание современного диагностического программно-аппаратного комплекса на базе компьютерного многоспектрального термографа, который будет использоваться для нужд диагностических центров и больниц, медицины чрезвычайных ситуаций, врачей первого звена и т. д. для проведения тепловизионных обследований пациентов с целью ранней и экспресс диагностики заболеваний различной этиологии:

- воспалительные и вирусные заболевания (свиной грипп, атипичная пневмония и т.д.)
- определения степени поражения при различных ранениях, ожогах и травмах
- сосудистые и сердечно-сосудистые заболевания;
- онкологические заболевания;
- нарушение эндокринной системы и других систем организма.

Предполагаемые результаты: в ходе выполнения проекта будет разработан и создан не имеющий аналогов в мире диагностический программно-аппаратный комплекс, для термографических обследований получающий данные об объекте одновременно в трех спектральных диапазонах 3-5.5 мкм, 8-14 мкм, 0.4-1.5 мкм.

Практическая ценность: Создание и внедрение диагностического программно-аппаратного комплекса для термографических обследований работающего одновременно в трех спектральных диапазонах 3-5.5 мкм, 8-14 мкм, 0.4-1.5 мкм повысит точность диагностики и исключит влияния коэффициента излучения на проводимые температурные измерения, что особенно актуально при массовых скрининговых исследованиях, например в аэровокзальных комплексах или в случае анализа воздействия психофизических нагрузок на человека.

Использование динамических нагрузок - холодная проба, глюкозная нагрузка, воздействие лекарств и т. д. вызывают активизацию физиологических процессов в биообъектах. Фиксация этих процессов с высокой степенью точностью, достоверностью

данных от кадра к кадру и дальнейшей математической обработкой с использованием временных и многоспектральных зависимостей позволит обнаруживать патологии на ранних стадиях с более точной локализацией, пока они не трансформировались в необратимые изменения.

Комплекс будет создаваться, как мобильная система, которую можно будет использовать в стационарных или полевых условиях.

Компоновка системы позволит ее использовать в кабинете врача, у постели больного или в операционной, в полевом госпитале, при чрезвычайных ситуациях, в аэровокзальных комплексах, учреждениях системы образования и т. д.

Измерение внутренней температуры тела человека методом ближнеполевой трехмерной радиотермографии.

Цель работы: Разработка прибора для неинвазивного измерения трехмерного распределения внутренней температуры тела человека методом регистрации ближнеполевой составляющей теплового микроволнового теплового излучения с использованием эффекта его дифракции на боковом (параллельном поверхности тела) градиенте температуры.

Предполагаемые результаты: В результате выполнения проекта будет разработан и создан радиотермометр для неинвазивных измерений распределения температуры тела человека по глубине и в боковом (параллельном поверхности тела) направлениях в пределах толщины скин-слоя биологической ткани на частоте 1-10 ГГц и с разрешающей способностью 1- 2 см. Этот прибор может быть использован для определения нагретых областей в глубине организма с целью ранней диагностики в онкологии.

Практическая ценность: Создание неинвазивного радиотермометрического измерителя глубинной температуры повысит эффективность и надежность ранней диагностики раковых заболеваний.

Название темы проекта: Измерения глубинной температуры тела человека методом акустотермографии.

Цель работы: Разработка прибора для неинвазивного измерения глубинной температуры тела человека методом акустотермографии.

Предполагаемые результаты: в ходе выполнения проекта будет разработан и создан многоканальный акустотермометр, не имеющий аналогов в мире, для неинвазивных измерений глубинной температуры тела человека. Этот прибор может быть использован для контроля температуры при различных вариантах гипертермии и термоабляции, а также для определения нагретых областей в глубине организма с целью ранней диагностики в онкологии.

Использование многоканального приема позволит получать пространственные распределения глубинной температуры в режиме реального времени, что крайне важно для контроля нагрева тканей человека.

Практическая ценность: Создание многоканального неинвазивного акустотермометрического измерителя глубинной температуры повысит эффективность и безопасность медицинских процедур, связанных с изменением глубинной температуры тела человека.

Разработка инструментальных средств информационной инфраструктуры национальной сети электроимпедансной томографической диагностики

Электромагнитные свойства сред, а также характеристики пространственного распределения этих свойств, являются важнейшим источником информации, позволяющим судить о структуре, состоянии, функциях и других свойствах исследуемых объектов. Развитие в последние годы новых подходов к обработке информации, связанной с взаимодействием электромагнитных полей с электропроводящими средами, привело к появлению методов, обеспечивающих визуализацию структуры электропроводящих сред с помощью квазистатических полей. Такие методы получили название методов

квазистатической электромагнитной (изначально – электроимпедансной) томографии. Эти методы позволяют исследовать такие недоступные для традиционного радиозондирования среды как грунт, водная среда, биологические объекты и т. п.

Методы не инвазивной визуализации внутренних органов, тканей и физиологических процессов являются одной из основ современной медицинской диагностики. Особое место здесь занимают компьютерные томографические методы, позволяющие с помощью математических методов решения обратных задач реконструировать детальные двумерные или трехмерные распределения характеристик тканей внутри тела. Наибольшее развитие получили методы рентгеновской компьютерной и ЯМР томографии. До последнего времени не существовало томографических методов, обеспечивающих получение информации об электрических свойствах биообъектов, хотя известно, что электрический импеданс тканей весьма точно характеризует их состояние, что позволяет выявлять заболевания на более ранних стадиях, чем это возможно при использовании рентгеновских, ультразвуковых и ЯМР методов диагностики.

Электроимпедансная томография – метод получения изображений распределения электрического импеданса в сечении или объеме тела с помощью не инвазивных электрических измерений на его поверхности и последующего решения обратной задачи (алгоритма реконструкции). С начала 90-х годов исследования в области электроимпедансной томографии начали развиваться и в России. За короткое время здесь были достигнуты результаты, определяющие мировой уровень в этой области, как в создании измерительной аппаратуры, так и в разработке алгоритмов реконструкции изображений. Разработаны и прошли клиническое опробование электроимпедансные томографические системы для визуализации и диагностики легких, в том числе у новорожденных детей, для диагностики заболеваний молочной железы (как злокачественного, так и не онкологического характера). Готовится к первым клиническим испытаниям гинекологический импедансный томограф. Разрабатываются системы для диагностики щитовидной железы, простаты, экстренной диагностики и дифференциации инсультов головного мозга. Государственное финансирование существенно ускорит создание и крупносерийный промышленный выпуск соответствующей медицинской аппаратуры, что является целью первой части проекта.

Измерительная аппаратура для электроимпедансной томографии отличается компактностью, мобильностью и невысокой стоимостью. Ввиду простоты процедуры и отсутствия каких-либо вредных воздействия на пациента и персонал, обследование может проводить младший медицинский персонал или, в случае необходимости, даже проинструктированный неспециалист или сам пациент. Дальнейшая обработка, интерпретация и постановка диагноза, однако, требуют участия высококвалифицированного специалиста, прошедшего специальный курс обучения. В результате потенциальная возможность широкого распространения доступного и эффективного диагностического метода, в том числе в отдаленных и трудно доступных регионах страны, сдерживается отсутствием на местах необходимого штата подготовленных медицинских специалистов. Эту проблему призвана решить вторая часть проекта - создание информационной инфраструктуры, позволяющей обрабатывать результаты обследований в нескольких специализированных центрах квалифицированными специалистами с использованием оперативно совершенствуемого программного обеспечения, включая экспертные системы, и мощных вычислительных ресурсов. Объем данных, получаемых от измерительной аппаратуры в случае электроимпедансной томографии относительно невелик, и они могут передаваться по уже существующим каналам связи практически из любого населенного пункта страны. Таким образом, создание информационной инфраструктуры потребует, в основном, разработки программных и аппаратных средств информационно-диагностических центров.

Результатом выполнения проекта станет создание сети из томографических диагностических систем доступных населению в любом регионе страны, обеспечивающей при взаимодействии со специализированными информационно-диагностическими центрами широкомасштабное и регулярное обследование и выявление на ранних стадиях таких

социально значимых заболеваний как рак молочной железы, рак шейки матки, рак и туберкулез легких, неонкологических заболеваний этих органов, а в перспективе - заболеваний головного мозга, простаты, щитовидной железы и т.д.

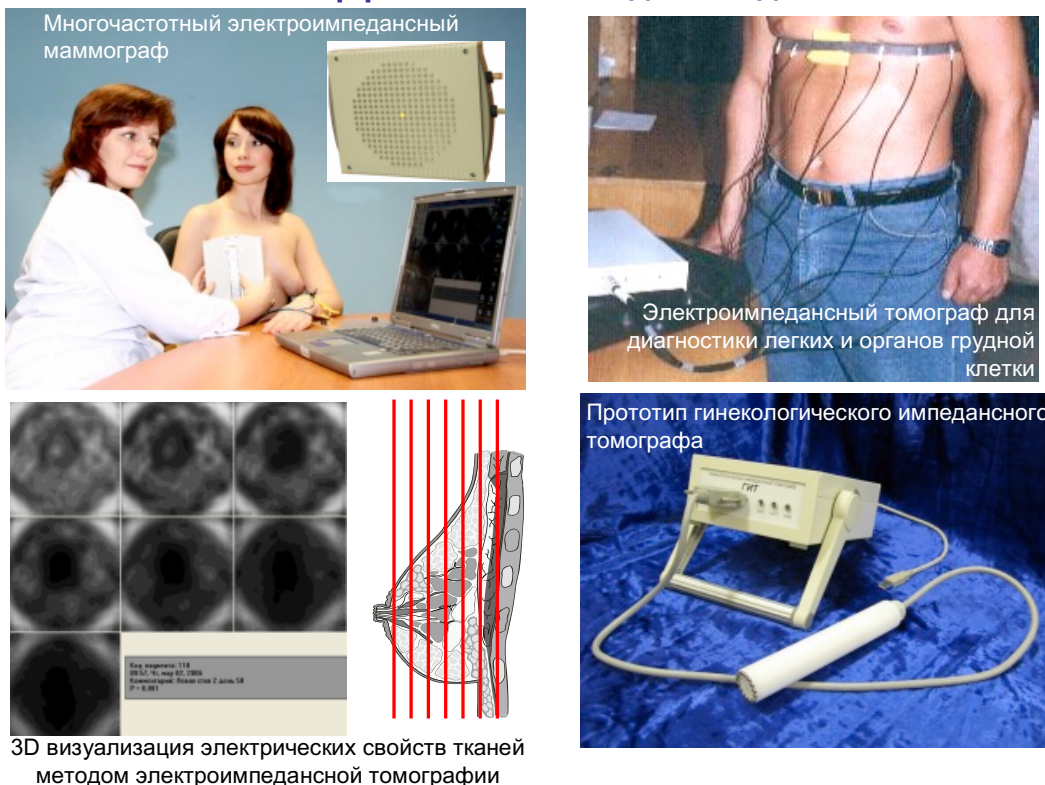


Рисунок 1 – Электроимпедансная томография – безопасный и эффективный метод обследования.

Магнитоиндукционная томография

Разработка полупромышленного образца магнитоиндукционного томографа для визуализации распределения проводимости тканей головного мозга человека.

Для визуализации электрофизических характеристик человеческих органов в настоящее время используется электроимпедансная томография. Однако, иногда её применение не эффективно, как, например, при визуализации проводимости человеческого мозга. Для таких случаев более пригоден метод магнитоиндукционной томографии, предложенный в России. В настоящее время созданы лабораторные варианты компьютерного магнитоиндукционного томографа, который продемонстрировал возможность визуализации проводимости мозга человека. Этот канал информации может быть полезен, например, для локализации больных тканей при эпилепсии.

Стоимость такого прибора порядка стоимости электроимпедансного томографа, то есть много меньше широко известных рентгеновских и МРТ систем.

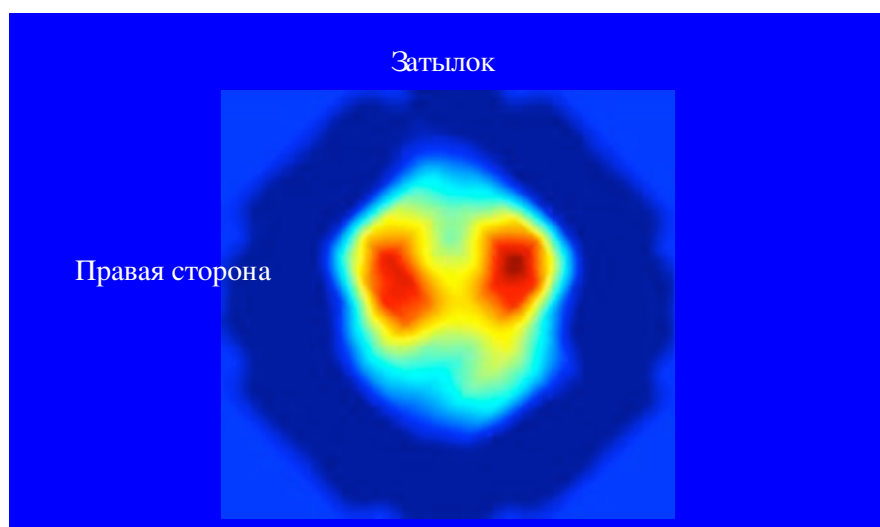


Рисунок 2 – Первая реконструкция распределения проводимости мозга человека с помощью магнитоиндукционной томографии.

Разработка и создание новых медицинских диагностических приборов на основе использования методов биомагнитных измерений.

Цель работы: Разработка и создание уникальных высокотехнологичных медицинских диагностических систем для исследования электрических процессов в различных органах человека на основе использования методов сверхвысокочувствительной магнитометрии.

Перспективные направления работ по заявленной теме проекта:

- а) магнитокардиография (МКГ);
- б) магнитоэнцефалография (МЭГ);
- с) магнито - резонансная томография в слабых магнитных полях (МРТ-СМП).

Мотивация для развития высоких биомедицинских технологий на основе методов МКГ, МЭГ, и МРТ-СМП:

Основным показанием для развития новых медицинских приборов и методик на основе методов МКГ и МЭГ является их чрезвычайно высокая чувствительность и специфичность (более 95%), что позволяет получить объективные оценки текущего состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем испытуемых и сделать прогностические оценки их реакции на различного рода внешние воздействия.

Магниторезонансная томография является общепризнанным инструментом в медицинской практике. К ее основным недостаткам можно отнести использование высокоинтенсивного магнитного поля (1,5-10 Тесла) для получения изображений внутренних органов человека, негативно сказывающегося на здоровье обследуемых. Разработка нового типа томографов, использующих магнитные поля, близкие по уровню к магнитному полю Земли, при сохранении качества изображений, позволит решить проблему безопасности МРТ для обследуемых пациентов.

Предполагаемые результаты: В результате выполнения проекта будут разработаны, созданы и испытаны в клинических условиях уникальные диагностические комплексы для традиционной и перинатальной магнитокардиографии, работающие без дополнительной магнитной экранировки, диагностические комплексы для функциональной визуализации головного мозга на основе совместного использования методов магнитоэнцефалографии и магнито-резонансной томографии мозга в слабом магнитном поле, разработаны методики и критерии установления точных медицинских диагнозов на основе анализа магнитных сигналов, генерируемых в сердце и мозге человека.

Практическая ценность: известно, что одной из самых болевых медико-демографических проблем социального развития современной России остается высокий уровень смертности населения. Внедрение в клиническую практику разрабатываемых

диагностических систем позволит существенно продвинуться в решении данной проблемы посредством использования современных высокотехнологичных инструментальных средств.

Разработка и создание высокоэффективных инструментальных средств ранней диагностики проводящей системы миокарда на основе метода компьютерной магнитокардиографии

Цель работы: Разработка и создание 48-канального магнитокардиографического кардиокомплекса для работы в клинических условиях без дополнительной магнитной экранировки и проведение его клинических испытаний с целью создания новых высокоэффективных медицинских технологий ранней кардиодиагностики проводящей системы миокарда на основе метода магнитокардиографии.

Разработка и внедрение систем эмбриональной магнитокардиографии (ЭМКГ).

Цель работы: Разработка и изготовление диагностического комплекса для проведения магнитокардиографии плода человека, и создание методик внутриутробного исследования сердечной активности человеческих эмбрионов.

По теме «Магнитоэнцефалография» предлагается следующий проект:

Разработка и создание многоканальной магнитоэнцефалографической установки для функциональной диагностики электромагнитной активности мозга человека.

Цель работы: Разработка и создание прототипа первого отечественного магнитоэнцефалографа основе сверхпроводниковых квантовых магнитометров с числом измерительных каналов более 100 для исследования и визуализации источников электрической активности головного мозга человека с целью ранней диагностики его заболеваний, выявления активности биохимических маркеров в коре головного мозга, исследования высшей нервной деятельности.

Разработка и создание магнитометрической установки для магнитно-резонансной томографии в слабых магнитных полях и одновременной функциональной диагностики электромагнитной активности сердца и мозга человека

Цель работы: Разработка и создание прототипа прибора на основе сверхпроводниковых квантовых магнитометров для визуализации анатомической структуры и источников электрической активности сердца и головного мозга человека с целью ранней диагностики их заболеваний, выявления активности биохимических маркеров в коре головного мозга, исследования высшей нервной деятельности.



Рисунок 3 – Действующий образец 7-канального диагностического МКГ-комплекса, установленный в ЦКБ РАН (поликлиника №3)



Рисунок 4 – Действующий макет установки магнитно-резонансной томографии в Los Alamos National Laboratory, США, имеющий компоненты, разработанные специалистами ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

Таким образом, в настоящее время нами разработан целый ряд приборов, основанных на новых физических принципах, для ранней медицинской диагностики и для мониторинга состояния пациента, что дает в руки врачей абсолютно новый инструментарий для борьбы с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, с онкологическими заболеваниями разной локализации и другими тяжелыми патологиями. Разработанные устройства и технологии несомненно могут быть отнесены к прорывным технологиям медицинской диагностики как в нашей стране, так и за рубежом. Создан хороший научный задел для разработки новых медицинских диагностических устройств, что отвечает основной цели Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года - развитию передовых технологий медицинской науки и внедрению на их основе инновационных продуктов, обеспечивающих сохранение и улучшение здоровья населения страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.В. Гуляев, А.В. Корженевский, С.А. Сапецкий, О.В. Троханова, Т.С. Туйкин, В.А. Черепенин "Электроимпедансный томограф", патент РФ на полезную модель № 109394, дата публикации 20.10.2011
2. А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, В.И. Николаев, О.В. Кащенко, С.О. Николаева, Е.Р. Павлюкова. Беспроводной мониторинг биологических сигналов сердечно-сосудистой системы пациента. Журнал радиоэлектроники, 2019, 6, DOI 10.30898/1684-1719.2019.6.13
3. V.A. Cherepenin, Y.V. Gulyaev, A.V. Korjenezsky, S.A. Sapetsky and T.S. Tuykin, "An electrical impedance tomography system for gynecological application GIT with a tiny electrode array", *Physiol. Meas.*, 2012, v. 33, pp 849-862
4. А.К. Бабушкин, А.С. Бугаев, А.В. Варганов, А.В. Корженевский, С.А. Сапецкий, Т.С. Туйкин, В.А. Черепенин. "Разработка методов и инструментов магнитоиндукционной томографии для изучения мозга и когнитивных функций человека", *Известия оссийской академии наук. Серия физическая*, 2011, т. 75, №1, с.144-148
5. E.E. Godik, Y.V. Gulyaev. *Functional Imaging of the Human Body*, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 1991, V 10 (4), pp.21-29

УДК 546-123

**НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПО ОБЪЕМНОЙ МАТРИЦЕ ХИМИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ 100
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**
**NEW REPRESENTATIONS ON THE VOLUME MATRIX OF CHEMICAL ELEMENTS
AND FORMULATION OF THE OPPORTUNITY OF EXISTING 100 ADDITIONAL NEW
ELEMENTS**

Борис Владимирович Гусев
Boris V. Gusev

*Российская инженерная академия, Россия, Москва,
Российский университет транспорта (МИИТ), Россия, Москва
The Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
Russian University of Transport (MIIT), Russia, Moscow
(e-mail: l.a.ivanov@mail.ru)*

Аннотация: Разработано представление по объемной матрице химических элементов, которое позволило устранить основные недостатки табличных форм структуры химических элементов, разработанных Д.И. Менделеевым и международным сообществом химиков ИЮПАК. Объемная структура представлена в виде расширяющей конусной матрицы. При этом все известные химические элементы до номера 118, объединены в четыре блока. Представление о блочности позволило обосновать электронно-уровневые формулы, в том числе для предполагаемых новых химических элементов 5-го блока E с номерами 119 по 218. Это позволяет разработать цифровую модель для расчета взаимодействий химических элементов и получение новых видов соединений и материалов.

Abstract: A representation on the volumetric matrix of chemical elements has been developed, which has eliminated the main disadvantages of tabular forms of the structure of chemical elements developed by D.I. Mendeleev and the international community of chemists IUPAC. The volumetric structure is presented as an expanding cone matrix. At the same time, all known chemical elements up to number 118 are combined into four blocks. The idea of blocking made it possible to justify electronic-level formulas, including for the proposed new chemical elements of the 5th block E with numbers 119 to 218. This allows us to develop a digital model for calculating the interactions of chemical elements and obtaining new types of compounds and materials.

Ключевые слова: химический элемент, табличные формы периодической структуры, объемная матрица, механизмы периодичности, орбитальные модели электронных оболочек атомов.

Keywords: chemical element, tabular forms of periodic structure, volume matrix, periodicity mechanisms, orbital models of electron shells of atoms.

В январе 2019 года Мировое сообщество отметило 150-летие величайшего открытия в области фундаментальных научных знаний - опубликования периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева и представляется актуальным высказать некоторые соображения, связанные с современными задачами научно-технического развития.

В конструктивном материаловедении, главной задачей которого является получение вещества с высокими эксплуатационными характеристиками и неизбежно приходится обращаться к научной основе естествознания - периодическому закону Д. И. Менделеева. Сам автор выдающегося закона неоднократно возвращался к вопросам его «незавершенности и практических неясностей», в том числе, к причинам закона кратных отношений, различия элементов и изменения их атомности и в то же время нужно понять, что такое масса и

тяготение» [1]. И, если первая часть задачи наукой о веществе практически решена, то понимание второй её части актуально до сих пор.

Важный перечень вопросов в плане совершенствования знаний о периодичности озвучил Лауреат Нобелевской премии академик Н.Н. Семёнов в постановочной лекции 1951 года перед студентами Физтеха: «Цель ясна - после устранения недостатков обнаружатся новые свойства и взаимосвязи элементов, что позволит проводить большинство научных исследований на новом, более высоком уровне и решать стоящие инженерные задачи не только вам - инженерам-физикам, а всем ученым, инженерам и практикам. Устранить эти очевидные недостатки пока никому в мире не удалось! А это необходимо для продвижения науки, технологий, техники и инженерии вперёд». Озвучены главные недостатки периодической таблицы:

1. Ряды (так называемые полупериоды) в обозначенных периодах имеют разную длину. При этом число свободных мест - клеток 37.

2. В первом ряду элементов всего два; к тому же водород не занимает постоянного места, а эти два элемента составляют целый период.

3. Лантаноиды и Actиноиды оказались за пределами таблицы.

4. Добавилась открытая впоследствии учеными группа инертных газов.

5. Введённая позже длиннопериодная таблица положение в целом не спасает, таблица продолжает оставаться асимметричной. Периодов 7, а рядов 10, то есть, полупериод и ряд - разные несовпадающие понятия [2].

К разрешению провозглашённой проблемы приложили усилия многие учёные и практики из разных стран мира, от известных химиков до настойчивых практиков. Из многочисленных безуспешных попыток усовершенствовать периодическую таблицу следует гениальность Д. И. Менделеева и чрезвычайная сложность поставленной академиком Н. Н. Семёновым задачи, актуальность которой никто не ставит под сомнение. Вместе с тем, наблюдаемое в мировой экономике всеобщее стремление к научно-техническому лидерству в освоении VI-го технологического уклада свидетельствует о том, что информационная модернизация системы химических элементов является предметом большой значимости [3].

В настоящей статье представлена объёмная матрица химических элементов, которая позволяет изучать большое многообразие физико-химических свойств уже известных и ещё не открытых элементов через построение энергетических моделей электронных оболочек собственно элементов и их соединений. Универсальность объёмной матрицы состоит в том, что помимо обязательного порядкового номера и строгой координатной привязки химических элементов (либо их кластерных образований) к группам, имеются широкие возможности структурного анализа физико-химических свойств новых элементов [3].

При изучении проблем периодичности в качестве идеи были сформулированы достаточно очевидные положения. Мир многомерен и, как правило, рассматривается в пространственных измерениях, а таблица - двухмерная. Далее была сформулирована более убедительная идея рассмотрения химических элементов с позиции их происхождения в качестве материалов Вселенной (атомы - это звездная материя). При образовании и развитии Вселенной, на первом этапе существовали только водород и гелий и они должны быть во главе таблицы или, что более образно, объёмной матрицы. Затем возникли легкие элементы и только звёзды с их высокими температурами и давлениями могли синтезировать тяжелые ядра. В качестве следующего предположения было принято, что создание элементов так же происходило по спирали, как развивается Вселенная [4].

На объёмно-каркасной матрице представлены номера химических элементов в виде непрерывного ряда натуральных чисел от 1 до 118 и далее, равномерно распределённых по спирали сверху вниз (рис.1). Порядковый номер элемента совпадает с величиной заряда ядра и таким же суммарным количеством энергетически уравнивающих электронов на орбиталях оболочек. Подход универсален как по отношению к короткопериодной таблице Д. И. Менделеева, так и длиннопериодной таблице ИЮПАК.

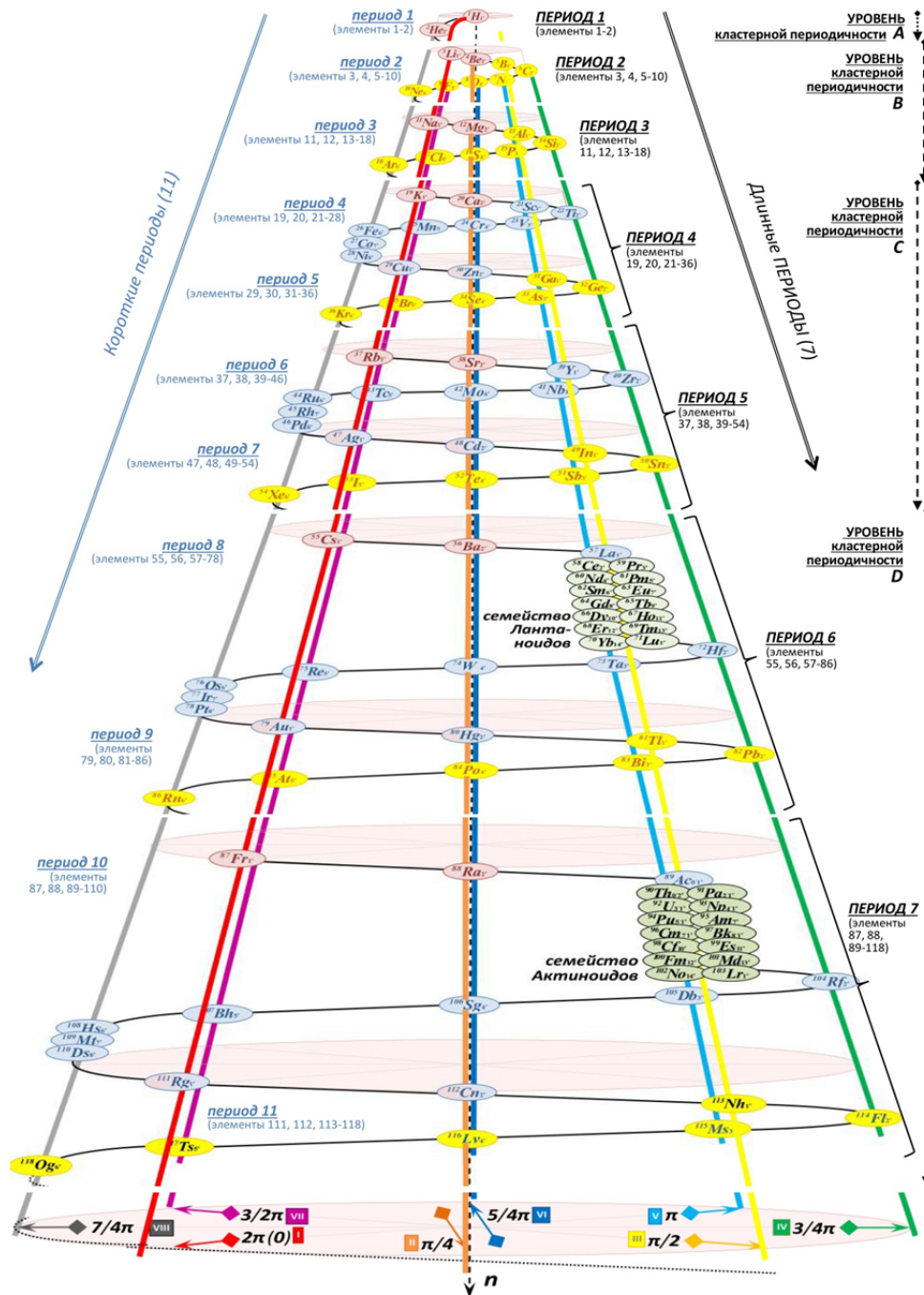


Рисунок 1 – Объемная периодическая матрица химических элементов.

3D-спирально пространственная расходящаяся система каркаса матрицы химических элементов имеет 4 блока периодичности [3]:

- в первом блоке **A** представлены первые элементы народившейся Вселенной водород и гелий;
- второй блок **B** образуют два одинаковых периода из восьми элементов от лития до аргона;
- в блоке **C** появились два дополнительных кластерных образования: железо, кобальт, никель и рутений, родий, палладий;
- в блоке **D** дополнительно включились семейства лантаноидов и актиноидов, а также два кластера: осмий, иридий, платина и хассий, мейтнерий, дармштадтий.

Пространственная форма объемной периодической матрицы позволила структурировать аномальные семейства III-й (лантаноиды и актиноиды) и VIII-й (металлоиды) групп третьего С и четвертого D уровней блочной периодичности, а уровневые формулы электронных оболочек облегчают формирование модели получения системных закономерностей периодичности, включая механизмы насыщения и межуровневого перехода валентности через распределение электронов по разным энергетическим уровням (орбитали, состояния) электронных оболочек орбиталей.

Физический метод по сравнению с формальным отличается тем обстоятельством, что он основан на соответствии энергетических взаимодействий физических полей и пространственно-временного положения электронов в оболочках химических элементов (табл.1).

Это положение может быть определено рядом констант [4]. Атомные массы для новых 100 элементов со 119 до 218 номера получены путем их прогнозирования по соотношениям масс протонов и нейтронов и представлены в статье, принятой к публикации.

Дальнейшие исследования по формированию структуры вещества в направлении оценки влияния всех видов взаимодействия: сильные и слабые электромагнитные и гравитационные поля будут характеризоваться фундаментальными физическими константами.

Таблица 1 – Экстраполяция Периодической таблицы Д. И. Менделеева (протонный заряд и масса ядра M_{P+N})

Блок	Период	Группы химических элементов								IX	X
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
D	6	Cs55	Ba56	175	179	181	184	186	190	192	195
		135	137	71Lu	72Hf	73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt
	197	200	79Au	80Hg	204	207	209	210	210	222	
	7	Fr87	Ra88	262	265	268	271	268	269	278	280
	217	220	103Lr	104Rf	105Db	106Sg	107Bh	108Xs	109Mt	110Ds	
	281	285	Nh113	Fl114	Mc115	Lv116	Ts117	Og118			
		111Rg	112Cn	286	290	288	293	294	294		

E 1,75	8	119 / 336	120 / 338	153 / 435	154 / 437	155 / 440	156 / 442	157 / 445	158 / 449	159 / 452	160 / 454
		161 / 457	162 / 460	163 / 463	164 / 465	165 / 468	166 / 473	167 / 475	168 / 478		
	169 / 483	170 / 487	203 / 582	204 / 585	205 / 586	206 / 590	207 / 593	208 / 600	209 / 578	210 / 581	
	211 / 605	212 / 608	213 / 609	214 / 614	215 / 616	216 / 619	217 / 622	218 / 625			

Условные обозначения:	Поле элемента	Орбиталь						Для блока E
		s-	p-	d-	f-	g-	h-	
	Количество электронов	1+2 max	1+6 max	0+10 max	0+14 max	1+18 max	1+22 max	1+26 max
								$m_p/m_n \approx 1,75$

Семейства элементов группы III ($g=18, f=14$), блок E (2x32 элемента)

121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
346	349	352	355	358	361	364	367	370	373	376	378	381	384	387	390	393	396
g^1	g^2	g^3	g^4	g^5	g^6	g^7	g^8	g^9	g^{10}	g^{11}	g^{12}	g^{13}	g^{14}	g^{15}	g^{16}	g^{17}	g^{18}

139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	период 8	$\Sigma=32$
399	402	404	407	410	413	415	418	421	424	427	430	433	436		
f^1	f^2	f^3	f^4	f^5	f^6	f^7	f^8	f^9	f^{10}	f^{11}	f^{12}	f^{13}	f^{14}		

171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188
490	493	496	499	502	505	508	510	513	516	519	522	525	528	531	533	536	539
g^1	g^2	g^3	g^4	g^5	g^6	g^7	g^8	g^9	g^{10}	g^{11}	g^{12}	g^{13}	g^{14}	g^{15}	g^{16}	g^{17}	g^{18}

189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	период 9	$\Sigma=32$
542	545	548	551	554	557	560	563	565	568	571	574	577	579		
f^1	f^2	f^3	f^4	f^5	f^6	f^7	f^8	f^9	f^{10}	f^{11}	f^{12}	f^{13}	f^{14}		

Основные выводы

1. Объемная Периодическая Матрица имеет вид расходящейся спирали и непрерывную последовательность в расположении элементов от водорода (1) и гелия (2) до оганесона (118) с включением в нее лантаноидов и актиноидов и возможностью включения изотопов или другой информации с сохранением расположения групп элементов относительно каркаса матрицы. Это обеспечит возможность цифрового описания новых структур в химии и материаловедении.

2. Сформулирована закономерность о наличии 4-х уровней блочной периодичности структуры в пространственной системе химических элементов, которое, очевидно соответствует периодам развития Вселенной. По отдельным блокам представлены дополнительные кластерные образования, а также семейства лантаноидов и актиноидов. Получены новые закономерности периодичности по количеству максимальных валентностей в блочной матричной структуре химических элементов от блока А до блока D.

3. Пространственная матрица химических элементов помимо информации о структуре (строении) электронных оболочек для известных 118 элементов четырех блоков А, В, С, D позволяет также получить электронно-орбитальные формулы для элементов (119-218) блока E периодической системы и последующих блоков.

4. Подсчитаны соотношения количества нейтронов и протонов в ядрах химических элементов и спрогнозирована оценка масс для 100 новых (предлагаемых) элементов в таблице Д. И. Менделеева (блок E).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менделеев Д.И. Основы химии. М.-Л.: Государственное научно-техническое изд-во химической литературы. В 2-х томах. 13-е издание. - 1947. Т. 1 - 624 с.; Т. 2 - с.708.

2. Гусев Б.В., Сперанский А.А. Объемная периодическая матрица химических элементов. Техника и технология силикатов. Том 25, №2.2018, с.34-38 .

3. Гусев Б.В., Сперанский А.А. и др. Матричное представление периодичности системы химических элементов. Русский инженер, №4, с.52 – 57.

4. Рис М. Всего 6 чисел: главные силы, формирующие Вселенную. /Мартин Рис, пер. с англ. / М., Альпина ион-фикшн, 2018, - с.226.

5. Гусев Б.В., Сперанский А.А. Закономерности блочного подхода для анализа структуры химических элементов и проблем материаловедения. Нанотехнологии в строительстве.- 2019. Том 11, №1. – с. 76-88.

УДК 66

**ПРОЦЕССЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
SEPARATION PROCESSES: PROBLEMS AND PROSPECTS****Николай Николаевич Кулов
Nikolai N. Kulov**

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН, Москва, Россия
Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
(e-mail: kulov@igic.ras.ru)*

Аннотация: Обсуждаются современные методы разделения смесей, их возможное развитие и ограничения.

Abstract: Modern methods of separation are discussed from the point of view their possible development and restrictions.

Ключевые слова: смеси, процессы разделения, развитие и ограничения методов.

Keywords: mixtures, separation processes, development and limitations of methods.

Специфику современного этапа развития химических производств и, соответственно, химической науки создаёт потребность в новых материалах, таких как коллоидные системы наномасштаба, жидкие кристаллы, содержащих супрамолекулярные ансамбли молекул, материалы для молекулярной электроники, служащие для производства, приёма и обработки информации. В последние годы наблюдается бурное развитие нанотехнологии, проникающей во все отрасли новой техники.

Ближайшие и отдалённые перспективы химической технологии несомненно связаны с развитием исследований в области химического и биологического синтеза, с изучением природы химической и биологической активности, углублением знаний в области гетерогенного и гомогенного катализа. Именно эти направления: биотехнология и катализ, а также процессы разделения смесей, которым посвящён настоящий доклад, постоянно упоминаются во множестве европейских прогнозов как ключевые технологии, необходимые для развития исследований и создания новых технологических процессов.

Почему процессы разделения попали в столь краткий список актуальнейших технологий? Известный историк химии Д.Н.Трифонов отмечает, что один из первых университетских курсов химии, изданный французом Лемери в 1675 г. и выдержавший 12 изданий, давал такое определение химии: «Химия есть искусство разделять различные вещества, содержащиеся в смешанном теле». В эти годы И.Ньютон был профессором Кембриджского университета (1669-1702 гг.), а до появления в 1755 г. Московского университета оставалось 80 лет.

С тех пор представления о химии сильно изменились, однако потребность в совершенствовании процессов разделения смесей и очистки веществ не уменьшились с годами, а, напротив, увеличиваются. В прошедшем XX веке при работе над крупнейшим научно-техническим проектом тех лет, – созданием атомной бомбы, – процессы разделения обеспечивали получение тяжёлой воды для строительства атомного реактора, обогащение урана изотопом ^{235}U , а также переработку облучённых материалов и получение Pu.

Поскольку очистка и подготовка исходных веществ, а также выделение из реакционной смеси целевых продуктов присущи в той или иной степени всем химико-технологическим процессам, потребность в процессах разделения имеет универсальный характер. Процессы разделения смесей являются ключевыми для обрабатывающих отраслей промышленности, нефтепереработки и нефтехимии, многих производств фармацевтической, пищевой, микробиологической промышленности, а также для микро- и нанoeлектронных технологических процессов.

Эффективность разделения смесей во многих случаях определяет уровень энергетических и материальных затрат для всего процесса в целом. От удачного решения узла разделения часто зависит экологическое совершенство процесса и его конкурентоспособность.

Разработано много способов экономного расходования энергии при разделении смесей в многоступенчатых колонных аппаратах [1-4]. Наибольшее внимание уделяется процессам ректификации, которые являются универсальным способом разделения и широко распространены в промышленности. Место ректификации в современной химической, нефтехимической, газовой и смежных отраслях промышленности отражает тот факт, что только в США сейчас работает около 40000 ректификационных колонн, на которые приходится около 7% общего годового энергопотребления страны [2].

Гибридные процессы.

Целесообразность последовательного проведения технологических операций в химической технологии, - «каждому процессу свой аппарат», - была впервые сформулирована и обоснована основоположником Московской школы процессов и аппаратов химической технологии И.А.Тищенко [5] в 1913 г., а начиная с 1920 г. утвердилось в англо-американской литературе под названием «концепция Unit Operations». Эта концепция стала руководящей идеей для всех организаций, проектирующих химическую аппаратуру.

Однако в последние десятилетия все чаще появляются процессы, не укладывающиеся в эту схему. Сейчас уже можно сказать, что интенсивно развивается сравнительно новый раздел технологии – гибридные процессы. Это разные по своей природе процессы, которые протекают в одном и том же аппарате, либо в разных аппаратах, но связанных между собой прямыми и обратными потоками вещества и энергии. Если гибридные процессы проходят одновременно в одном аппарате, то их называют **совмещенными**. С точки зрения практических приложений гибридные процессы в ряде случаев позволяют более полно использовать сырье, увеличить выход целевых продуктов, снизить энергетические и капитальные затраты. В области разделения смесей прогнозы говорят, что в ближайшие годы до 20% ректификационных и кристаллизационных процессов перейдут в разряд совмещенных, и в дальнейшем такая тенденция сохранится. В литературе с нарастающей частотой появляются сведения о новых процессах, в которых удается оптимальным образом объединить несколько процессов в одной энерго- ресурсосберегающей комбинированной схеме [6-10]. Главный принцип такой интеграции – объединение достоинств разных процессов при взаимной компенсации их недостатков.

Дистилляция и гибридные процессы.

Департамент энергетики США и Американский институт инженеров-химиков провели ряд рабочих совещаний с участием примерно 150 экспертов из промышленности и из университетов с целью определить приоритеты химической и смежных отраслей промышленности в области процессов разделения. Итогом этой работы стал документ «Американское инициативное видение 2020 года» (Vision 2020), выявившей ведущую роль процессов разделения в химической индустрии США к 2020 году.

Эта дискуссия выявила, в частности, наиболее важные аспекты развития процессов и аппаратов для разделения смесей. Отмечается [6], что в ближайшие 20 лет дистилляция останется ключевым процессом разделения как и сегодня, однако следует ожидать значительного увеличения гибридных процессов (каталитическая дистилляция, дистилляция с кристаллизацией, с разделением на мембранах и т.п.). Приоритетная роль гибридных процессов на основе дистилляции отмечается как в зарубежной [2], так и в отечественной [7, 8] литературе.

Каталитическая дистилляция.

Среди промышленных примеров гибридных процессов с участием дистилляции наибольший интерес представляют совмещенные реакционно-ректификационные процессы, называемые за рубежом каталитической дистилляцией.

Совершенствование методов анализа и синтеза оптимальных химико-технологических схем различных процессов привело к отчетливому пониманию того факта, что расчет и проектирование системы разделения следует проводить с учетом работы реакторного блока. Лучшие варианты технологических схем содержат внутреннее совмещение реактора и системы разделения [2, 4, 7, 11].

Наиболее ярким практическим примером применения каталитической дистилляции является пуск установки для получения метилацетата компанией «Истмэн Кемикал» в США. Применение совмещенного процесса вместо традиционного позволило заменить 8 дистилляционных колонн, жидкостной экстрактор, декантатор и связанные с ними теплообменники, насосы, емкости, контрольные системы одной колонной каталитической дистилляции. Колонна является фактически целым химическим заводом в одной установке, производящим 180 тыс. тонн высокочистого метилацетата в год. Этот процесс исключительно экономичен, требует только одну пятую часть капиталовложений и потребляет только одну пятую часть энергии, затрачиваемой в традиционном процессе.

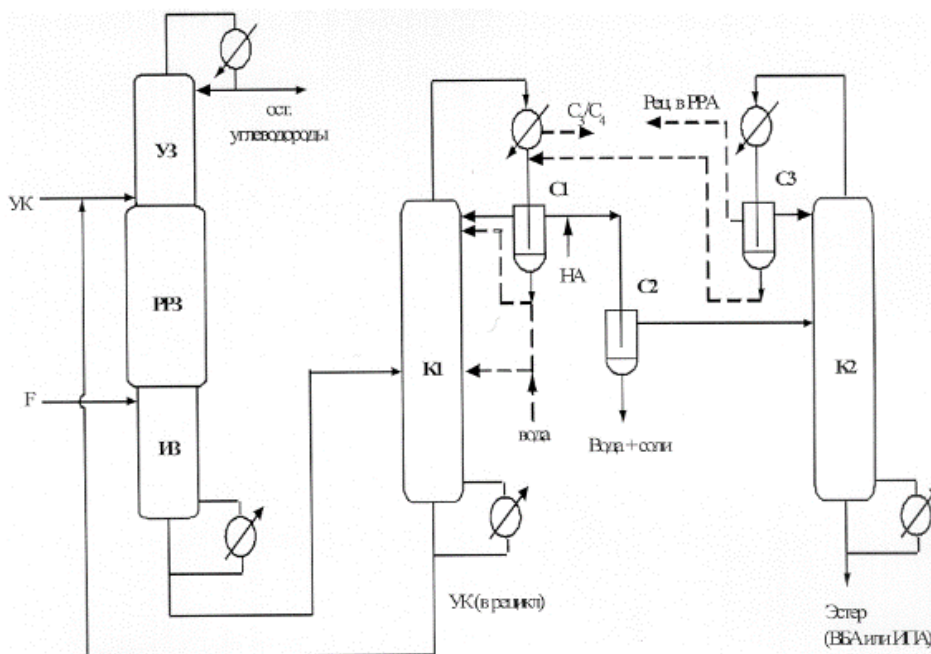
Преимущества каталитической дистилляции заключаются в том, что удается снять термодинамические ограничения (азеотропы), продукты непрерывно выводятся из зоны реакции, теплота реакции (при экзотермических реакциях) используется для разделения смеси. Благодаря этому достигается практически полная конверсия реагентов, увеличивается селективность и обеспечивается снижение энергопотребления в 1,5–2 раза.

Работы по каталитической дистилляции, поддержанные Министерством образования и науки РФ, проводились в ИОНХ РАН с участием МИТХТ им. М.В. Ломоносова и Ярославского государственного технического университета (ЯГТУ) с целью изучения физико-химических основ реакционно-ректификационных процессов и разработка на этой основе методов их расчета. Сложность физического моделирования каталитической дистилляции стимулировала разработку методов концептуального расчета, позволяющих среди большого числа возможных режимов отыскать режимы близкие к оптимальному и пригодные для дальнейшего изучения и последующей реализации.

В расчётах использовали термодинамико-топологический анализ статики реакционно-ректификационных процессов [7], который, в принципе, может служить основой концептуального расчета, однако он содержит ряд довольно жестких ограничений [11] и требует дальнейшего совершенствования. Для описания кинетики массообмена была предложена модель нестационарного процесса каталитической дистилляции в насадочной колонне с различной длиной реакционной зоны [12–14]. Эта модель позволяет также рассчитывать динамику выхода колонны на режим [13, 14]. Оказалось, что время выхода на режим для реакционно-ректификационного процесса много больше, чем для обычной ректификации.

В качестве практического приложения была разработана, экспериментально изучена и проверена на укрупненной опытной установке новая технология производства втор-бутилацетата (ВБА) из *n*-бутенов и бутан-бутеновых фракций и изопропилацетата (ИПА) из пропен-пропановой фракции НПЗ. Предложена оптимальная технологическая схема получения втор-бутилацетата, основанная на использовании совмещенного процесса каталитической дистилляции (рис.1). Эта схема содержит меньшее количество аппаратов, чем обычно используемая схема с прямоточными реакторами и позволяет достичь более полной конверсии (96–97%), чем в прямоточном реакторе (79–80%). Экономический расчет показал, что ожидаемая себестоимость втор-бутилацетата в два раза ниже себестоимости *n*-бутилацетата, используемого сейчас в лакокрасочной промышленности и промышленности кино-фотоматериалов.

Опытные образцы втор-бутилацетата, полученные в совмещенном процессе, успешно прошли испытания в смесевых растворителях для лакокрасочной промышленности, в частности, в составе широко распространенного растворителя Р-646.



Колонна каталитической дистилляции (ИБ - исчерпывающая ректификационная зона, RPZ - реакционно-ректификационная зона, УЗ - укрепляющая ректификационная зона), K1, K2 - ректификационные колонны, C1, C2 и C3 - сепараторы-отстойники, F - углеводородная смесь, УК -уксусная кислота, НА - нейтрализующий агент, ВБА – втор-бутилацетат, ИПА – изопропилацетат.

Рисунок 1 – Схема процесса получения сложных эфиров ВБА и ИПА на основе каталитической дистилляции.

Экстрактивная ректификация.

Процесс экстрактивной ректификации, - один из наиболее перспективных гибридных процессов на основе ректификации, - находит широкое применение в нефтепереработке и нефтехимии. В экстрактивной ректификации растворитель, не имеющийся в составе смеси, добавляется для того, чтобы повысить коэффициент летучести ключевых компонентов. Для того, чтобы давать надлежащий эффект, растворитель в жидкой фазе должен содержаться в достаточной концентрации на большинстве ступеней колонны. Этот растворитель должен быть существенно менее летуч, чем ключевые компоненты. Он подается в верхнюю часть колонны и должен выводиться внизу аппарата.

Основные преимущества экстрактивной ректификации состоят в следующем: (1) расход тепла для разделения компонентов относительно низок, так как растворитель не отбирается из верхней части колонны (не испаряется); (2) возможно применять значительное число различных растворителей, важно, чтобы разделяющий агент имел упругость пара гораздо более низкую, чем компоненты смеси.

Основная сложность при использовании экстрактивной ректификации заключается в том, чтобы отыскать подходящий разделяющий агент. В поисках новых эффективных разделяющих агентов проводятся исследования термодинамики растворов углеводородов и характеристик донорно-акцепторных свойств растворителей, поскольку селективность полярных растворителей по отношению к ароматическим и непредельным углеводородам обусловлена, в основном, образованием π -комплексов.

В последние годы активно исследуют ионные жидкости в качестве растворителей, однако высокая вязкость и низкая растворяющая способность изученных веществ не позволяют пока считать это направление перспективным.

В целом, выбор разделяющих агентов на основе теоретических предсказаний не сильно продвинулся с момента первых публикаций Бенедикта, Чильтона и ряда других пионеров в

области экстрактивной ректификации и, как правило подбор разделяющего агента осуществляют эмпирическим путём.

Разделение смесей с помощью экстрактивной ректификации всё чаще используется в современной нефтеперерабатывающей промышленности {2}. Одной из сложностей на этом пути являлось отсутствие надёжных методик расчёта кинетики экстрактивной ректификации. Характерной особенностью процесса является существенное увеличение расхода жидкой фазы за счёт потока разделяющего агента. Поскольку разделяющий агент не испарялся в значительном количестве, а расчёты колонн проводили на основе равновесной модели с использованием к.п.д. по Мерффри. Снижение к.п.д. в ряде работ относили за счёт влияния жидкой фазы.

В ИОНХ РАН были проведены исследования массообмена в насадочной колонне экстрактивной ректификации с целью моделирования процесса периодической экстрактивной ректификации [15, 16]. Получены новые данные по профилям концентраций в насадочной колонне в процессе экстрактивной ректификации смеси бензол-гептан в присутствии разделяющего агента N-метилпирролидона. Предложен метод расчёта процесса на базе коэффициентов массоотдачи в паре и в жидкости и проведено сопоставление полученных расчётных данных с результатами лабораторного эксперимента. Предложенный метод расчёта учитывает задержку жидкости на контактных устройствах, в кубе и в конденсаторе, скорости потоков фаз в аппарате и физико-химические свойства компонентов разделяемой смеси. Проведено сопоставление предложенной кинетической модели с равновесной и показано, что применение предложенного метода позволяет более точно рассчитывать процесс экстрактивной ректификации, как в периодическом режиме, так и в непрерывном.

Солевая ректификация.

Столкнувшись с трудностями в ряде случаев подбора эффективных жидких разделяющих агентов, а также принимая во внимание, что потоки добавляемого жидкого агента часто оказываются соизмеримыми с технологическими потоками в колонне, что приводит к увеличению диаметра колонны и повышению металлоёмкости конструкции, исследователи пришли к выводу о необходимости изучения возможности и условий использования твердых солей в качестве разделяющего агента. В некоторых случаях результаты оказались поразительными. Так появился метод экстрактивной ректификации с солевыми разделяющими агентами, получивший название солевой ректификации.

Влияние соли на равновесие жидкость-пар обусловлено сложными физико-химическими взаимодействиями между компонентами раствора. Качественная и количественная оценка взаимодействия компонентов – одна из задач теории растворов, в частности, теории всаливания и высаливания в широком смысле. Высаливанием называется явление увеличения, а всаливания – уменьшения химического потенциала (парциального давления) менее полярного компонента смешанного растворителя в результате действия прибавляемой соли.

Солевая ректификация нашла успешное применение при абсолютировании спирта с разделяющим агентом в виде хлорида кальция, при ректификации растворов уксусной кислоты, азотной кислоты низкой концентрации, водных растворов формальдегида и в ряде других процессов.

В ИОНХ РАН в рамках гранта РФФИ предпринято исследование с целью интенсификация разделения изотопов водорода и кислорода в условиях процесса ректификации природной воды. С целью увеличения эффективности однократного разделительного эффекта решено использовать экстрактивную ректификацию, а в качестве разделяющего агента растворы солей. Поскольку с увеличением температуры при солевой ректификации коэффициент разделения α снижается, процесс разделения изотопов проводят под вакуумом. В качестве разделяющего агента использовали водорастворимые соли. Оказалось, что наилучший результат был получен для карбамида, влияние которого привело к увеличению коэффициента разделения в системе дейтерий-протий, причём с ростом концентрации карбамида воздействие на величину коэффициента α увеличивалось линейно.

Кристаллизация как способ очистки и разделения смесей.

Рассмотрим теперь термодинамически близкий для ректификации процесс кристаллизации из расплава. В обоих случаях разделение достигается за счёт уравнивания составов контактирующих фаз: жидкости и пара в одном случае, кристалла и расплава в другом.

В последние годы, особенно для производства материалов с высокими технологическими показателями, требуется разделять смеси, молекулярная масса многих компонентов которых весьма велика. Это означает, что они могут быть разделены методом дистилляции лишь частично. Окончательная очистка должна производиться методом фракционной кристаллизации, которая теперь вступает в период большой активности [17, 18].

В условиях роста стоимости основных источников энергии и повышения требований к качеству продукции и экологической безопасности производства, кристаллизационные процессы разделения, очистки и концентрирования веществ, привлекают все большее внимание исследователей и инженеров. По сравнению с другими методами разделения, например, с ректификацией, кристаллизационные методы обладают некоторыми преимуществами: умеренными рабочими температурами, малыми энергетическими затратами (поскольку теплота кристаллизации, как правило, ниже теплоты испарения), потенциальной возможностью достижения высокой эффективности разделения. Кристаллизационное разделение и очистка обеспечивают сохранение наиболее ценных свойств фармацевтической, косметической, пищевой и другой термолабильной продукции, ассортимент которой постоянно расширяется.

Кристаллизацию можно определить как супрамолекулярный процесс, с помощью которого ансамбль беспорядочно расположенных в жидкости или газе молекул, ионов или атомов соединяется вместе так, чтобы сформировать упорядоченную трехмерную структуру кристалла.

Возможность кристаллизации возникает благодаря воспроизводимости процесса сборки упорядоченного ансамбля частиц и зависит от природы кристаллов. Поскольку составляющие кристалл атомы, ионы или молекулы расположены регулярно в бесконечной структуре кристаллической решетки, поверхности кристалла в высшей степени обладают способностью распознавания, определяющей ход спонтанной самоорганизации и самосборки. В общем случае, они позволяют присоединяться к кристаллической решетке только подобным по молекулярным масштабам агрегатам, обеспечивающим рост кристалла. Как результат, кристаллы обладают высокой разделяющей способностью.

Такой взгляд на давно известный процесс нельзя назвать традиционным. Действительно, пристальное внимание к природе разделения на молекулярном и супрамолекулярном уровне обязано своим появлением современным материалам. Исследования в области кристаллизации в середине 1980-х оказались под значительным влиянием науки о материалах. Это было вызвано технологической потребностью в функциональных материалах, таких, как сенсоры, сверхпроводники, среды с нелинейной оптикой, магнитные накопители, различные керамики. С позиций этих приложений процессы зарождения кристаллов и объединения молекул в прецизионные кристаллические решетки представляют идеальный пример молекулярной самоорганизации. Оказалось, что именно умелое манипулирование межмолекулярными силами является основной проблемой, которую следует решить, чтобы достичь нового уровня молекулярного контроля процессов кристаллизации в целом.

По новому сценарию кристаллизацию по-прежнему продолжают использовать как основу многих традиционных многотоннажных производств. В то же время, при разработке и проектировании ряда специальных производств возросшее внимание уделяется контролю молекулярных процессов, чтобы получить, например, специфическое распределение по размерам или морфологию кристаллов, повышенную чистоту при кристаллизации из сложных реагирующих сред для удовлетворения нужд рынка, на котором начинают

доминировать инновационные технологии создания многокомпонентных продуктов. Таким образом, супрамолекулярный подход влияет на развитие технологии кристаллизации, в том числе и как процесса разделения, и определяет два облика современной кристаллизации на макро и нано уровнях.

В последние годы на кристаллизацию, как технологию разделения, все чаще накладываются требования контроля не только пересыщения, но и влияния межмолекулярных сил. В этой связи, среди инженеров-химиков растет понимание важности учета соответствующего баланса сил при разработке эффективных процессов. Можно выделить две основные области исследований и разработок, наиболее востребованные в настоящее время при проектировании процессов разделения: 1) исследование механизма и кинетики процессов разделения, способов их интенсификации и 2) разработка новых способов разделения, в том числе гибридных энерго - ресурсосберегающих разделительных комплексов. В докладе основное внимание уделено главным образом гибридным процессам.

Обычно различают два основных типа кристаллизационных систем – эвтектические смеси и твердые растворы. В эвтектических смесях способность поверхности кристалла отторгать не распознанные молекулы исключительно высока. В случае разделения или очистки эвтектических систем теоретически достаточно всего одной стадии кристаллизации для получения чистого компонента. Очистка твердых растворов значительно труднее, так как они не обладают разделяющей способностью на молекулярном уровне, разделение в них осуществляется по диффузионному механизму и требует, как правило, большого числа ступеней разделения. По счастью, только около 10 % органических систем образуют твердые растворы.

Наиболее эффективно кристаллизацию можно использовать для выделения основного вещества из смесей эвтектического типа, примесные компоненты которых практически не образуют с ним твердых растворов. Образование эвтектик характерно для большинства органических соединений (в том числе изомеров), а также для воды (в виде льда) с растворенными в ней веществами. Поэтому основные сферы промышленного применения фракционной кристаллизации из расплава – очистка органических веществ и концентрирование растворов вымораживанием.

Совмещенный процесс кристаллизации и дистилляции.

В ИОНХ РАН были разработаны физико-химические основы совмещенных процессов, объединяющих кристаллизацию из расплава с дистилляцией (дистилляционная кристаллизация) и плавление кристаллов с дистилляцией (дистилляционное плавление) в одном аппарате и методы расчета кинетики этих процессов [18-20].

Дистилляционное плавление и дистилляционная кристаллизация основаны на одних и тех же принципах и используются для разделения смесей или очистки веществ, которые находятся в твердом или жидком состоянии, соответственно. Эти процессы проводятся в области трехфазного равновесия твердое тело – жидкость – пар, что позволяет объединять плавление или кристаллизацию с вакуумной дистилляцией в одном аппарате. Цель совмещения кристаллизации с дистилляцией под вакуумом заключается в том, чтобы объединить высокую селективность процессов с фазовыми переходами кристалл-расплав с легким разделением фаз, характерным для систем жидкость-пар. Дистилляция в этом симбиозе используется главным образом для отделения маточного расплава от кристаллов. Интенсивное испарение жидкой фазы из системы твердое тело – жидкость с целью получения чистого кристаллического продукта происходит при давлениях, меньших давления в тройной точке основного компонента.

На рисунке 2 показана фазовая диаграмма системы бензол – трет-бутанол, компоненты которой растворимы в жидкой и нерастворимы в твердой фазах. При давлении 1 атм. в системе образуется азеотроп с концентрацией трет-бутанола 37 масс. %. При давлении 20 мм рт. ст., что ниже давлений в тройных точках обоих компонентов (36 и 42 мм рт. ст. соответственно), на фазовой диаграмме появляются две линии трехфазного равновесия при различных температурах T_{te} .

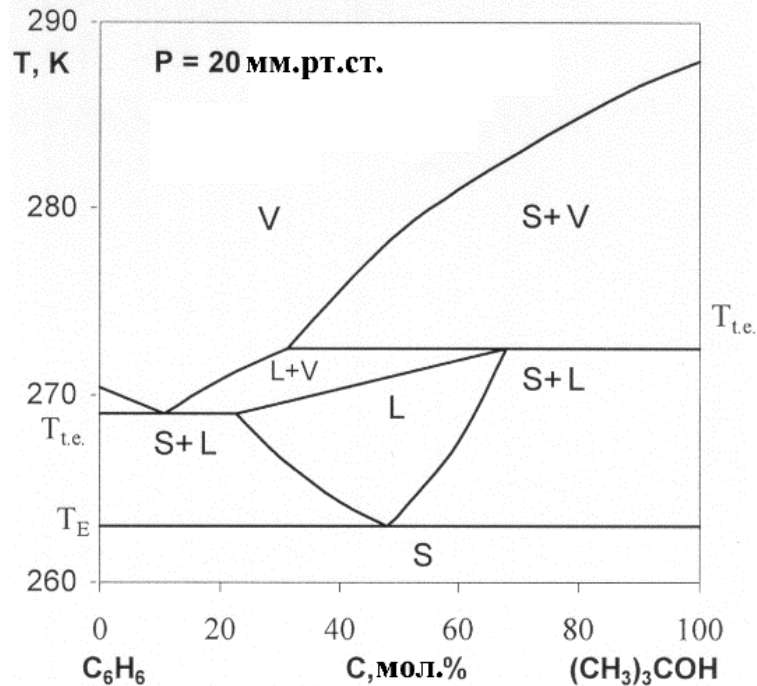
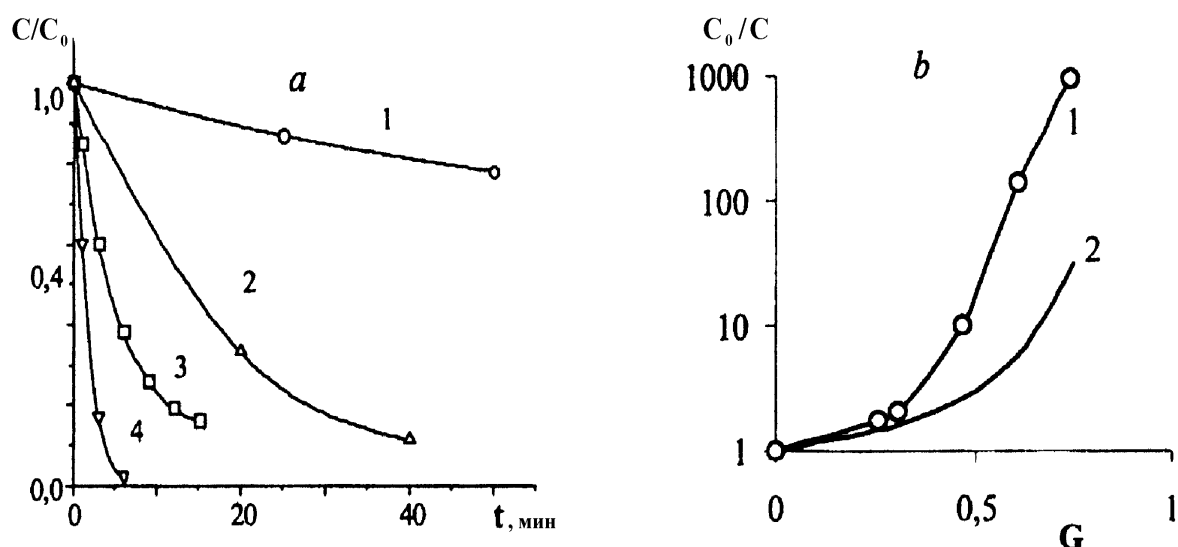


Рисунок 2 – Фазовая диаграмма системы бензол – трет-бутанол в области трехфазного равновесия твердое (S) – жидкость (L) – пар (V).

При дистилляционной кристаллизации температура трехфазного равновесия достигается в результате испарительного или принудительного охлаждения расплава. При дистилляционном плавлении – за счет нагрева смеси кристаллов. Большинство органических соединений фактически не образует твердых растворов друг с другом. Поэтому при температуре трехфазного равновесия, которая выше эвтектической температуры T_E , исходная смесь состоит из почти чистых кристаллов основного компонента и равновесной жидкой фазы с повышенным содержанием примеси в расплаве основного компонента. Под вакуумом маточная жидкость испаряется, а пар удаляется в конденсатор.

В качестве примера на рисунке 3а показаны результаты опытов по очистке нафталина от примесей дифенила и п-дихлорбензола в совмещенном процессе дистилляционного плавления. Нетрудно убедиться, что удаление примесей из пор сплошного поликристаллического слоя, выросшего на охлаждаемой стенке из расплава, происходит медленнее всего. Очистка слоя гранул идет быстрее. Еще быстрее удаляются примеси из слоя порошкообразных мелких кристалликов, особенно при перемешивании. При скорости вращения мешалки в порошкообразном материале 100 об/мин., пяти минут достаточно для завершения очистки. Рис.3б иллюстрирует эффективность разделения бинарной смеси дифенил-нафталин эвтектического состава. Сразу же бросается в глаза, что эффективность совмещенного процесса существенно превосходит дистилляцию. Изучение дистилляционного плавления и кристаллизации для большого количества систем показало, что этот совмещенный процесс энергетически более выгоден и значительно более эффективен, чем простая дистилляция, сублимация и обычное фракционное плавление.



(a): удаление примесей дифенила (кривые 1, 2) и п-дихлорбензола (кривые 3, 4) из слоев нафталина толщиной $h = 10 - 12$ мм: 1 - непрерывный поликристаллический слой; 2 - гранулы 4×4 мм, размещенные в 3 слоя; 3, 4 - слой порошка без перемешивания (кривая 3) и с перемешиванием (кривая 4); (b): разделение смеси дифенил-нафталин эвтектического состава $C_0 = 40$ вес.% нафталина: 1 - эксперимент; 2 - расчет для простой дистилляции (коэффициент относительной текучести $\alpha_D = 5.5$).

Рисунок 3 – Эффективность очистки бинарных смесей (C_0 и C - начальная и текущая концентрация примесей при дистилляционном плавлении) как функция времени t и величины испаряемой доли смеси G .

Кристаллизационные процессы, совмещенные с дистилляцией, перапарацией, химической реакцией привлекают все большее внимание исследователей. В настоящее время в различных исследовательских группах накоплен достаточно большой экспериментальный материал. Этот материал дает основание надеяться, что гибридные процессы на основе кристаллизации станут в ближайшее время еще одним, после каталитической дистилляции, примером успешного промышленного использования гибридных процессов в широких масштабах.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00475).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. King C.J. Separation Processes. New York, McGraw-Hill, 1980.
2. Stichlmair J.G., Fair J.R. Distillation: principles and practice. New York, Willey-VCH, 1998.
3. Seader J.D., Henley E.J. Separation process principles. New York, John Wiley&Sons, 1998.
4. Doherty M.F., Maljne M.F. Conceptual Design of Distillation Systems. New York, McGraw-Hill, 2001.
5. Тищенко И.А. Основные процессы и аппараты химической технологии. Вып. 1. М.: Типо-Литография И.Х.Кавыкина, 1913.
6. Spiegel L., Meier W. Trans IChemE, 2003, Vol 81, Part A, p. 39.
7. Серафимов Л.А., Тимофеев В.С., Писаренко Ю.А., Солохин А.В. Технология основного органического синтеза. Совмещенные процессы. М.: Химия, 1993.

8. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Высшая школа, 2003.
9. Stichlmair J. Chemie-Anlagen + Verfahren, 1979, № 1, p. 40.
10. Seader J.D. "Distillation" in Perry's Chemical Engineering Handbook, New York, McGraw-Hill, 1984.
11. Serafimov L.A., Pisarenko Yu.A., Kulov N.N. Chem. Eng.Sci., 1999, Vol. 54, p. 1383.
12. Дильман В.В., Лотхов В.А., Глаголева А.А., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Теор. основы хим. технол., 2002, т. 36, № 3, с. 248.
13. Дильман В.В., Лотхов В.А., Глаголева А.А., Квашнин С.Я., Кулов Н.Н. Теор. основы хим. технол., 2003, №, т. 37, № 6, с. 1.
14. Лотхов В.А., Дильман В.В., Василевский Д.И., Липатов Д.А. Теор. основы хим. технол., 2003, Т. 37, № 2, с. 147.
15. Иванов И.В., Лотхов В.А., К.А.Моисеева, Н.Н.Кулов. Теор. основы хим. технол., 2016, Т. 50, № 5, с. 485.
16. Иванов И.В., Лотхов В.А., Н.Н.Кулов. Теор. основы хим. технол., 2017, Т. 51, № 3 с. 239.
17. Berry D.A., Ng K.M. AIChEJ, 1997. V. 43. P. 1751.
18. Myasnikov S.K., Uteshinsky A.D., Kulov N.N. Recent Progr. En Genie des Procedes. France. 1999. Vol. 13. P.1–8.
19. Мясников С.К., Утешинский А.Д., Кулов Н.Н. Теор. основы хим. технол., 2001, Т. 35, № 5, с. 457.
20. Uteshinsky A.D., Myasnikov S.K., Kulov N.N. Proc. Of the 14th Int. Symp. on Industrial Crystallization (CD-ROM), Cambridge, 1999.

УДК: 66.02:66.023

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГО- И
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
MODERN TRENDS IN THE CREATION OF ENERGY AND RESOURCE-
SAVING EQUIPMENT IN THE CHEMICAL INDUSTRY**

**Валерьян Николаевич Блиничев
Valerian N. Blinichev**

*Ивановский государственный химико-технологический университет, Россия, Иваново
Ivanovo state University of chemistry and technology, Russia, Ivanovo
(e-mail: blinich@isuct.ru)*

Аннотация: В настоящей статье дается анализ тенденций развития энерго- и ресурсосберегающего оборудования в химической промышленности. Представляются четыре основных направления создания энерго- и ресурсосберегающего оборудования: увеличение большой единичной мощности агрегатов на примере производства аммиака; разработка и внедрение оборудования комбинированного принципа действия; модернизация основных узлов оборудования и режимно-конструктивная оптимизация с целью существенной интенсификации протекающих в нем гидродинамических тепло- массообменных процессов; осуществление качественной технической диагностики и ремонта, позволяющих проводить модернизацию оборудования и повышать долговечность его работы.

Abstract: In this paper the analysis of the trends in the development of energy and resource-saving equipment in the chemical industry is provided. Four main directions for the creation of energy- and resource-saving equipment are shown: an increase in the large unit capacity of apparatus by the example of ammonia production; development and implementation of combined action equipment; modernization of the main equipment units and regime-constructive optimization with the purpose of essential intensification of hydrodynamic heat-mass exchange processes taking place in it; the implementation of high-quality technical diagnostics and repair, allowing to modernize the equipment and improve the durability of its operation.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, оборудование, оптимизация.

Key words: energy saving, resource saving, equipment, optimization.

В основной химической промышленности России и других развитые странах энерго- и ресурсосберегающие технологии немислимы без энерго- и ресурсосберегающего оборудования.

Основные пути создания энерго- и ресурсосберегающего оборудования:

1. Увеличение производительности агрегатов большой единичной мощности.
2. Разработка и внедрение нового высокоэффективного оборудования.
3. Снижение удельных энергозатрат за счет реконструкции, путем разработки, изготовления и внедрения новых конструктивных решений основных узлов существующего оборудования.
4. Повышение долговечности работы оборудования за счет грамотной организации и проведения ремонта.

1. Увеличение производительности агрегатов большой единичной мощности.

Снижение себестоимости продуктов основной химической промышленности, как правило, осуществляется за счет увеличения производительности агрегатов большой единичной мощности при снижении удельных затрат энергии (квт·ч/тонну продукции) и поддержании надежности работы оборудования на определенном уровне.

Примером повышения единичной мощности химических производств может служить производство аммиака, когда первые агрегаты имели производительность 1360 тNH₃/сутки в начале 70-х годов, затем в конце прошлого столетия - 1800 тNH₃/сутки и в проектируемых и монтируемых производствах, например, в г.Кингисепп мощность одного аппарата соответственно, всего производства выросла до 2800 тNH₃/сутки.

Однако повышать дальше производительность одного агрегата работающего под высоким давлением, экономически уже становится не совсем выгодно, так как возрастает производительность - растет диаметр аппаратов и, соответственно, толщины стенок.

При повышении производительности этих аппаратов возникают также проблемы обеспечения надежности уплотнений крышек аппаратов и обеспечения долговечности всей цепочки аппаратов.

Решение проблемы снижения себестоимости по первому пути практически всегда сталкивается со снижением долговечности оборудована особенно, если не меняется его конструктивное оформление.

Увеличение производительности работающего оборудования без его модернизации приводит к росту скоростей движения полупродуктов и продуктов, что, естественно, повышает абразивный и коррозионный износ контактирующих с потоками элементов конструкций.

Повышение производительности единичного оборудования скоростей коррозионного и абразивного износа приводит иногда к существенному снижению долговечности работы оборудования, что далеко не всегда учитывается при расчетах экономической эффективности промышленных линий производства при повышении их производительности до предельных возможностей работающего оборудования.

Наращивание производительности агрегатов большой единичной мощности без реконструкции оборудования приводит к снижению сроков межремонтных пробегов основного оборудования и не всегда учитываемого снижения времени его работы от капитального до капитального ремонтов.

2. Разработка и внедрение нового высокоэффективного оборудования.

Существенно реже осуществляется второй подход снижения себестоимости продукции — разработка новой технологии производства продукции, либо с сокращением ряда промежуточных стадий, либо с совмещением нескольких процессов в одной единице оборудования, когда последовательно или параллельно протекают несколько взаимно интенсифицирующих друг друга процессов, что позволяет существенно снизить удельные энергозатраты и капитальные затраты, связанные со снижением стоимости оборудования.

И в настоящее время это один из самых перспективных путей создания энерго- и ресурсосберегающего оборудования.

3. Снижение удельных энергозатрат за счет реконструкции, путем разработки, изготовления и внедрения новых конструктивных решений основных узлов существующего оборудования.

Практика последних лет разработки и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования показывает, что наибольший экономический эффект от их внедрения в производства наблюдается в тех случаях, когда один научно-исследовательский и проектный институт берется разрабатывать эти технологии и закладываемого в проект нового оборудования и он же участвует в процессах пуска проектируемых производств. Ответственность за новые разработки повышается, и результат реализации проекта получается хорошим.

Примером такой работы «от проекта до объекта» являются работы, выполненные научно-исследовательским и проектным институтом карбамида г.Дзержинска.

Например, для ПАО «Метафракс» с 2016 года по настоящее время выполняется проект комплексов, связанных между собой производств «Аммиак-Карбамид-Меланин».

Выполняется проектная документация для комплекса (объекты ISBL/OSBL); строятся объекты OSBL «под ключ» (рабочая документация, поставка всего оборудования, выполнение строительно-монтажных и пуско-наладочных работ).

Для ОАО «Аммоний» г. Менделеевск, Татарстан (2010-2015 гг.) выполнялся комплекс «Аммиак-Метанол-Карбамид» совместно с японской фирмой «Mitsubishi». Объем работ: проектная документация для комплекса; строительство объектов OSBL «под ключ» (рабочая документация, поставка оборудования, строительно-монтажные и пуско-наладочные работы).

В период пуско-наладочных работ кроме специалистов НИИК по пуску и наладке обязательно присутствует ГИП данного проекта, который уже на месте производства исправляет замеченные мелкие недостатки проекта, что позволяет существенно сократить сроки пуско-наладочных работ и быстро выйти на проектную производительность.

Режимно-конструктивная оптимизация оборудования с использованием современных средств автоматики и надежного поддержания, например, оптимальных чисел оборотов машин позволяет в ряде случаев на 25-30 % повысить производительность оборудования и существенно снизить удельные затраты энергии.

4. Повышение долговечности работы оборудования за счет грамотной организации и проведения ремонта.

Другим направлением существенного снижения энерго- и ресурсных затрат за счет работающего оборудования в химической промышленности является повышение долговечности агрегатов большой единичной мощности за счет регулярного обследования толщин стенок методами неразрушающего контроля, использования дополнительных средств защиты от коррозии, проведения качественного ремонта основных узлов оборудования, подвергающегося капитальному ремонту.

Для этого, например, на ОАО «Акрон» г. Великий Новгород создавалась специализированная ремонтная организация «Акрон-ремонт», имеющая в своем составе квалифицированных работников по виду ремонтируемого оборудования и необходимое приборное оснащение для оценки его прочности и надежности.

Повышение долговечности работы оборудования идет параллельно по двум направлениям:

- а) повышения качества оценки ремонтоспособности основных узлов оборудования;
- б) повышение долговечности за счет защиты изнашивающихся узлов от абразивного и коррозионного износа оборудования при использовании новых материалов.

Наиболее перспективным с точки зрения повышения долговечности и экономичности производства является использование новых материалов при капитальном ремонте.

Одним из путей повышения производительности существующего оборудования и, соответственно, снижение удельных энергозатрат является (с участием проектных организаций) разработка новых конструктивных решений основных узлов машин и аппаратов, позволяющих изменить гидродинамические условия и существенно повысить тепло- и массообменные процессы, что, в свою очередь, позволяет увеличить производительность машин и аппаратов при тех же габаритах оборудования.

К сожалению, такие решения при капитальных ремонтах, позволяющие одновременно увеличить долговечность работы основного оборудования с повышением его эффективности осуществляются чрезвычайно редко в связи с длительным сроком согласования изменений в конструкции оборудования с фирмами, изготавливающими данное оборудование.

Существенным повышением долговечности промышленного оборудования в большинстве случаев работающего при повышенных давлениях 32 МПа и более, температурах от 100 до 1500°С в суперкоррозионных средах (смесях нескольких кислот) является осуществление грамотной его технической диагностики.

Техническая диагностика, проводимая через определенные промежутки времени, определяет техническое состояние оборудования.

Она является одним из важнейших элементов повышения долговечности оборудования и системы управления промышленной безопасностью.

Целью технической диагностики является поддержание установленного уровня надежности, обеспечения требований безопасности и эффективности использования оборудования.

Основной задачей технической диагностики является распознавание состояния оборудования в условиях ограниченной информации, однако с использованием современных приборов контроля, например, толщин стенок, позволяющих не только определить минимальную среднюю толщину стенки, но и найти зоны локального коррозионного и абразивного износа.

По результатам такой квалифицированной диагностики даются рекомендации ремонтным службам предприятий по ликвидации локальных зон износа с целью увеличения долговечности промышленного оборудования.

Грамотная организация не только технической диагностики, но и, в первую очередь, ремонтных работ, являются важнейшими факторами увеличения долговечности машин и аппаратов химической промышленности и, соответственно, энерго- и ресурсосбережения.

При отсутствии модернизации оборудования при неправильной организации ремонтных работ затраты на техническое обслуживание и ремонт некоторых видов оборудования за время его эксплуатации в несколько раз превышают стоимость нового оборудования.

Снижение расходов на техническое обслуживание и капитальный ремонт, проводимые в настоящее время владельцами ряда крупных химических предприятий, приводит в конечном итоге не к положительному, а к отрицательному экономическому балансу вследствие с потерей квалифицированного персонала, невозможностью приобретения, как запасных деталей, так и современных средств восстановления и модернизации изношенных деталей.

Долголетняя работа ремонтных служб крупных химических комбинатов свидетельствует о том, что современные методы восстановления деталей позволяют реставрировать детали практически с любыми дефектами естественного изнашивания, обеспечивая при этом их высокую надежность и большую долговечность по сравнению с новыми.

Стоимость восстановления деталей в РМЦ в среднем составляет не более 30-50 % стоимости изготовления новых, а базовых деталей - значительно меньше.

В этой связи совершенно экономически нецелесообразно сокращать ремонтную службу на крупных предприятиях, а, наоборот, необходимо выделять им дополнительные средства на приобретение современных приборов определения надежности, долговечности основного оборудования и устройств восстановления деталей, позволяющих существенно повысить долговечность быстроизнашивающихся его узлов.

Поэтому вопросы рационального использования оборудования, предотвращение потерь в производстве из-за неисправностей и аварий, снижение затрат на эксплуатацию, проведение качественного ремонта с модернизацией узлов основного оборудования, повышающей гидродинамические, тепло- и массообменные его характеристики с одновременным ростом долговечности являются одним из основных факторов увеличения энерго- и ресурсосбережения работающего оборудования.

УДК 614.8: 62.4: 66.021

**ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ТЕХНОСФЕРЫ:
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ, ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER IN PROTECTION SYSTEMS OF
TECHNOLOGY: PRODUCTION, FIRE AND FIRE ENVIRONMENTAL ASPECTS**

**Федосов Сергей Викторович
Sergey V. Fedosov**

*Ивановский государственный политехнический университет, Россия, Иваново
Ivanovo State Polytechnical University, Russia, Ivanovo
(e-mail: fedosov-academic53@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности процессов теплообмена в окружающих человека системах. Показано, что знания законов теплообмена и способность правильно использовать эти знания в современных условиях может влиять на обеспечение безопасности жизни и здоровья людей.

Abstract: Some features of heat and mass transfer processes in the surrounding human systems are considered. It is shown that knowledge of the laws of heat and mass transfer and the ability to properly use this knowledge in modern conditions can affect the safety of people's life and health.

Ключевые слова: ноосфера, безопасность, теплообмен, массообмен, краевые условия.

Keywords: noosphere, safety, heat transfer, mass transfer, boundary conditions.

Великое учение о ноосфере и биосфере, созданное выдающимся учёным В.И. Вернадским [1] определяет и поясняет жизнь всей природы и роль человечества в ней. На рис. 1 приведена иллюстрация представлений В.И. Вернадского в форме своеобразной "лепестковой диаграммы".

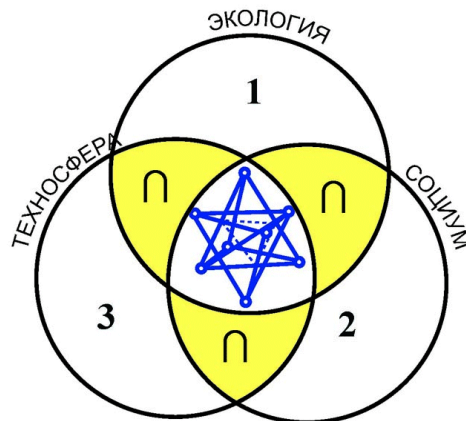


Рисунок 1 - Представления В. И. Вернадского о ноосфере.

Безусловно, справедлива очерёдность элементов диаграммы: экология > социум > техносфера.

До появления человека на планете Земля вся живая и неживая природа подчинялась законам экологии: периоды ледников и потеплений сменяли друг друга и приводили к изменениям в фауне и флоре; возникали, развивались и исчезали различные виды растений и представители животного мира. Появление человека разумного явилось отправной точкой отсчёта развития социума. И наконец, когда человек стал применять орудия производства для

получения продукции, возникло и ответное влияние человека на природу и, соответственно, техносфера.

1944-й год, Вторая Мировая война, людские страдания, потеря близких и надежды на то, как будет складываться дальнейшая послевоенная жизнь. И отражается влияние человека на ноосферу, биосферу и перспективы развития человеческого общества. И становится ясно, что они могут быть или радужными или печальными. Человек живёт в природе, которая своеобразна и миллионы лет она творит свою историю, в которой вечно сосуществуют две научные парадигмы: детерминизм /определённость/ и стохастика /вероятность/.

Все процессы в живой природе протекают с той или иной степенью вероятности в макромасштабе событий, но определённый этой вероятностью "вектор" направления процесса в своих микромасштабах подчиняется строго детерминированным закономерностям протекания теплофизических процессов, которые определяются так называемой "тройной аналогией".

Ещё в трудах основоположников коммунистических идей, которые сегодня "задвинуты на задворки истории", в частности, в работе В.И. Ленина "Материализм и эмпириокритицизм" [2], отмечается, что единство природы выражается в "поразительной аналогии внешне различных явлений, описываемых едиными дифференциальными уравнениями".

Эта аналогия выражается феноменологическими уравнениями гидроаэродинамики и тепломассопереноса (1-7).

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + (v \cdot \nabla) \cdot v + \frac{\partial \rho}{\rho} = g + \frac{1}{\rho} \cdot \nabla \cdot \sigma(v) \quad (1)$$

$$(в i - м уравнении: \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j})$$

$$\sigma_{ij}(v) = \rho v + \left(\frac{\partial \sigma_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \sigma_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \operatorname{div} v \right) \quad (2)$$

Уравнение Фурье-Кирхгофа:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

где: w - скорость движения среды, м/с; a - коэффициент температуропроводности, м²/с.

В реальных гидрогеологических условия конвективный перенос сопровождается молекулярно-диффузионными процессами и описывается понятием конвективной диффузии. Суммарный удельный поток веществ при конвективной диффузии имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \frac{\partial C}{\partial x} w_x + \frac{\partial C}{\partial y} w_y + \frac{\partial C}{\partial z} w_z = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

где: C - концентрация; D - коэффициент диффузии.

Для того, что бы охарактеризовать соотношение интенсивности переноса веществ конвекцией и молекулярной диффузией у границы фазы, где интенсивность переноса определяется молекулярной диффузией используется критерий Нуссельта:

$$Nu_d = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad (5)$$

Для того, что бы описать изменение скорости потока диффузионной массы во времени и характеристики нестационарных процессов используется критерий Фурье:

$$Fo_d = \frac{D \cdot \tau}{l^2} \quad (6)$$

Диффузионный критерий Прандтля характеризует подобие полей физических величин и определяется только физическими свойствами вещества.

В общем виде критериальное уравнение конвективной диффузии записываются следующим образом:

$$Nu_d = f(Re, Gr, Pr_d, Fo_d) \quad (7)$$

Представленная система уравнений сама по себе является, в принципе, неразрешимой существующими методами математической физики, поскольку является и нелинейной и неоднородной.

Как известно, дифференциальные уравнения в частных производных имеют бесчисленное множество решений. И только будучи дополненными краевыми условиями они могут быть решены для ограниченного числа практических задач. Краевые условия - это совокупность начальных и граничных условий.

В качестве начальных условий к задачам гидроаэродинамики определяют значения показателей скоростей движущейся среды и/или напряжений трения на границах потока с ограждающими конструкциями.

Выше нами были представлены уравнения для сплошной среды, а в твердых телах в качестве граничных условий к задачам теплопереноса, как правило, применяется система уравнений акад. А.В.Лыкова и Ю.А.Михайлова (8-16) [3]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_q \nabla^2 t + \varepsilon r \frac{c_m}{c_q} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{c_p k}{c_q \gamma_0} \nabla P \nabla t \quad (8)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 \theta + a_m \delta \nabla^2 t + a_m \delta' \nabla^2 P \quad (9)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = a_p \nabla^2 P - \varepsilon \frac{c_m}{c_b} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (10)$$

Краевые условия:

- начальные:

$$t(x, y, z, \tau) \Big|_{\tau=0} = t_0(x, y, z) \quad (11)$$

$$\theta(x, y, z, \tau) \Big|_{\tau=0} = \theta_0(x, y, z) \quad (12)$$

$$P(x, y, z, \tau) \Big|_{\tau=0} = P_0(x, y, z) \quad (13)$$

- граничные:

$$-\lambda_q (\nabla t)_n + q_q(\tau) - (1 - \varepsilon) r q_m(\tau) = 0 \quad (14)$$

$$\lambda_m (\nabla \theta)_n + \lambda_m \delta' (\nabla t)_n + \lambda_p (\nabla P)_n + q_m(\tau) = 0 \quad (15)$$

$$P_n = p = const \quad (16)$$

Здесь: t , θ , p – функции, определяющие значения потенциалов переноса (теплоты, массы, давления), в пространстве координат твердого тела в произвольные моменты времени; a_q , a_m , a_p – коэффициенты переноса, соответственно, температуро-, массо- и баропроводности; C_q , C_m – коэффициенты тепло- и массоемкости; r – скрытая теплота парообразования (теплота фазового перехода); ε – степень фазового перехода; δ , δ' – коэффициент термодиффузии (термоградиентный коэффициент); C_p , C_b – удельные теплоемкости; λ_q , λ_m – коэффициенты тепло- и массопроводности; q_q , q_m – плотности потоков теплоты и массы вещества, определяющие межфазный перенос между более плотной (твердой) и менее плотной (жидкой, газовой) фазами.

Задача расчёта по уравнениям гидроаэродинамики /перенос импульса и количества движения/, а также теплопереноса /количества теплоты, энергии и массы вещества/ существенно осложняется тем, что практически все коэффициенты переноса теплоты и массы вещества являются эмпирическими величинами, определяемыми опытным путём. Исключением являются коэффициенты переноса, полученные на основе молекулярно-кинетической теории газов.

К тому же, в соответствии с теорией термодинамики необратимых процессов [3, 4] все термодинамические потоки зависят друг от друга:

$$\bar{J}_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} X_j \quad (i = 1, \dots, n) \quad (17)$$

где: \bar{J}_i – удельные термодинамические потоки; X_j – термодинамические силы; L_{ij} – феноменологические коэффициенты.

Для систем далеких от равновесия феноменологические уравнения записываются в следующем виде:

$$\bar{J}_i(X) = \sum_{j=1}^n L_{ij}(X) X_j \quad (i = 1, \dots, n) \quad (18)$$

Общеизвестно также, что в природе существуют четыре фазовых состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное и плазменное. Последнее, довольно специфическое и не всегда встречается в обычной деятельности человека.

Каждому человеку нашей планеты известно из опыта своей повседневной жизни, что вода из стакана или лужи на дороге испаряется и переходит из жидкого состояния в газообразное, или наоборот, конденсируется из воздуха в объёме /образуя туман/, или осаждается на поверхности твёрдых тел /в качестве росы/. Твёрдое вещество /например, сахар/ вдруг исчезает на глазах, будучи помещённым в сосуд с водой. На этом, может и не стоило бы акцентировать внимание, если бы не факты, которые скрыты от обычного потребителя: во всех случаях происходят изменения теплофизических, физико-химических и механических свойств субстанции (вещества). И все эти факторы также существенно влияют на скорость протекания процессов теплопереноса.

Человек удивляется, радуется, негодует, когда объявленный прогноз погоды не соответствует тем обстоятельствам, на которые он рассчитывал.

И совершенно напрасно. Решения задач гидроаэродинамики, полученные для детерминированных условий, т.е. жёстко заданных начальных и граничных условиях дают и чётко определённые детерминированные зависимости. Все воздушные потоки в атмосфере и более высоких слоях тропосферы носят ярко выраженный стохастический характер, поэтому и решения задач гидрогазодинамики и теплопереноса в этих условиях также носят вероятностный характер.

Особенно следует отметить влияние на атмосферные процессы "водной стихии" и "земной тверди". Потоки газов и жидкостей лишь при малых скоростях движения сохраняют линейное (ламинарное) течение. При возрастании скоростей возникает турбулизация потоков, сопровождаемая вихреобразованием и интенсификацией тепловых и массообменных процессов.

Увы! Природа не может существовать без катаклизмов: землетрясений, наводнений, извержений вулканов, пожаров и, к сожалению, добавившихся к ним катастрофы техногенного характера, происходящих по вине "человеческого фактора".

В соответствии с законодательством и нормативно-правовой документацией определено следующее понятие: "Производственная безопасность - система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности". Ещё одно понятие: "Несчастный случай или авария на производстве - сложное причинно-следственное событие, являющееся результатом недостаточно чётко проработанных решений технологов, конструкторов, проектировщиков, организаторов производства и ошибочных действий непосредственных исполнителей".

Так что же лежит в основе "недостаточно чётко проработанных решений..."? Ответ на этот риторический вопрос, по-видимому, надо искать в плоскости "современные научные знания о производственном объекте - квалификация кадров на объекте".

Анализ большинства техногенных катастроф XX-XXI веков показывает, что первопричиной всех несчастий является "человеческий фактор, явный, или скрытый. Явная - это недостаточная квалификация персонала, выполняющего работы на потенциально опасном производстве. Причём, зависящая порой не столько от нерадивости обучаемых, сколько от нерадивости обучающихся, или некачественно поставленного процесса обучения /несовершенные методики, инструкции, приборы и лабораторное оборудование и т.п. /

За примерами далеко ходить не надо. 3 декабря 1984 года. Индия, Бхопал. Взрыв на химическом заводе по производству метилизоцианата (вещество для производства пестицидов), в ёмкости, наполовину закопанной в землю, находится 60 тонн взрывоопасной жидкости. Жаркий день, контроль температуры паров не производится. Следует взрыв и начинают "работать" уравнения движения парогазовой среды, а также, уравнения конвективного тепло- и массопереноса, разнося ядовитые пары на многие километры от очага взрыва. Более 160 000 жертв. И до сих пор не приходит дня, чтобы СМИ не сообщили об очередной чрезвычайной ситуации и о возникшем при этом пожаре. А пожар - это тяжелейшая экологическая нагрузка на природу. И это не единственный пример такого рода. Чернобыльская авария 26 апреля 1986 года. За несколько секунд до взрыва на 4-м энергоблоке оператор успевает сообщить о сильнейшей вибрации насосов. И гибнет в пламени мощнейшего взрыва. Непосредственно при тушении пожара погибают ещё 31 человек. Ещё 600 тысяч затем оказываются поражёнными лучевой болезнью. Всего, по оценкам МАГАТЭ воздействию аварии оказались подвержены более 2 миллионов человек. А ещё и экологические последствия и мутации животного мира, когда "маленькие" - пауки начинали хаотично плести паутину; "средние" - волки стали в одиночку нападать на людей; а среди людей повысился процент родившихся с болезнью Дауна. У специалистов в области медицины есть крылатая фраза: "болезнь легче предупредить, чем лечить". Но предупредить развитие негативных тенденций в любой области может только специалист, вооружённый знаниями как всех особенностей развития технологических процессов, так и возможных разрушительных последствий.

В завершение своего сообщения автор приводит электронную ссылку на практически всю современную нормативную документацию по безопасности производственной, экологической и пожарной [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биосфера и ноосфера. Составители Н. А. Костяшкин, Е. М. Гончарова / Предисловие Р. К. Баландина. - М.: Айрис-пресс, 2004. 576 с.
2. Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии. М.: Политиздат, 1984.
3. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса/Москва-Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1963. 535 с.
4. Де Гроот С.Р. Термодинамика необратимых процессов. Гостехиздат, 1956.
5. <http://www.gosnadzor.ru/service/list/certification%20experts/acts/%D0%9F%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%AC%20%D0%9D%D0%A2%D0%94.pdf>
6. <https://tk-servis.ru/lib/all/>

УДК 621.927

**СМЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ: ОТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ К НОВЫМ КОНСТРУКЦИЯМ СМЕСИТЕЛЕЙ
MIXING OF SOLIDS: FROM SIMULATION TO NEW DESIGN OF MIXERS**

Вадим Евгеньевич Мизонов*, Henri Berthiaux
Vadim E. Mizonov*, Henri Berthiaux****

**Ивановский государственный энергетический университет – ИГЭУ имени
В.И. Ленина, Россия, Иваново*

**Ivanovo State Power Engineering University – ISPEU after V.I. Lenin, Russia, Ivanovo
(e-mail: mizonov46@mail.ru)*

*** Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, Albi, France
(e-mail: berthiau@enstimac.fr)*

Аннотация: Цель данной статьи продемонстрировать, как математические модели смешения сегрегирующих друг в друге дисперсных материалов и оптимизация параметров смешивания, базирующаяся на этих моделях, могут быть использованы для новых конструкций смесителей периодического и непрерывного действия.

Abstract: The objective of the paper is to demonstrate how mathematical models of mixing of segregating particulate solids and optimization of mixing parameters based on the models can be realized in new design of batch and continuous mixers.

Ключевые слова: смешивание дисперсных материалов, сегрегация, математическая модель, цепь Маркова, оптимизация, новые конструкции смесителей.

Keywords: mixing of solids, segregation, mathematical model, Markov chain, optimization, new design of mixers.

Математические модели обычно строятся постфактум для уже существующей конструкции какого-либо аппарата, чтобы найти корреляцию между параметрами процесса. Очень часто такие корреляции, несмотря на то, что они получены из математической модели процесса, выглядят как слишком сложные поддерживающие кривые с практически нулевой прогностической ценностью. Однако, если модель достаточно информативна, формальные, на первый взгляд, оптимизационные игры с ней позволяют предложить новые идеи конструирования оборудования и оценить эффективность их реализации.

В статье речь пойдет о процессах смешивания разнородных (склонных к сегрегации) дисперсных материалов и их моделировании методами теории цепей Маркова. Теоретические основы построения таких моделей описаны в наших работах [1,2]. Рабочее состояние смесителя разбито на n ячеек идеального перемешивания. Распределение ключевого компонента по нему описано вектор-столбцом $S = \{S_j\}$ размером $n \times 1$. Процесс наблюдается в дискретные моменты времени $t_k = (k - 1)\Delta t$, где Δt – продолжительность, а k – номер временного перехода (дискретный аналог времени). Эволюция состояния процесса описывается рекуррентным матричным равенством

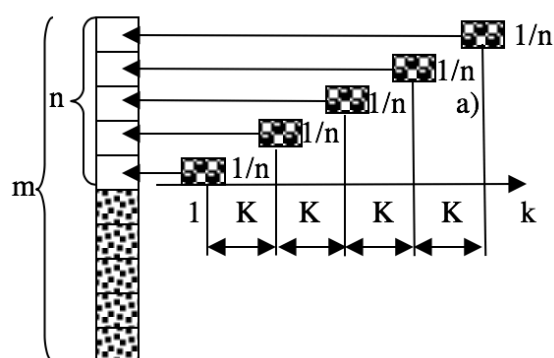
$$S^{k+1} = PS^k, \quad (1)$$

где P – матрица переходных вероятностей, описывающая изменение вектора S за время Δt . В наиболее простом случае эта матрица имеет вид

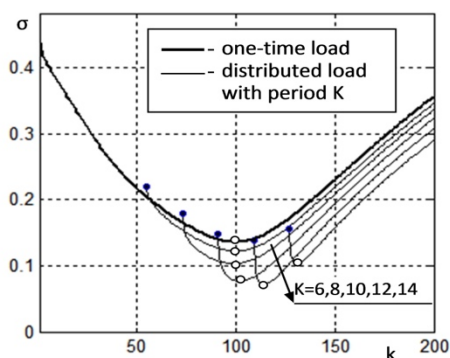
$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1-d-v & d & 0 & 0 & \dots \\ d+v & 1-2d-v & d & 0 & \dots \\ 0 & d+v & 1-2d-v & d & \dots \\ 0 & 0 & d+v & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где d – вероятности чисто стохастических симметричных диффузионных переходов, v – вероятности конвективных (сегрегационных) переходов. В общем случае обе величины зависят от текущего вектора состояния, то есть модель является нелинейной.

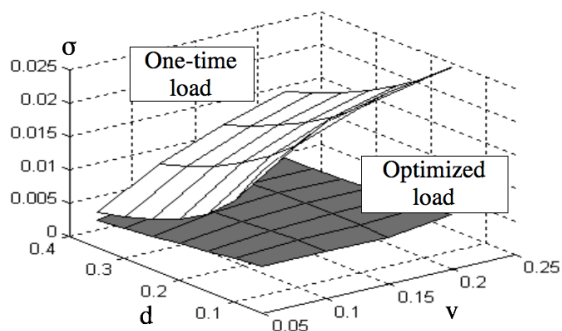
Рассмотрим некоторые варианты численных игр с моделями, выводящими на новые конструкции смесителей. На рисунке 1 приведен пример, в котором загрузка ключевого компонента производится не одномоментно, а распределена во времени с интервалом K переходов (рисунок 1а). Модель (1)-(2) легко адаптируется к описанию такого процесса. Смесь характеризуется среднеквадратичным отклонением содержания ключевого компонента σ . Из рисунка 1б следует, что существует оптимальный период подачи, обеспечивающий почти двукратное снижение неоднородности смеси. Остальные процедуры видны из рисунка.



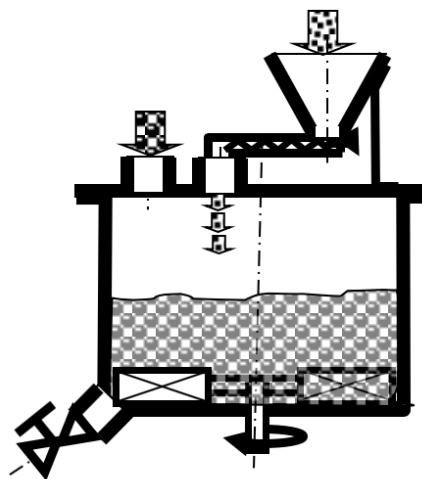
а)



б)



в)

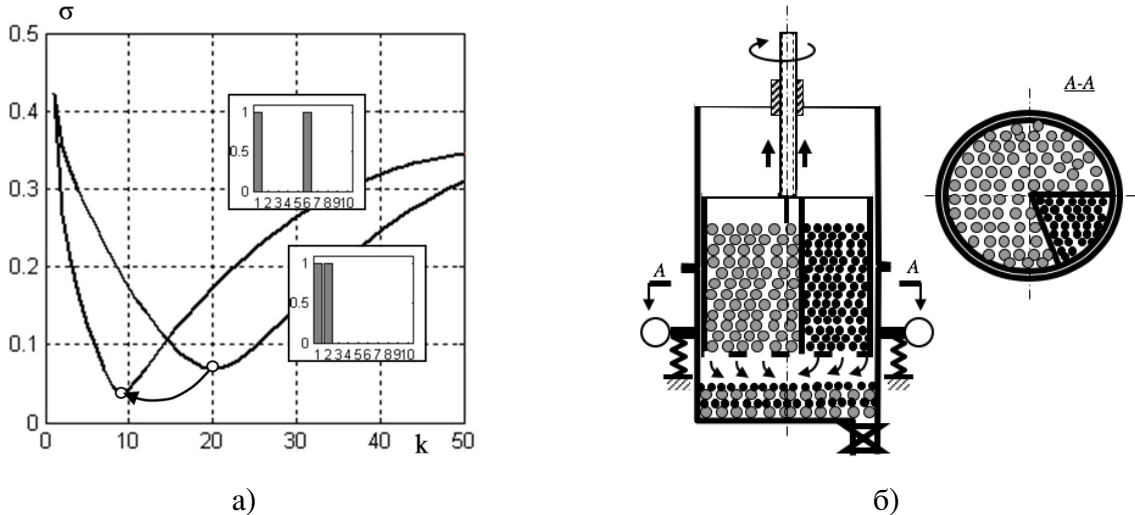


г)

а) ячеечная модель процесса; б) оптимизация периода загрузки; в) обобщение результатов моделирования; г) пример новой конструкции смесителя с распределенной во времени загрузкой

Рисунок 1 – Эффективность распределенной во времени загрузки ключевого компонента:

На рисунке 2 показан пример процесса со структурированной загрузкой, когда ключевой компонент загружается чередуясь с основным. Слева показана кинетика формирования качества смеси при однослойной и многослойной загрузке. Видно, что многослойная загрузка (здесь в 2 сэндвича) позволяет снизить время смешивания до минимальной неоднородности и саму минимальную неоднородность практически в 2 раза. Справа показан пример новой конструкции смесителя, реализующей такую загрузку.



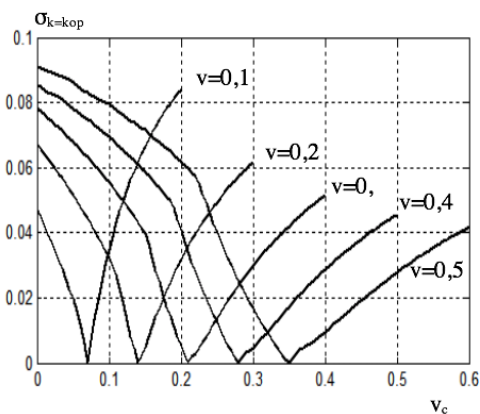
а) кинетика формирования качества смеси; б) пример новой конструкции смесителя с многослойной загрузкой

Рисунок 2 – Процесс с многослойной загрузкой ключевого компонента.

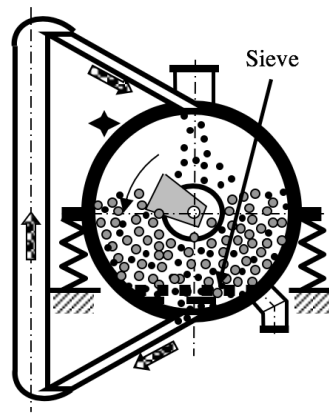
Известно, что матрица (2) дает асимптотически равномерное распределение, если сумма ее элементов в каждой строке равна единице. Это условие в матрице (2) не выполняется. Сделаем искусственное, на первый взгляд, преобразование, показанное в равенстве (3), чтобы оно оказалось выполненным.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1-v-d & d & 0 & 0 & \textcircled{v} \\ d+v & 1-v-2d & d & 0 & 0 \\ 0 & d+v & 1-v-2d & d & 0 \\ 0 & 0 & d+v & 1-v-2d & d \\ 0 & 0 & 0 & d+v & 1-d-v+\textcircled{v} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Это означает, что некоторая доля ключевого (мелкого) компонента должна выделяться в нижней части смесителя и отправляться наверх, то есть циркулировать в смесителе. На рисунке 3 слева показана зависимость предельно достижимого качества смеси от доли циркулирующего компонента. При ее оптимальном значении возможно достижение полностью равномерной смеси. Справа показан пример новой конструкции, реализующей этот принцип.



а)

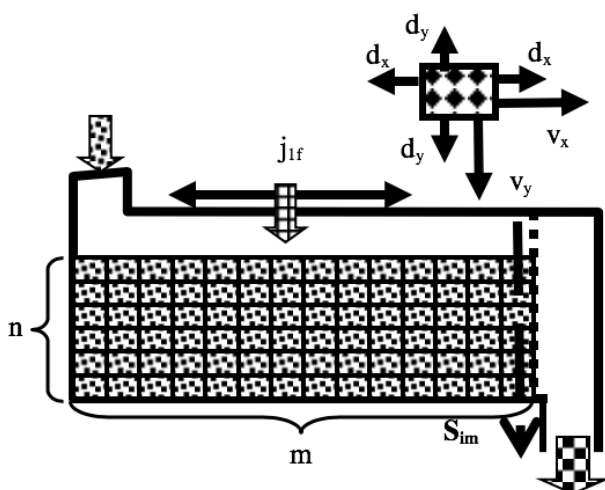


б)

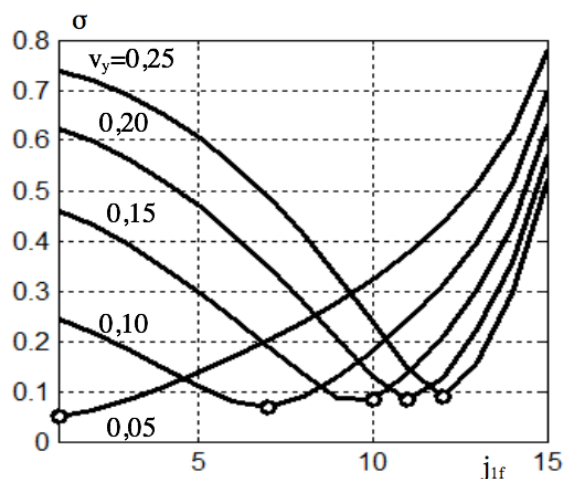
а) кинетика формирования качества смеси; б) пример новой конструкции смесителя с внешней циркуляцией

Рисунок 3 – Процесс с внешней циркуляцией ключевого компонента.

На рисунке 4 для оптимизации процесса в непрерывном смесителе использована двумерная цепь Маркова [2]. Здесь речь идет об оптимальном позиционировании подвода ключевого компонента (ячейки подвода j_{if}) с целью достижения максимально однородной смеси в выходном сечении смесителя.



а)



б)

а) ячеечная модель и принцип работы конструкции; б) кинетика формирования качества

Рисунок 5 – Процесс в смесителе непрерывного действия с оптимальным позиционированием загрузки ключевого компонента.

Как видно из приведенных примеров, математические модели могут давать реальный выход на новые конструкции оборудования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №18-08-00028.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Berthiaux, H., Mizonov, V., & Zhukov, V. (2005). Application of the theory of Markov chains to model different processes in particle technology, Powder Technology, Elsevier, Vol.157, 2005. pp: 128-137.
- Mizonov, V., Berthiaux, H., & Gatamel, C. (2016). Theoretical search for solutions to minimize negative influence of segregation in mixing of particulate solids, Particuology, Elsevier, Vol.25, 2016. pp: 36-41.

УДК 004.93

USING COMPUTER TECHNIQUES FOR FITTING SHOES WITHOUT TRYING THEM ON

K. Śmiechowski, A. Miernik, J. Żarłok

*Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Faculty of Materials
Science, Technology and Design, Poland, Radom,
(e-mail: smiechowski@pro.onet.pl)*

Abstract: The article presents the way of choosing the shoe size without the need for repeated trying them on. The method consists in using a scanner and with the use of computer program the images of the foot, shoe interior and the shoe last are created. Using the computer program and taking into account coefficients of the foot physiology changes, and material and technological changes in footwear, a 3D image of a shoe is matched to the 3D image of the foot. This method allows choosing a proper shoe size without the necessity of trying the shoes on, which seems useful while shopping online.

Keywords: Fitting, shoe size, 3D scanning, foot, footwear..

Introduction

Internet is a global computer network which has brought about immense changes in access to knowledge but also enabled globalization of economy. [1] It has given each consumer a chance to acquire any utility product, including footwear, without leaving home. However, the exact selection of the shoe size without the need for trying the shoes on while shopping online is still a problem which must be resolved.

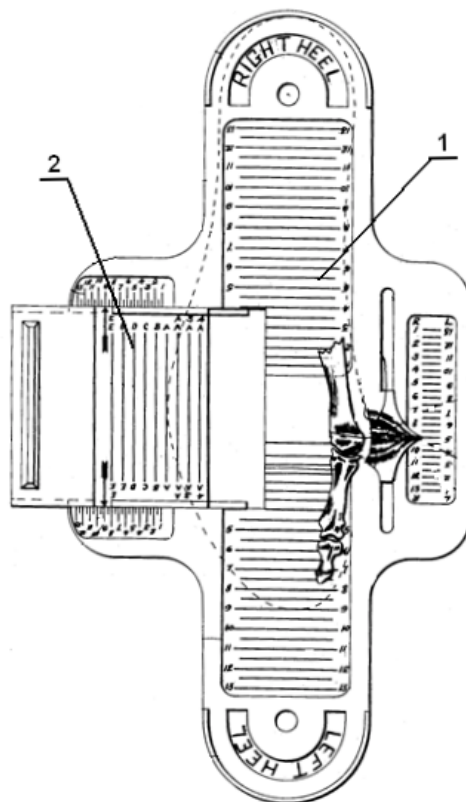
Most often shoe manufacturers produce shoes according to one of the four sizing systems: metric, French (Paris stitch), English (inch) and Mondopoint (mm). Below you will find an example of converting the shoe size which is 26 cm long into different systems. In Europe it is size 42, for a British man it is size 8, whereas for a British woman – size 7.5; for an American man – size 8.5 and an American woman – size 10; a Japanese man will speak about size 26.5 and a Japanese woman – size 26; in Mexico it is size 7, in Brazil – 40, for an Australian man – size 8 and an Australian woman - 8.5. In the Mondopoint system it is 260, and it equals 10.25 inches.[2] This multiplicity of sizes poses a difficulty when it comes to selecting shoes of proper size.

To choose the size correctly we must take into account the foot length but also its other characteristics which determine the shoe size fit. Four other foot characteristics determine the shoe size fit. These are: the width of the forefoot, the width of foot in the heel, the circumference of the foot from under the arch to over the instep and the circumference of the forefoot.

Shoe fitting methods

For many years the problem of correct shoe fitting has been the subject of many patent solutions.

One of the oldest and at the same time most frequently used devices for measuring the foot size is the Brannock device presented in the U.S. Patent 1.725.334.[3] The device consists of two sliding plates with a graduated scale indicating the foot length and width (Fig.1).



1. The plate for measuring the length of the foot
2. The plate for measuring the width of the foot

Figure 1 – Brannock device for measuring the foot size [3]

There are three types of this device intended for children, women and men. The device was intended for use in shoe shops.

A well-known method of shoe fitting is outlined in the U.S. Patent 4.931.773.[4] It refers in particular to children's shoes. It consists in the use of transparent elements in the shoe bottom. They let us find the optimum position of the foot in a shoe. Additionally the footwear is provided with an acoustic signal generated when the shoes are too tight. The source is a battery or a solar panel.

A very similar method of fitting shoes is introduced in the U.S. Patent 5.014.041, where additionally a visual signal is provided in the footwear.[5]

The U.S. Patent 5.084.988 shows a method of systematic, thorough monitoring of the distance between the user's foot toes and the end of the sole.[6] It is achieved by providing the shoes with a transparent insert in the shoe sole. The insert is provided with a graduated scale. This method is used in children's footwear.

Another well-known method of foot sizing thanks to a specialist device is described in the U.S. Patent 5.659.395.[7] This device takes advantage of the pressure and optical sensor. Location of the sensors allows us to monitor the foot size. The device is connected to the monitor and computer and as a result data processing and creating an image on the monitor are possible. The computer is able to collect, store and transfer data. The conducted foot analysis can be used while selecting footwear owing to the connection with the database of footwear availability. The data can be stored for each individual customer.

The U.S. Patent 6.192.593 presents a non-destructive method of measuring the interior dimensions of the shoe. [8] It is accomplished with the use of an apparatus mounted in the shoe and containing a probe moving axially inside the shoe (Fig.2).

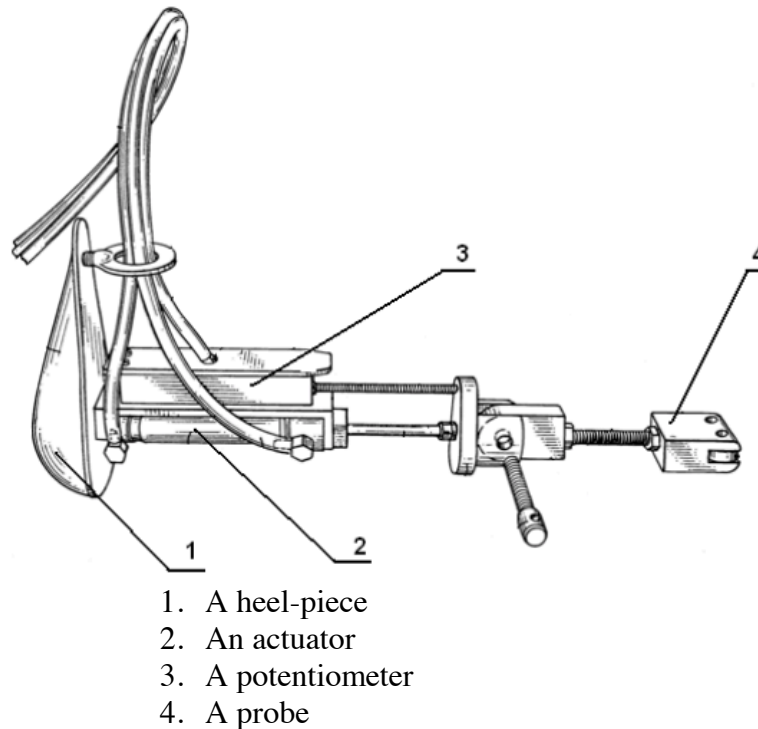


Figure 2 – The apparatus for non-destructive measuring of the interior dimensions of the shoe [8]

The probe is pneumatically activated. A computer system controlling the actuator extends the probe until it contacts the toe portion of the shoe. A linear potentiometer measures the distance travelled by the probe and thus determines the internal linear dimension of the shoe. The apparatus can be used for different types of shoes. Depending on the type of probe there is a possibility of obtaining 3D internal measurements.

Still another method of sizing one's feet for shoes is described in the U.S. Patent 6.550.149.[9] The system consists of a computer with the program comprising the foot data from a user (customer) and shoe data. The data include the shoe length, the metatarsal width and the heel width. This way of shoe fitting consists of three stages:

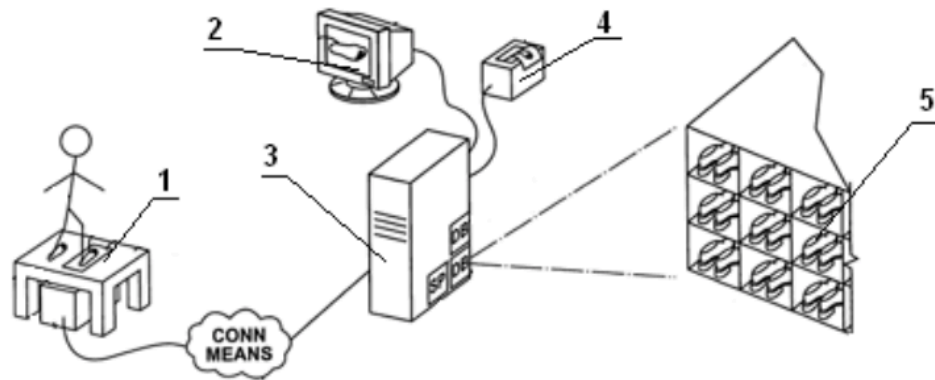
- foot measurement - obtained by use of a scanner,
- receiving shoe measurements provided by the shoe manufacturer,
- comparison of the shoe and foot measurements and generating a fit indicator.

The system enables fitting the shoes without the necessity of trying them on.

Measurement of the shoe interior by a thermographic infrared apparatus enabling shoe fitting is described in the U.S. Patent 6.975.232. [10] The apparatus consists of one or more instruments creating thermographic images thanks to the heat transferred to the shoe from the foot. The measurement consists in receiving several images obtained in different planes and comparing them. Moreover, the apparatus comprises a display enabling the person who is trying the shoe on to determine how well the shoe fits.

The U.S. Patent 7.114.260 presents a system of selecting the best fitting shoes for a user. [11] The selection system consists of:

- a computer adapted to receiving a digital image of the foot,
- a software package enabling the image processing and then generating a trace outline of the foot,
- a shoe sizing system,
- software for storing the shoe and foot data (Fig. 3).

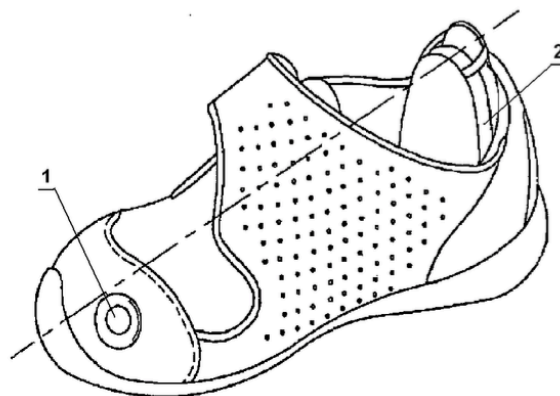


1. Foot scanning
2. A monitor
3. A computer with software for data collecting and storage
4. A printer
5. A shoe and foot database

Figure 3 – A system for sizing shoes according to the U.S. Patent 7.114.260 [11]

The choice of best-fitting shoes relies on a comparison of the foot data with the data from the shoe database and entering the best fit indicator.

The shoe fitting method from the U. S. Patent 7.293.370 is also well known. [12] This method is used for fitting children’s footwear because it lets us determine whether a shoe is not too small. Shoe fitting is possible thanks to a small transparent window in a pre-determined location. The window being 6-8 mm in diameter is located on the shoe vamp and allows us to see a toe of the wearer (Fig. 4).



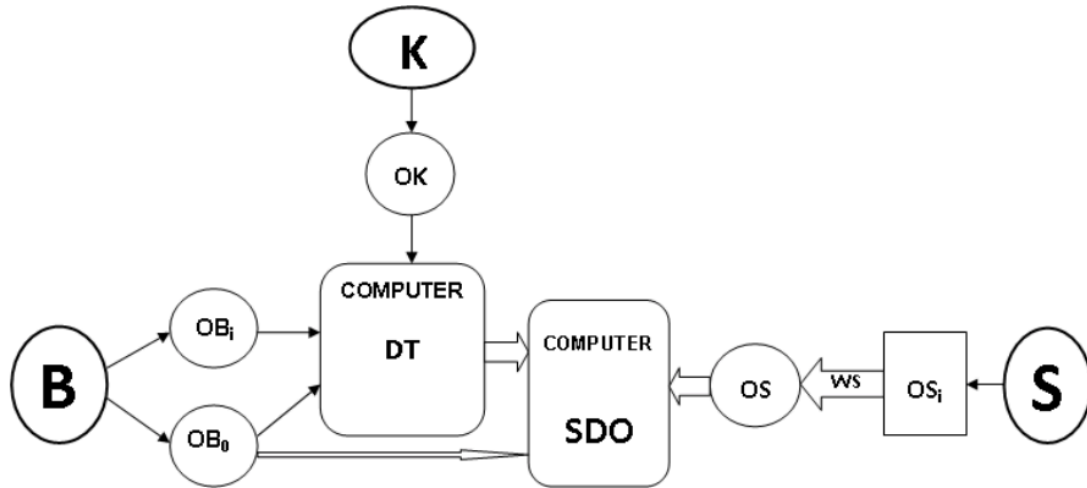
1. A window to see a user’s toe
2. A sizing member

Figure 4 – A shoe for fitting children’s footwear according to the U.S. Patent 7.293.370 [12]

New method of shoe fitting

A drawback of the well-known methods of shoe sizing and fitting is the fact that they do not take into account the performance of the materials used in footwear; they also require a personal contact of the user with the product. Moreover, they ignore variability of foot dimensions in different conditions of the footwear use and individual selection of shoe fit tolerances depending on the end use and individual expectations of the user. What is more, the methods which are used do not consider the way in which elements of shoe uppers are joined and the influence of construction errors or technological faults on footwear properties.

The essential feature of the proposed method of shoe fitting and foot sizing without the necessity of trying the shoes on, is the fact that with the use of computer programs first a 3D image of the foot is created, then a 3D image of the interior of the shoe and the image of the shoe last, and taking advantage of the computer program a 3D image of the shoe is matched to the 3D image of the foot. Figure 5 depicts a block diagram of the method. [13,16]



- B** – footwear,
- OB₀** – a 3D image of the interior of the shoe in the room atmosphere
- OB_i** – a 3D image of the interior of the shoe in different conditions
- DT** – selecting the magnitude of fit tolerance,
- K** – the shoe last,
- OK** – a 3D picture of the shoe last,
- S** – a foot,
- OS_i** – a 3D image of the foot in different conditions,
- WS** – a 3D image of the foot (selection).
- OS** – a created 3D image of the foot,
- SDO** – a system of shoe fitting,

Figure 5 – A block diagram of the shoe fitting method

Particular stages of shoe fitting include:

Stage I – Receiving an image of the foot by scanning it with the use of a 3D scanner.

Scanning of the customer’s feet requires his/her presence. However, it is a one-time event (for adults). It is necessary for a company to create a database of customers’ feet which will be used during subsequent shopping.

Before scanning, the foot is exposed to different conditions:

WN – room atmosphere: temp. 20 °C, air humidity 30-50 %, scanning of both feet is necessary. In the event the left and the right foot are found different as regards their dimensions, it is necessary to carry out further tests for both feet,

KP – a steam “chamber”: temp. 30-45°C, air humidity 70-95 %, time: 10 min.,

KW – a water “chamber”: temp. 30-45°C, time: 10 min.,

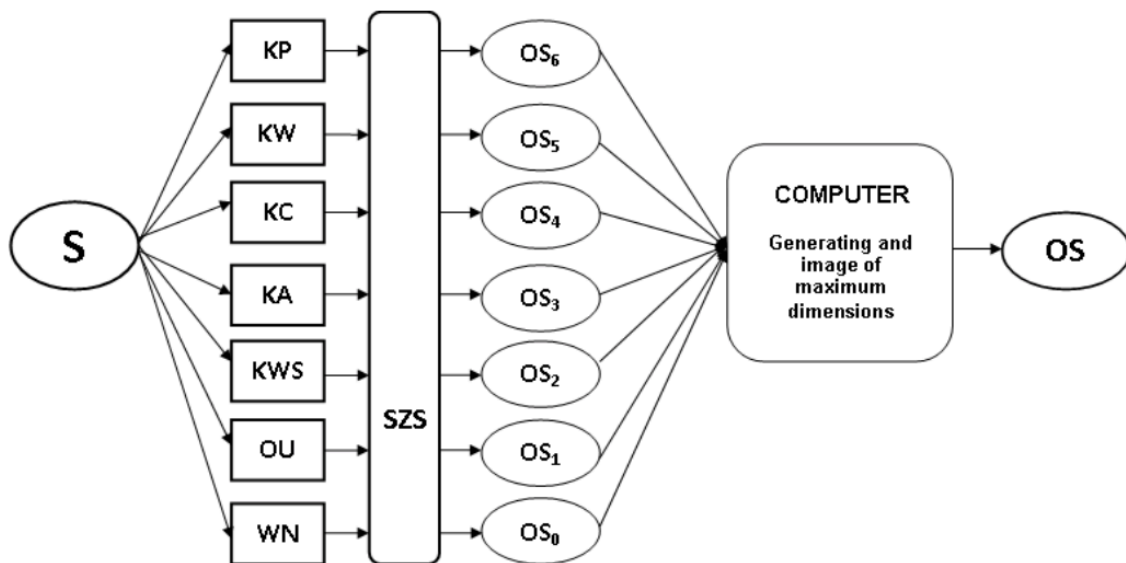
KC – a hot air “chamber”: temp. 40°C, humidity 30-50 %, time: up to 10 min.,

KA – cooling with liquid nitrogen vapour or dry ice: temp. from -50 to -140 °C, time 2-10 min.,

Kw – a water “chamber” + NaCl (water solution of NaCl – 10-100 g. NaCl /l): temp. 20°C, bath spinning, time: up to 10 min.,

OU – pressure massage (e.g. a BOA device) or a tourniquet, time up to 10 min. [14]

After each of the above influences a foot image is recorded (by means of a 3D scanner). In this way the database of customers' 3D foot images is created. (Fig. 6).



- S** – the foot, **KA** – a chamber with liquid nitrogen vapour, **KC** – a hot air chamber
KP – a steam chamber, **KW** – a water chamber, **KWS** – a water chamber +NaCl
OU – pressure massage (BOA), a tourniquet
WN – room atmosphere, **SZS** – external scanning of the foot
OS₀ – a 3D image of the foot – “room atmosphere”
OS₁ – a 3D image of the foot – “pressure massage”
OS₂ – a 3D image of the foot - “water chamber”
OS₃ – a 3D image of the foot - “a chamber with liquid nitrogen vapour”
OS₄ – a 3D image of the foot – “hot air chamber”
OS₅ – a 3D image of the foot – ”water chamber with salt”
OS₆ – a 3D image of the foot – “steam chamber”
OS – a generated 3D image of the foot

Figure 6 – Creating a 3D image of the foot

Depending on individual conditions, the system of shoe fitting is supplemented by 3D images of maximum dimensions as regards the foot length, the forefoot width, the heel width, the forefoot circumference and the circumference from under the arch to over the instep.

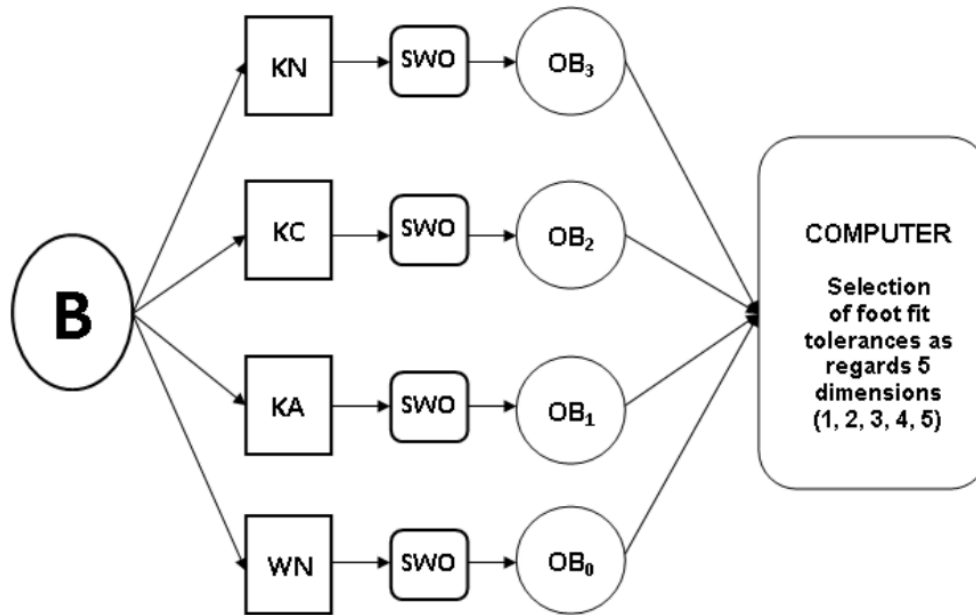
A possibility of individual selecting of influences on the foot which would be consistent with the end use parameters anticipated by the customer is put forward. In this way shoe fitting on subsequent occasions is facilitated. Changes in the foot dimensions are individual in nature and they depend on the age, health and weight of the shoe wearer, the foot size and layout, and conditions of use.

Stage II – Taking the image of the interior of the shoe by 3D scanning.

In order to receive the image of the interior of the shoe, 3D scanning for each model and size produced by a shoe manufacturer must be performed and the scans must be stored in the database.

Prior to scanning the footwear must be subjected to the following influences:

- **KN** – humidifying in the following conditions: humidity 70-95 %, temp. 20-40°C, time 5-30 min.,
- **KC** – a high temperature chamber: temp. 30-70°C, time 5-30 min.,
- **KA** – cooling with liquid nitrogen vapour or dry ice: temp. from -50 to -140°C, time 2-10 min.,
- **WN** – room atmosphere, temp. 20°C, humidity 30-50 % (Fig. 7).



B – footwear, **KA** – a chamber with liquid nitrogen vapour or dry ice
KC – a high temperature chamber, **KN** – a humidification chamber
WN – room atmosphere, **SWO** – scanning of the interior of the shoe
OB₀ – a 3D image of the foot “room atmosphere”
OB₁ – a 3D image of the foot - “a chamber with liquid nitrogen vapour”
OB₂ – a 3D image of the foot - “a high temperature chamber”
OB₃ – a 3D image of the foot - “a humidification chamber”

Figure 7 – Creating a 3D image of the interior of the shoe

Before scanning the interior of the shoe, a shoe manufacturer can precisely determine the conditions (temperature, time, humidity) in which footwear is going to work. The basic criteria here are:

- conditions in which shoes are going to be used,
- coercing maximum changes in a shoe dimensions (its interior).

The shoe manufacturer can choose one of the above mentioned ways as characteristic for the material and technological changes of a given shoe model.

Stage III – Receiving a 3D image of the shoe last (Fig.8)



K – the shoe last
SZK – external scanning of the last
OK – a 3D image of the shoe last

Figure 8 – Creating a 3D image of the shoe last

Apart from a 3D image of the interior of the shoe, the shoe last on which a given shoe was made is scanned. Before scanning, the shoe last is stored in room atmosphere (temp. 20 °C, humidity 30-50 %).

Stage IV – Computer program for fitting the shoe to the foot.

The 3D footwear image received in different conditions is the basis for determining the material and technological change indicators. On the other hand, the 3D images of the foot serve the purpose of determining the coefficients of the foot physiology changes. The knowledge of these indicators allows for proposing the values of the shoe to foot fit tolerances as regards the five basic dimensions of the foot.

Using the computer program we can adjust a 3D foot image to the image of the interior of the shoe model chosen by the customer in the best possible way. The shoe selection program takes into account physiological changes in the foot size resulting from different conditions (temperature, humidity, water baths) and material and technological changes in the shoes resulting from their use. Such a method of shoe fitting should be sufficient to secure a proper shoe purchase online.

Images of the interior of the shoe can be obtained, e.g. by use of the interior scanner Lava™C.O.S. (prod. 3M ESPE). [15]

The proposed method of fitting the shoe to the foot functions in the complex system of creating 3D images of the shoe and the foot. It offers a possibility of obtaining the real time image of the foot depending on its individual behaviour and reactions to external conditions determined by the age, sex and health. This method allows an individual selection of appropriate chambers (conditions) to measure the foot for each user ordering the shoes, takes properties of the materials used for particular footwear into consideration as well as the ways in which the elements of the shoe uppers are joined in a given place.

Variability in the shoe interior dimensions depending on the properties of the material and applied joints are also taken into account.

This method enables fitting the shoe size to the foot in an objective way ignoring the emotional factor which sometimes accompanies the client, especially when he/she is buying very attractive shoes. In many cases the wrong choice of footwear is the reason for further damage of the shoes, complaints and refund claims.

Creating a base of foot images obtained in the way described above and helping to choose the proper shoe size should result in a proposal to correct the sizes of shoe lasts. This should significantly facilitate shoe fitting to the customer's foot.

LITERATURE (BIBLIOGRAPHY)

1. www.encyklopedia.pwn.pl
2. www.convertworld.com (dated: 24.06.2013)
3. Patent US 1.725.334 (dated: 2.09.1929)
4. Patent US 4.931.773 (dated: 5.06.1990)
5. Patent US 5.014.041 (dated: 7.05.1991)
6. Patent US 5.084.988 (dated: 4.02.1992)
7. Patent US 5.659.395 (dated: 19.08.1997)
8. Patent US 6.192.593 (dated: 27.02.2001)
9. Patent US 6.550.149 (dated: 22.04.2003)
10. Patent US 6.975.232 (dated: 13.12.2005)
11. Patent US 7.114.260 (dated: 3.10.2006)
12. Patent US 7.293.370 (dated: 13.11.2007)
13. K. Śmiechowski, A. Miernik., J. Żarłok: Zgłoszenie patentowe nr P.405348 pt.: Sposób doboru rozmiaru obuwia zwłaszcza przy zakupie obuwia przez internet, nie wymagający bezpośredniego mierzenia obuwia (Patent Application No. P 405348 "A method of shoe fitting without the need for trying the shoes on, especially buying online")
14. www.domasazu.pl/aparat-boa-max-2.html
15. <http://solutions.3mpoland.pl/>
16. Śmiechowski K, Miernik A., Żarłok J., *Dopasowanie obuwia do stopy - koncepcja rozwiązania problemu*. Monografia pod redakcją Lidii Przyjemskiej, Bożeny Rajchel-Chyla i Joanny Alvarez, Obuwie: projektowanie i technologia wytwarzania. IPS Kraków 2014, 106-112

УДК 66.021.3+621.69

PROCESS INTENSIFICATION IN CHEMICAL ENGINEERING: PULSATIONS, VORTICES AND FLOWS IN MICROCHANNELS

Руфат Шовкетович Абиев
Rufat Sh. Abiev

*St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg, Russia
(e-mail: abiev.rufat@gmail.com)*

Abstract: Minimization of the costs with simultaneous increase of the raw materials and energy use efficiency is a challenge for the modern world. One of the most effective tools to solve this task is the use of Process intensification methods, known as first proposed by Ramshaw 1995 and then extended by Stankiewicz and Moulijn 2000. It is shown that some promising ideas of Process intensification were elaborated in 1950-60s in former USSR. In the presented review some principles of Process intensification in Chemical Engineering and their application for wide variety of processes is discussed. The role of Russian scientist with the background of research carried out in other countries.

Keywords: Process Intensification, pulsating apparatuses, microstructured apparatuses, supercritical fluids, vortices.

Some new challenges are emerging in the very rapidly changing world; among them are the efficiency of the used energy and natural resources. It has been postulated by Górak and Stankiewicz [1]: “With a growing population and an increasing awareness of the world’s unsustainable waste and use of energy and resources, the process industry must look towards making a structural change. To do so, Process Intensification (PI) will be essential. Process intensification is defined as a set of often radically innovative principles (“paradigm shifts”) in process and equipment design. Such principles can yield significant benefits in terms of process and chain efficiency, capital and operating expenses, quality, waste, process safety and more.”

The PI was an objective of many studies in former USSR already in 1960-70s, see e.g. a review [2]. Process Intensification in West Europe was determined first by Ramshaw in 1995 [3] as a ‘strategy for making dramatic reductions in the size of a chemical plant so as to reach a given production objective’. Ramshaw meant volume reduction about 100 or more, which is ‘quite a challenging number’ [4]. Later this definition was extended by Stankiewicz and Moulijn [4] as “Process intensification consists of the development of novel apparatuses and techniques that, compared to those commonly used today, are expected to bring dramatic improvements in manufacturing and processing, substantially decreasing equipment-size/production-capacity ratio, energy consumption, or waste production, and ultimately resulting in cheaper, sustainable technologies”.

They have also proposed a short definition: “any chemical engineering development that leads to a substantially smaller, cleaner, and more energy efficient technology is process intensification!” [4].

This paper is aimed to demonstrate the preferences and applications of pulsations, vortices and flows in microchannels in chemical equipment.

PROCESS INTENSIFICATION IN PULSATING APPARATUSES

One of the promising tools to increase output for such processes like emulsification, liquid-liquid extraction, gas-liquid and liquid-solid reactions is the use of extremely non-stationary (pulsating, oscillating) conditions. First of all, such non-stationary conditions allow to increase the interfacial area in heterogeneous systems due to increased effect on the phase contact area (local turbulence, Kelvin-Helmholtz, Rayleigh-Taylor instabilities, etc.). Then, due to the repeated perturbation the diffusional layers at the interfacial surface are always renovating, thus resulting in

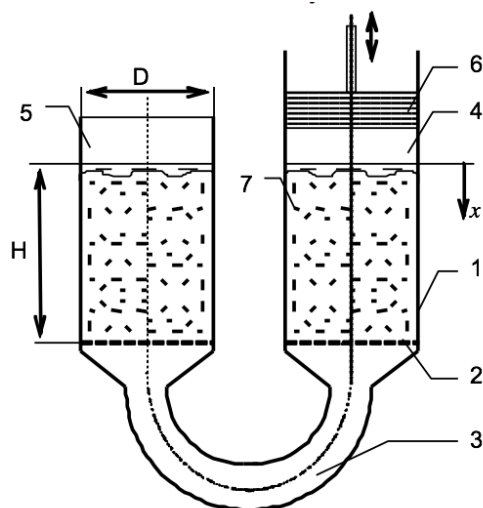
increase of mass transfer coefficients. This two effects lead to the overall increase of process throughput by use of pulsation.

Prof. Krishna group from Van't Hoff Institute for Molecular Sciences, Amsterdam has performed an experimental study of the influence of low-frequency vibrations, in the range of 60-400 Hz, on the rise of single air bubbles and slugs injected into two columns (of diameters 0.014 and 0.05 m), filled with liquids of varying densities (in the range 889-1381 kg m⁻³) and viscosities (in the range 0.48-1.4 Pa s). For a specified set of operating conditions the bubbles or slugs can be made to levitate, i.e. held stationary in the column. The height of the liquid, h , above the position at which the gas bubble is levitated was determined for a wide range of operating conditions (vibration frequency and amplitude, operating pressure, column diameter, liquid density and viscosity). The experimentally determined values of h are in good agreement with the theoretical model of Baird 1963. It was stated that 'The practical exploitation of bubble levitation phenomena will be the subject of follow-up investigations'. Interestingly, that such studies of bubble levitation phenomena was performed in the works of R.F. Ganiev and then in our papers (which were written in Russian and therefore have been 'invisible' for foreign readers) [5,6].

The process intensification by oscillations was recently proven also in TU Hamburg (group of Prof. F. Keil). Bubble columns equipped with a vibration exciter, which pulsates with a frequency between 40 and 400 Hz, showed significantly improved mass transfer rates. This results from a reduction of bubble size by cleavage, the associated increase in surface area and, additionally, an intensive movement at the bubble interface. The observed phenomena are explained based on flow simulations. The energy required for a oscillating bubble column is less than for a gassed stirred tank.

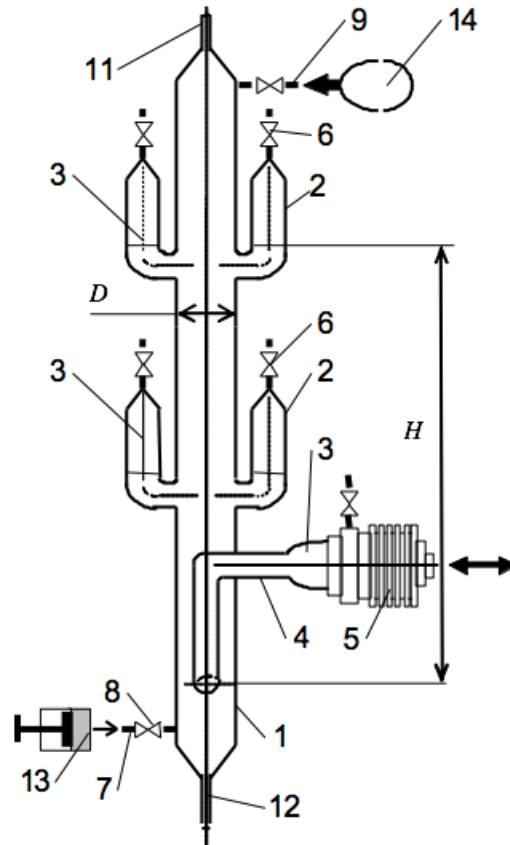
The issue is how to organize pulsations in the apparatuses, especially having industrial scales (at least 100 liter), without having any problem with the dynamic impact on the foundation bed of the apparatus. This and some other problems have been discussed in our recent papers. Some mathematical models of impregnation (penetration), extraction and leaching are performed by the group of St. Petersburg State Institute of Technology (see e.g. a review [2]).

Special U-shaped extractor for implementation of resonance pulsations in a sludge has been elaborated and its mathematical model is presented in Fig. 1. Industrial implementation of the ideas described above has been performed earlier. Modeling of extraction column was done by Abiev and Ostrovskii (Figure 2).



1 – cylindrical section; 2 – perforated bottom; 3 – connecting U-pipe; 4 – active 'elastic' element; 5 – passive 'elastic' element; 6 – the piston; 7 – particles.

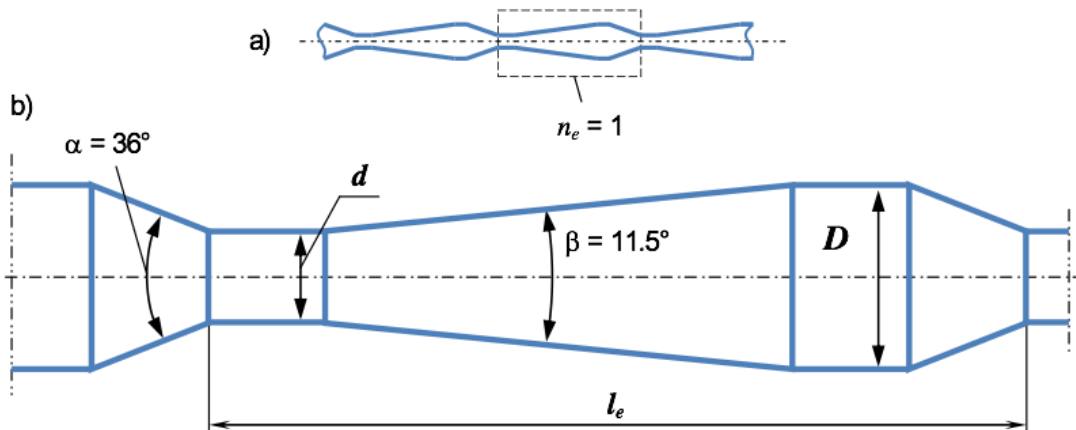
Figure 1 – Schematic of U-shaped extractor for implementation of resonance pulsations of solid-liquid system.



1 – glass body of column; 2, 4 – gas-filled ‘elastic’ elements; 3 – air; 5 – syphon; 6, 8, 10 – taps; 7, 9 – nipples; 11, 12 – drainage nipples.

Figure 2 – Diagram of three-section extraction column with coupled oscillation in sections.

Special attention attracts a type of pulsating apparatuses where the pulsation is created due to their periodical geometry. We have called such apparatuses as the Pulsating through-flow apparatuses (PFA) [7,8] (Fig. 3).



(a) longitudinal section of several elements of the apparatus; (b) longitudinal section and geometry of the PFA-element n_e .

Figure 3 – Schematic of pulsating flow type apparatus (PFA) [7,8].

Some special studies of resonance effects in chemical equipment were presented in some of our papers. It has been shown that resonance pulsations allow to increase the amplitude of pulsation at the same or at lower power consumption, thus increasing the mass transfer coefficient in liquid-gas, liquid-liquid, liquid-solid systems.

Seven general principles of process intensification by pulsations in chemical engineering and their implementation in processes of dispersion of droplets, mixing, dissolution, extraction, leaching, chemical reactions are discussed in. Resonance pulsations are recommended as one of the ways of crucial process intensification. It was shown that in pulsating apparatuses energy consumption is decreased several times compared with traditional chemical equipment, duration of processes is reduced from 3–4 to 38–48 times, with the yield augmented in 2–5 folds.

The list of principles of process intensification by pulsations in chemical engineering looks as follows.

First principle: Generation of resonance pulsations in a system ‘apparatus – liquid – particles’. This allows to minimize energy consumption and to increase the effect of energy transformation.

Second principle: Harmonization of time and spatial scales of impact on the heterogeneous system with their physical and physicochemical properties on all the levels:

- Mesoscale (apparatus) – smoothing of fields of temperature and concentration;
- Microscale (particles, bubbles, drops) – breaking up, interior mixing;
- Submicroscale (pores in particles).

Third principle: Energy transformation should be accomplished in the area closest to the area where the effective work must be done.

Fourth principle: Uniform distribution of impact on the volume/surface of particles, but not on the heterogeneous system.

Fifth principle: Turbulization of heterogeneous system should be minimized or even avoided in order to diminish energy loss.

Sixth principle: Turbulization of heterogeneous system should not be created purposely; it is essential to create controlled flows.

Seventh principle: Sustainable technologies! Minimization of environmental risk:

- reduction of dynamic load on the basement;
- decrease of raw materials loss;
- energy recycling (recuperation, including resonance energy transfer).

PROCESS INTENSIFICATION IN MICROSTRUCTURED CHEMICAL DEVICES

Miniaturization of chemical devices also belongs to the advantageous directions of research and design in chemical engineering [4].

In microstructured chemical devices due to their small lateral sizes the capillary and viscous forces dominate on the inertial and gravitational forces, thus determining the structure of the flows. In the past two-three decades throughout the world micro and minireactors are actively investigated as a potential replacement of conventional devices. The use of micro and mini technologies can improve the quality of end products, reducing energy and resource consumption, increase the manufacturing mobility and the possibility of its rapid readjusting to produce other products. Micro- and minireactors can reduce the space occupied by the plant, making it safer and more environmental friendly.

Mini and micro pumps, mixers, heat exchangers, reactors, extractors and valves are already developed and produced in small series. Cross section dimension of such equipment is usually in the range between 10 μm and 3 mm. It was proposed to distinguish between micro and mini scale in some articles. Boundary between them is considered to be about 100 μm . Upper boundary of miniscale according to several authors is in the range between 1 mm and 5.4 mm. A physically based limit for miniscale size of the pipes could be attributed to the Bond number

$$Bo = \frac{\Delta\rho g D^2}{\sigma} \quad (1)$$

Imposing the balance between gravitational and capillary forces, (in some papers Eötvös number is used instead) corresponding to the critical value of $Bo = 4$, from which the upper limit of minichannels diameter follows:

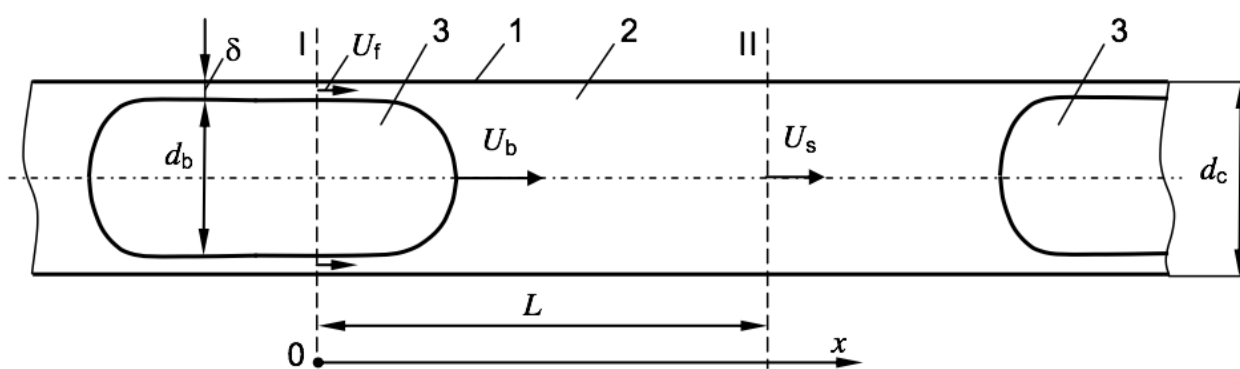
$$D_{crit} = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta\rho g}} \quad (2)$$

Microreactors can be competitive for the conducting fast reactions, when mass transfer limits a reaction rate, as well as when heat transfer is a crucial factor, when it is necessary to remove quickly heat from the reactants. It is possible due to unusually high values of heat and mass transfer in microreactors, which could be up to two orders of magnitude higher than in conventional types of reactors. Another significant advantage of microreactors is a very narrow residence time distribution that can substantially reduce the formation of byproducts in the consecutive reactions. Microreactors are used for the reactions in mixtures of gases as well as in gas-liquid, liquid-liquid, systems and more recently for the synthesis of ionic liquids. One of the new trends in micro technology is a combination of flow in microchannels with the imposition of additional fields, for instance, ultrasound or microwaves.

In terms of design microreactors can be divided into single- and multichannel ones. One of the types of multichannel microreactors are so-called monolithic reactors with catalyst of honeycomb structure, representing a block of parallel channels with hydraulic diameter in the range between 0.3 mm and 3.1 mm, with an active catalyst covered on their inner surface. But so far the main application of such reactors is gas-liquid catalytic reactions.

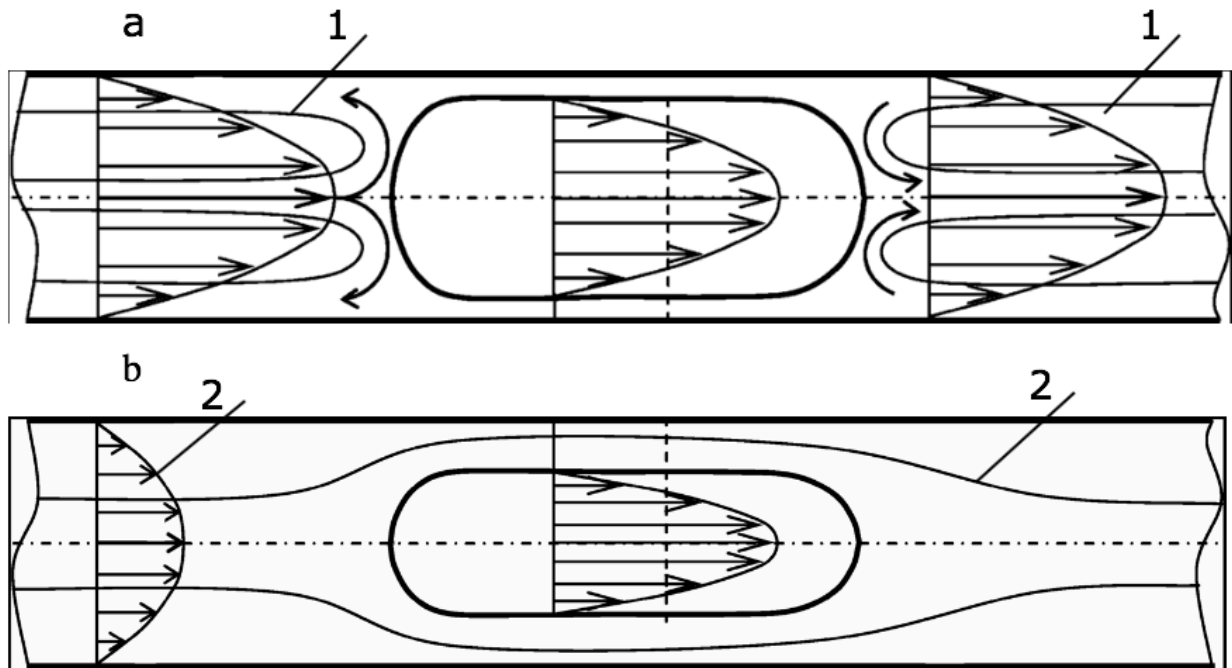
Most favorable regime for conducting gas-liquid catalytic reactions is a slug flow (Fig. 4). Gas-liquid slug flow regime is a consecutive flow of gas bubbles separated one from the other by liquid slugs. The advantages of this regime are a good mixing inside the liquid slug due to the so-called Taylor vortices (Fig. 5), as well as short diffusion path for gas molecules penetrating through the liquid film between the bubble and the wall of the catalyst.

Process equipment containing multiple small parallel channels has gained increasing attention within the past decades in industry and academia due to its potential to intensify processes by enhancing heat and mass transfer or by more precisely controlling contact times. Several processes have been successfully realised such as chemical or biocatalytic reactions, extractions and absorptions.



1 – microchannel; 2 – liquid slug (continuous phase); 3 – gas bubbles (or droplets of dispersed phase); I, II – cross-sections for continuity equation building.

Figure 4 – Geometry of two-phase Taylor flow.



1 – Taylor circulations streamlines; 2 – velocity profiles; 3 – by-pass streamlines.

Figure 5 – Circulation flow mode (a) and by-pass flow mode (b) of Taylor flow in microchannel.

The extraordinary heat and mass transfer capacity results from the high surface-to-volume ratios within these devices as well as from a microfluidic flow regime – Taylor flow. This regime is characterised by a flow of two immiscible fluids in separate compartments and offers large interfacial areas, short diffusion distances, internal circulation vortices, and nearly plug flow behaviour. Further literature reviews on hydrodynamics in micro and minichannels.

Another interesting application of Taylor Gas-Liquid (Vapor-Liquid) flows are closed loop pulsating heat pipes (CLPHP). Interestingly that one of the two main types of flow is slug flow (the other is annular flow), containing liquid slug and gas-vapor bubbles. Extended reviews of hydrodynamics and mass transfer in two-phase Taylor flow in microchannels were presented recently.

Here a simplified model of Taylor flow hydrodynamics is presented.

One of the first classical works that study the flow of a gas-liquid mixture in a capillary was performed by Taylor in 1961. At the same time, Bretherton published a paper in which the hydrodynamic theory of lubrication was used to solve the problem describing the effect of the flow on the thickness of the liquid film around the bubble. A modified Bretherton equation, which can be used for a wider range of the capillary number, $Ca < 1$, was obtained by Aussillous and Quéré.

The slug flow of a gas-liquid mixture was theoretically described for a pipe with dead ends when the rise of the bubble is caused by gravity and the liquid displaced by the bubble flows downward and a flow through capillary.

Some regularities derived by the theory were in one or another way supported by experimental results or numerical simulation. Phenomena observed in experiments have been systematically theoretically described in the papers of Kreutzer, by some other groups (e.g. group of R. Krishna, group of J. Schouten) and partly also by our team.

Non-circular channels were in the focus of several papers of Thulasidas et al., Triplett et al., Wörner et al., Fletcher et al.

Using the mass conservation law for the control volume, a general continuity equation was derived:

$$\frac{\partial(\rho_i \varepsilon_i)}{\partial t} + \mathbf{div}(\rho_i \alpha_i u_i) = q_{v_i} \quad (3)$$

where the volume fraction ε_i of phase “ i ” is not equal to the fraction of the area α_i occupied by the same phase i on the surface of the control volume of the multiphase mixture V (that is, the surface fraction of phase i):

$$\alpha_i = \frac{S_i}{S} \quad (4)$$

i.e. $\varepsilon_i \neq \alpha_i$.

Let us separate out a control volume bounded by two sections I and II that are immobile relative to the capillary. At a given instant of time, one of these sections passes through the cylindrical portion of the bubble or drop (from here on, the particle of the dispersed phase will be called a bubble for definiteness) and the other section passes through the liquid slug at a sufficient distance from the ends of bubbles (Figure 4).

Let the x axis be directed along the flow of the mixture and section I be taken as its origin. As was shown in, the radial distribution of the velocity in the bubble is not uniform, which is attributed to the action of the shear stresses at its surface. It is also known from Taylor, Taha and Cui, Van Baten and Krishna that the flow in the slug can be circulatory.

For the bubble, we have

$$q_2(x = 0) \equiv q_b = \int_{A_b} u_2 dA_b = 2\pi \int_0^{R_b} u_2(r) r dr, \quad (5a)$$

$$U_2(x = 0) \equiv U_b = q_b/A_b; \quad (5b)$$

for the liquid film around the bubble, we obtain

$$q_1(x = 0) \equiv q_f = \int_{A_f} u_1 dA_f = 2\pi \int_{R_b}^R u_1(r) r dr, \quad (6a)$$

$$U_1(x = 0) \equiv U_f = q_f/A_f; \quad (6b)$$

for the liquid slug, we can write

$$q_1(x = L) \equiv q_s = \int_{A_s} u_1 dA_s = 2\pi \int_0^R u_1(r) r dr, \quad (7a)$$

$$U_1(x = L) \equiv U_s = q_s/A_s; \quad (7b)$$

From continuity equation it was derived

$$U_f A_f + U_b A_b = U_s A_s, \quad (8)$$

or

$$q_f + q_b = q_s. \quad (9)$$

For moderate values of capillary and Weber numbers the experimental data are best fitted by the Aussillous and Quéré equation:

$$\frac{\delta}{R} = \frac{1.34 \cdot Ca^{2/3}}{1 + 3.35 \cdot Ca^{2/3}}. \quad (10)$$

For higher Weber and Reynolds numbers the equation of Han and Shikazono is available which is applicable for extended range of parameters.

The final expressions for the distributions of velocities are written below:

- the velocity profile in the liquid film is given by

$$u_1(r) = E_1(R^2 - r^2) - C_1 \ln\left(\frac{R}{r}\right), \quad (11)$$

- the velocity profile in the dispersed phase (bubble or drop)

$$u_2(r) = E_1(R^2 - R_b^2) + E_2(R_b^2 - r^2) - C_1 \ln\left(\frac{R}{R_b}\right), \quad (12)$$

The final expressions for the distribution of shear stresses are written below:

- the stress profile in the liquid film around the bubble is given by

$$\tau_1(r) = \mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial r} = \mu_1 \left(-2E_1 r + \frac{C_1}{r} \right), \quad (13)$$

- the stress profile in the dispersed phase (bubble or drop) is written as

$$\tau_2(r) = \mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial r} = -2\mu_2 E_2 r. \quad (14)$$

where

$$E_1 = \frac{g'_1}{4\nu_1} = \frac{1}{4\nu_1} \left(g_x - \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p}{\partial x} \right); \quad C_1 = (\rho_1 - \rho_2) g_x \frac{R_b^2}{2\mu_1}; \quad E_2 = \frac{g'_2}{4\nu_2} = \frac{1}{4\nu_2} \left(g_x - \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (15)$$

The instantaneous flow rates of the liquid were found by integrating velocity profile:

- in the film q_f

$$\begin{aligned} q_f &= 2\pi \int_{R_b}^R u_1(r) r dr = \pi R^2 \left[E_1 \frac{R^2}{2} - \frac{C_1}{2} \right] - \pi R_b^2 \left[E_1 \left(R^2 - \frac{R_b^2}{2} \right) - C_1 \left(\ln \left(\frac{R}{R_b} \right) + \frac{1}{2} \right) \right] = \\ &= \frac{\pi}{8\nu_1} \left(g_x - \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p}{\partial x} \right) (R^2 - R_b^2) - \pi C_1 \left(\frac{R^2 - R_b^2}{2} - R_b^2 \ln \left(\frac{R}{R_b} \right) \right) \end{aligned} \quad (16)$$

- of the gas carried by the bubble

$$\begin{aligned} q_b &= 2\pi \int_0^{R_b} u_2(r) r dr = \pi R_b^2 \left[E_1 (R^2 - R_b^2) - C_1 \ln \left(\frac{R}{R_b} \right) + E_2 \frac{R_b^2}{2} \right] = \\ &= \frac{\pi}{4} g_x \left[\frac{R_b^2 (R^2 - R_b^2)}{\nu_1} + \frac{R_b^4}{2\nu_2} \right] - \frac{\pi}{4} \frac{\partial p}{\partial x} \left[\frac{R_b^2 (R^2 - R_b^2)}{\mu_1} + \frac{R_b^4}{2\mu_2} \right] - \pi C_1 R_b^2 \ln \left(\frac{R}{R_b} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

After simple algebraic manipulations with Eqs. (9), (16), and (17), the pressure gradient in the film and, hence, along the bubble axis was derived:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{(G_2 - G_3)g_x - q_s}{G_1}, \quad (18)$$

where the symbols are defined by equations:

$$G_1 = \frac{\pi}{8} \left[\frac{R^4 - R_b^2}{\mu_1} + \frac{R_b^4}{\mu_2} \right], \quad G_2 = \frac{\pi}{8} \left[\frac{R^4 - R_b^2}{\nu_1} + \frac{R_b^4}{\nu_2} \right], \quad G_3 = \frac{\pi}{4} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\mu_1} R_b^2 (R^2 - R_b^2) \quad (19)$$

Three-layer mass transfer model has been proposed in [9]. The main idea of three-layer mass transfer model is based on the structure of the toroidal Taylor vortex existing in the slugs. Due to convection dominating over diffusion in the Taylor vortex the main mass flux is defined by the circulation velocity in this vortex. The name ‘three-layer’ comes from number of layers in this structure: first layer is inner layer (having cylinder shape) of the toroidal vortex, the second layer is outer annular layer of the toroidal vortex and the third layer is the slow (almost stagnant) film around the toroidal vortex which is not involved in the circulation. In order to crucially simplify the mathematical modeling the structure of Taylor vortex was presented as quasi-1D: the vortex was ‘unwrapped’ to the linear structure one part of which corresponds to the first layer and the second part mimics the second layer of the original vortex. This second part has diffusional contact with third layer, i.e. with the slow film, the latter is contacting with the capillary wall.

The main mass transfer within the first and second layers takes place due to convection and could be described with transient convection equation. In the third layer mass transfer is described by diffusion only.

The task of mass transfer calculation consists from following steps: 1) determination of three-layer geometry: radii of vortex’ layers, thickness of the slow film; 2) solution of coupled diffusion and convection equations in all the linear layers simultaneously.

Main geometrical characteristics of the slug flow are calculated (vortex center radius R_0 and radius R_1 of surface separating the transition film flow from the circulation flow), equations for dimensional and dimensionless circulation times as well as average velocities in all three layers are derived. Dependence on the length of the slug L_s , related to the diameter d_c of capillary is taken into account.

Generalized equation of R_0/R ratio is proposed in [9] to calculate as

$$R_0/R = \sqrt{\frac{2 - \eta(Ca)}{2} + a \exp\left(-b \frac{L_s}{d}\right)}, \quad (20)$$

where $a \approx 0.34$, $b \approx 4.86$ and $\eta = \eta(Ca)$ could be calculated either by Liu et al. equation or more precisely by the method described above.

The radius R_1 of film-vortex interface is determined by equation obtained by Thulasidas et al.:

$$R_1 = R\sqrt{2 - \eta}. \quad (21)$$

It is worthwhile to mention that only for $Ca < Ca_{cr}$ there are Taylor vortices, whereas for $Ca > Ca_{cr}$ the flow changes to by-pass around the bubbles. It was shown that critical value of capillary number depends on modified Bond number

$$Bo = \frac{\rho_1 d^2 g \cos \gamma}{\sigma}. \quad (22)$$

Geometrical properties of slug flow and mass fluxes are shown on Fig. 11, general scheme of three layer mass transfer model is presented on Fig. 6.

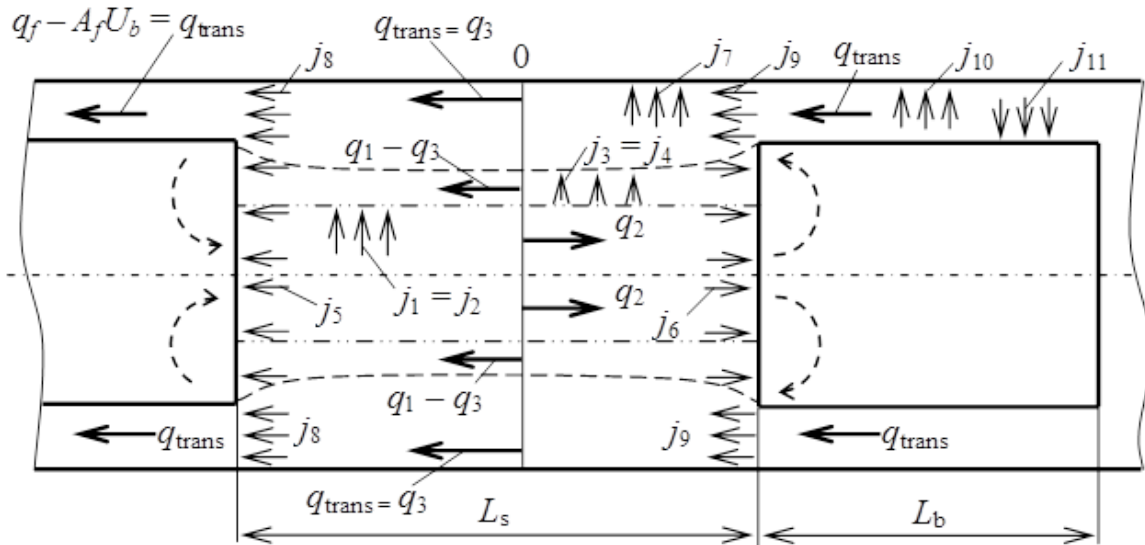


Figure 6 – Geometrical properties of slug flow and mass fluxes for three-layer mass transfer model [9].

PROCESS INTENSIFICATION BY USE OF INTENSIVE VORTICES

High-velocity vortices allow to intensify performance of several hydrodynamics processes like dispersion of gas bubbles and liquid droplets (emulsification), deagglomeration of nanoparticles, mixing, foaming, mass transfer processes like deoxidation of water, gas-liquid reactions, liquid extraction, rapid dissolution, saturation of porous particles etc.

One of the most efficient vortex apparatuses – vortex jet apparatus (VJA) [10] was proposed for the processes listed above. A distinctive feature of VJA is acceleration of swirled flow in the throat of VJA which results in much higher tangential and axial velocities in the throat area. According to the energy conservation law (Bernoulli equation) the pressure in the throat decreases crucially down to the saturation vapor pressure resulting in cavitation bubbles generation for closed VJA system (Fig. 7a) or for the suction of gas/second liquid for open VJA system (Fig. 7b).

The main feature of the vortex jet apparatus (VJA) [10] (Fig. 7) compared with conventional axial jet devices (ejectors) is that a workflow is fed into tangential inlet 5, whereby the flow is swirled. Moving from the cylindrical zone 2 in the tapered region of a confuser, adjacent to the neck 3, the radius of rotation of the workflow is reduced resulting in increase of the angular velocity as well as the increase of the tangential component of velocity. In addition, due to the tapering shape of the confuser 2 the axial component of velocity at the neck 3 also reaches its maximum. Thus, in the entrance to the neck, axial and circumferential components of the fluid velocity have a maximum value. As a result, the kinetic energy of the flow increases in VJA more rapidly compared to the conventional jet devices (ejectors). Indeed, the specific kinetic energy in a conventional jet devices consists of only the axial velocity component w_a (see Fig. 7) $E_{k,eject} = \rho w_a^2 / 2$. In a vortex jet apparatus, due to the tangential feed of the active flow, in addition to the axial velocity component w_a a tangential velocity component w_ϕ also acts, therefore the specific kinetic energy in the VJA contains both translator and rotational terms as follows: $E_{k,VJA} = \rho(w_a^2 + w_\phi^2) / 2$. Hence the higher is tangential velocity, the larger is difference between specific kinetic energy for VJA, e.g. at typical for water in real VJA values $w_a = 5.46$ m/s, $w_\phi = 22.38$ m/s and for usual ejector with a straight active phase supply ($w_a = 5.46$ m/s) we found $E_{k,VJA} = 260.2$ kPa $E_{k,eject} = 9.8$ kPa.

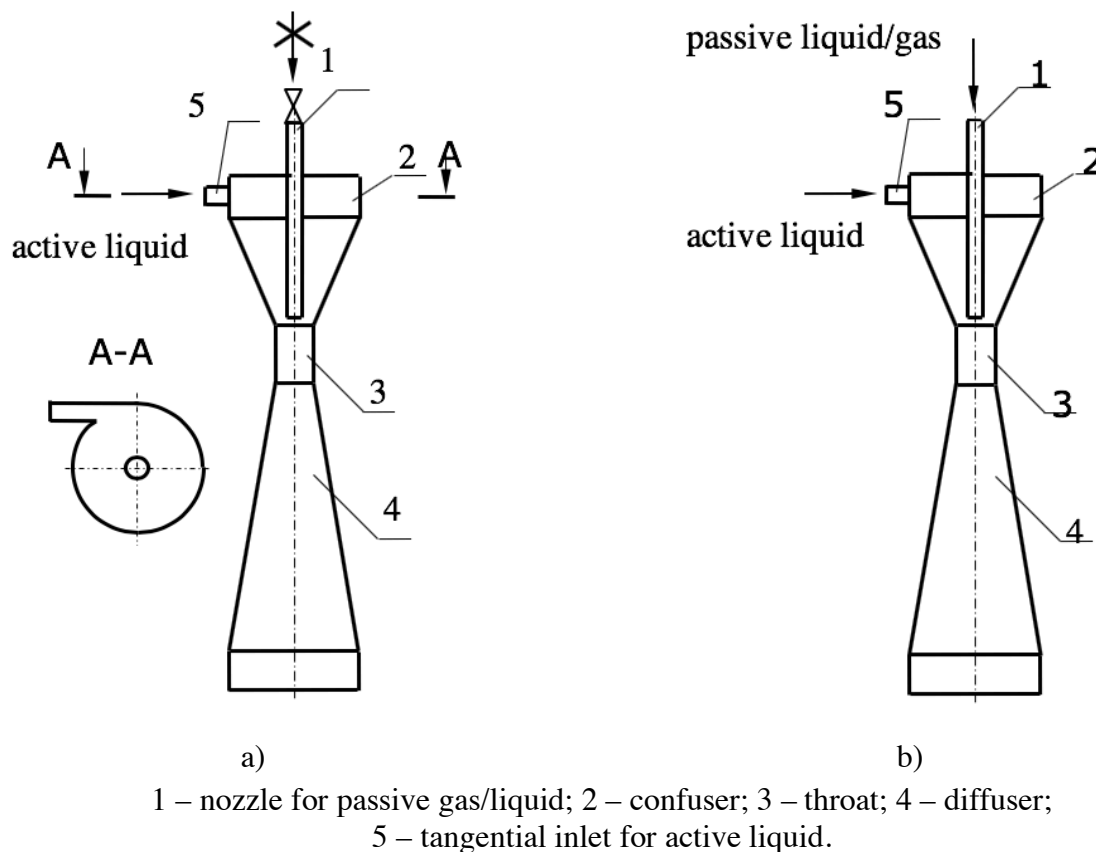


Figure 7 – Schematic of vortex jet apparatus with closed system having only active liquid inflow (a) and with open system having both active liquid and passive gas/second liquid inflows (b).

VJA has demonstrated better performance compared to the ultrasound treatment of carbon nanotubes clusters [10].

Recent studies of VJA as a tool to generate foam for foam concrete production have shown perfect qualities both of the produced foam and the foam concrete prepared by use of this foam.

Modern industry, including chemical production, has to be reconstructed to comply with the demands of ecology and economics according to the roadmap [1].

Process intensification is an effective tool to implement the goals of this roadmap, as it was shown in this review for several processes of Chemical Engineering, performed in a wide variety of apparatuses – mixers, rotor-stator devices, pulsating apparatuses, microstructured chemical devices, apparatuses for supercritical fluids processing, heat exchangers, separating columns.

The role of Russian scientists' research in this field, as a part of the world research community, was emphasized.

Evidently, the level of research results is high enough already to be sure, that the methods described in this review could be transferred to the industrial scale bringing the benefits both for industry and society.

It is worth noting that many ideas proposed 20-30 years ago and even earlier, have attracted more attention in the past two decades and are quite widely used in industry. This concerns the rotor-stator mixers (Silverson company is one of the prominent examples), pulsating apparatuses (licenses to use patents were bought by 5 Russian pharmaceutical and chemical companies), microreactors and micro heat exchangers are promising devices implemented by both pharma and fine chemical synthesis companies over the world. Finally, the modern separating columns (Hybrid Separators and Multifunctional Reactors) could be mentioned as a tool dramatically reducing the equipment-size/production-volume ratio, which is highly demanded in new plant projects.

Summing up, one can ascertain that many ideas and dreams of Ramshaw 1995 as well as Stankiewicz and Moulijn 2000 to make the Chemical Industry world cleaner, safer, sustainable and energy efficient have found their implementation, at least in lab and pilot scale, and many of them have also been realized at industrial scale.

REFERENCES

1. Górak A., Stankiewicz A., editors. Research Agenda for Process Intensification: Towards a Sustainable World of 2050. Institute for Sustainable Process Technology, Amersfoort 2011. www.ispt.eu/media/DSD_Research_Agenda.pdf
2. Abiev R.S. Process intensification in chemical engineering: general trends and Russian contribution. *Rev. Chem. Eng.* 2019 (in press). doi.org/10.1515/revce-2018-0040
3. Ramshaw C. The Incentive for Process Intensification," *Proceedings, 1st Intl. Conf. Proc. Intensif. for Chem. Ind.*, **18**, BHR Group, London, 1995, p. 1.
4. Stankiewicz A.I., Moulijn J.A. Process Intensification: Transforming Chemical Engineering. *Chem. Eng. Progr.* 2000, pp. 22-34.
5. Abiev RS. Investigation of suspension oscillation and mass transfer in a pulsating resonance apparatus. *Russ J Appl Chem* 1993; 66: 2236-2240 (in Russian).
6. Abiev RS. Simulation of Nonlinear Liquid Oscillations in the Pulsation Apparatus of Variable Cross Section Using a One-Dimensional Model. *Theor Found Chem Eng* 2017a; 51: 52–64.
7. Abiev RSh, Galushko AS. Hydrodynamics of pulsating flow type apparatus: simulation and experiments. *Chem Eng J* 2013; 229: 285–295.
8. Abiev RSh, Vasilev MP. Pulsating flow type apparatus: Energy dissipation rate and droplets dispersion. *Chem Eng Res Des* 2016; 108: 101-108.
9. Abiev, R.S. Bubbles velocity, Taylor circulation rate and mass transfer model for slug flow in milli and micro channels. *Chem. Eng. J.* 2013 (227) 66-79.
10. Vasilev M. P.; Abiev R. S. Dispersion of carbon nanotubes clusters in pulsating and vortex in-line apparatuses. *Chem. Eng. Sci.*, 2017, V. 171, p. 204–217.

УДК

**ЭНЕРГЕТИКА, ХИМИЗАЦИЯ И ГРАЖДАНСКОЕ ОБЩЕСТВО – ВЫЗОВЫ
НОВОГО ВРЕМЕНИ**
ENERGY, CHEMICALS AND CIVIL SOCIETY ARE CHALLENGES OF THE NEW ERA

Валерий Вениаминович Бабкин
Valery V. Babkin

Международный институт проблем химизации современной экономики, Россия, Москва
International Institute of Chemicalization Problems of the Modern Economy, Russia, Moscow
(e-mail: bvv@amerop.ru)

Аннотация: Анализируется ситуация с мировой энергетикой, определяются общие принципы программы предупреждения катаклизмов, включая контуры плана предстоящей работы практически во всех отраслях национальной экономики. Проводятся параллели между энергетикой и химизацией, заостряется внимание на глубокой взаимосвязи и неразделимости важнейших секторов промышленного потенциала страны. Приводятся положения концепции стратегии химизации экономики России, рассматривается влияние высоких переделов сырья на энергоёмкость ВВП России.

Abstract: The situation with the global energy sector is analyzed, the general principles of the cataclysm prevention program are determined, including the contours of the plan for forthcoming work in almost all sectors of the national economy. Parallels are drawn between energy and chemicalization, focuses on the deep interconnection and inseparability of the most important sectors of the country's industrial potential. The provisions of the concept of the chemicalization strategy of the Russian economy are presented, the influence of high redistribution of raw materials on the energy intensity of Russia's GDP is considered.

Ключевые слова: мировая энергетика, концепция стратегии химизации экономики России, высокие переделы сырья, энергопользование и энергоёмкость, вторичные энергоресурсы.

Keywords: world energy, the concept of the strategy of chemicalization of the Russian economy, high redistribution of raw materials, energy use and energy intensity, secondary energy resources.

В настоящее время в Ассоциации «Энергетика и гражданское общество» ведется интенсивная подготовка к Московскому Форуму «Мировой энергетический баланс будущего и перспективы природного газа - XXI век» при этом его участники отдают себе отчет, что необходимо провести не только глубокий анализ ожидающий нас ситуации с мировой энергетикой, но и в целом определить общие принципы программы предупреждения предстоящих катаклизмов, включая контуры плана предстоящей работы практически во всех отраслях национальной экономики. Авторы настоящего сообщения не являются энергетиками по профессии, они химики со стажем более 55 лет на руководящих должностях в химической промышленности, что позволило им провести не только параллели между энергетикой и химизацией, но также заострить внимание на глубокую взаимосвязь и неразделимость этих важнейших секторов промышленного потенциала страны, что по существу делается впервые в ходе стратегического планирования и прогнозирования.

Для начала проведем короткий теоретический экскурс:

Поскольку перенос четырех электронов от воды для фиксации одной молекулы двуокиси углерода требует не менее восьми квантов света, теоретическая эффективность связывания равна $2,7:8 \times 100 = 33\%$. Эти расчеты сделаны для красного света; ясно, что для белого света эта величина будет соответственно ниже. В наилучших полевых условиях эффективность фиксации в растениях достигает 3%, однако это

возможно лишь в короткие периоды роста и, если пересчитать ее на весь год, то она будет где-то между 1 и 3%.

На практике в среднем за год эффективность фотосинтетического преобразования энергии в зонах с умеренным климатом составляет обычно 0,5–1,3%, а для субтропических культур – 0,5–2,5%

Растения – уникальные приемники и преобразователи лучистой энергии. Они поглощают ее, трансформируют в потенциальную энергию химических связей и в конечном счете образуют биомассу, которая участвует в естественном круговороте веществ и потребляется живыми существами, в том числе и человеком. Применение минеральных удобрений повышает эффективность фотосинтетического преобразования энергии. Поэтому именно растения К. А. Тимирязев считал истинными нашими кормильцами, подчеркивая, что живая сила световых волн, так сказать, слагается в запас в растении, и этим запасом человек пользуется в топках своих машин, в организме своих домашних животных, в своем собственном теле. Но в процессе фотосинтеза зеленый покров планеты выделяет еще и свободный кислород, столь необходимый всему живому.

Его не зря называют легкими планеты – ведь только зелёный покров выделяет кислород. Эта проблема с развитием техносферы существенно обостряется. «При современном топливном балансе, – как справедливо отмечал ещё академик АН СССР А. П. Александров, потребление кислорода на сжигание топлива примерно в 5 раз превосходит потребление кислорода всем человечеством Земли. На территориях многих промышленных стран воспроизводство кислорода в процессе фотосинтеза уже в несколько раз ниже, чем его потребление, и эти страны могут существовать только за счет притока кислорода из экваториальных районов и от океанов, где производство кислорода в результате фотосинтеза намного превышает его потребление». Яркий пример тому – всем набившие оскомину США. Эта крупнейшая капиталистическая держава, расходуя кислорода в полтора раза больше, чем дает его Североамериканский континент, давно находится в долгу перед другими регионами мира. Взамен США исправно «поставляют» соседним странам загрязняющие атмосферу промышленные выбросы и кислотные дожди. Экология еще раз подтверждает тот непреложный факт, что капитализм по самой своей природе может существовать лишь за счет присвоения чужого.

Однако нехватка кислорода в ряде районов земного шара – лишь один из симптомов той общей опасной болезни, от которой страдает современная цивилизация. Сейчас человек вовлекает в хозяйственный оборот почти всю живую и неживую материю. Масштабы его вмешательства колоссальные. Значит, столь же велики и последствия. Развивая традиционную энергетику и в целом техносферу, мы оказываем прогрессирующее антропогенное воздействие на окружающую среду, в результате чего нарушается природное равновесие, рвутся эволюционные связи, возникают диспропорции, снижается эффективность фотосинтеза, уменьшается коэффициент использования солнечной радиации.

Теперь снова вернемся практике.

Нами три года назад был основан Международный институт проблем химизации современной экономики (МИПХСЭ), который объединяет 165 крупных ученых и специалистов в области химии, нефтехимии и сопредельных отраслях, который подготовил серьёзные обоснования для корректировки действующей в настоящее время «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса России на период до 2030 года», разработанной по заданию Минпромторга и Минэнерго без какого либо конкурса некоей кампанией СПГ не имевшей в своем составе ни одного специалиста по указанной теме и конечно тяготеющей к экспортно-сырьевой модели экономики. Эта стратегия даже при достижении всех, предусмотренных ею целевых показателей не только не обеспечивает

продовольственную безопасность страны, но и смещает Россию по степени химизации экономики до уровня самых отсталых стран Африканского континента.

Показатель	США	Россия
<i>Добыча нефти</i>	3,24 млрд. бар.	3,76 млрд. бар.
<i>Добыча газа</i>	751,1 млрд. м ³	642,2 млрд. м ³
<i>Количество ГПЗ</i>	531	43
<i>Мощность ГПЗ</i>	570 млрд м ³	100 млрд м ³
<i>Количество извлекаемых из газа ценных компонентов углеводородов (C₂-C₅ и газовый бензин)</i>	80 млн тн	18 млн тн
<i>Производство полимеров</i>	26 185 тыс. тн	7 730 тыс. тн

Примечание: при ликвидации потерь фракции C₂- C₅ в России в объеме 39,8 млн тн можно было бы ожидать производство 57,8 млн тн, что отвечает различиям в составе исходного сырья США и России.

Рисунок 1 – Сравнительные данные по переработке сырых углеводородов за 2016 г.

Вот самый свежий пример. В 2018 г. в России произведено 22 млн. т. азотных удобрений из них 13 млн. т. преодолев серьёзную конкуренцию со стороны Китая, отправили на экспорт, где они внесли дополнительный вклад в создание профицита на мировом рынке этой продукции начального передела с низкой добавленной стоимостью. По существу, это замаскированная торговля природным газом, которая рано или позже будет осуждена российским сообществом, а пока Минпромторг якобы снижает долю нефтегазовых доходов бюджета и его инициатива приветствуется (**Рис.1**).

Так построена и действует стратегия Минпромторга. Здесь вполне уместно обращение к уважаемому Министерству серьёзно откорректировать стратегию в целях достижения к 2030г. более высокой степени химизации экономики (хотя бы до уровня 6,2 %) за счёт перехода к высоким переделам углеводородного сырья и других минеральных ресурсов.

Если подняться на высоту рассматриваемой проблемы ,то:

Во- первых говоря «О переходе к новому энергетическому миропорядку» речь, по существу должна идти «О глобальной перестройке всей энергетической базы, формировании новых мировоззренческих основ энергопользования и прозрачности управления энергоресурсами, отвечающего требованиям гражданского общества по повышению качества жизни мирового сообщества ».

Во-вторых, в фундаментальном труде МСИПХСЭ «Концепция стратегии химизации экономики России» есть ответ на запрос о **растущей потребности в дешевой, чистой, гибкой и удобной энергии.**

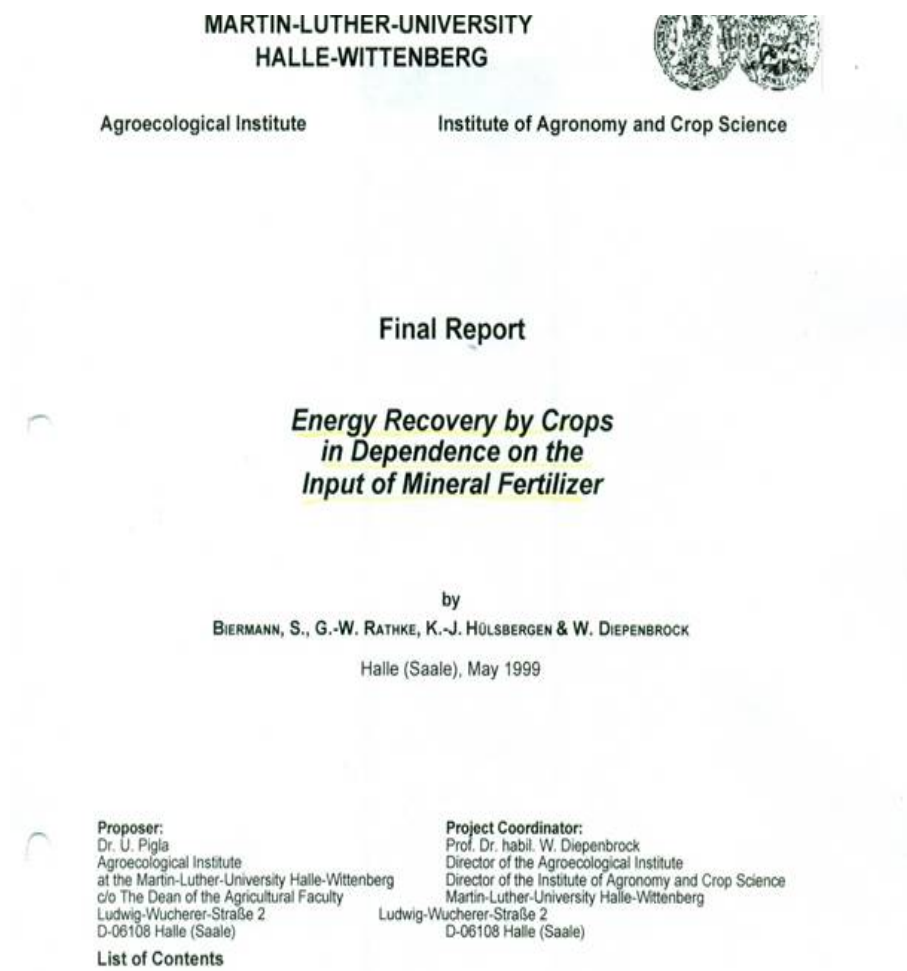


Рисунок 2 – Титульный лист отчёта

В разработанной нашим институтом указанной Концепции есть ссылка на труды академика АН СССР С.И.Вольфовича, который расчётами показал, что: «Применение минеральных удобрений позволяет за счёт интенсификации фотосинтеза растений позволяет увеличить КПД использования солнечной энергии (а это и есть самая чистая энергия) с 0,5-2,0 до 3-5 %, теоретически до 5,1%». Поскольку это утверждение уважаемого академика звучит несколько абстрактно и трудно воспринимается на слух, приведем несколько цифр из Заключительного отчёта Агрэкологического и Агрономического институтов, работающих под эгидой Die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (**Рис.2**).

В данном отчёте сравниваются сумма всех прямых и косвенных затрат энергии, необходимых для посева семян озимой пшеницы и сахарной свёклы, в зависимости от дозы внесённых удобрений (всего 10 составляющих, включая необходимые средства химической защиты растений) с энергией, получаемой с урожаем за вычетом потерь. При этом доза внесённых удобрений менялась, эксперименты проводились при разных погодных условиях на разных опытных станциях. На диаграмме представлен вариант посева сахарной свёклы и озимой пшеницы при внесении на гектар ста кг азотных удобрений.

Из данных, представленных в диаграмме (**Рис.3**) следует, что полученная энергия превосходит затраченную в среднем в (9 -10) раз.

4.4 Energy Output Compared with Energy Input

In Fig. 10 the energy output is compared with the energy input on the example of winter wheat and sugar beet in the experimental station Leipzig-Seehausen. In the graph, all values refer uniformly to the variant with 100 kg Mineral-N ha⁻¹. Each crop rotation is indicated separately. It turned out that the energy output in the yield is extremely higher than the input of fossil energy. The energy output exceeded the mean energy input by approx. the ninefold for all test years - both in winter wheat and sugar beet.

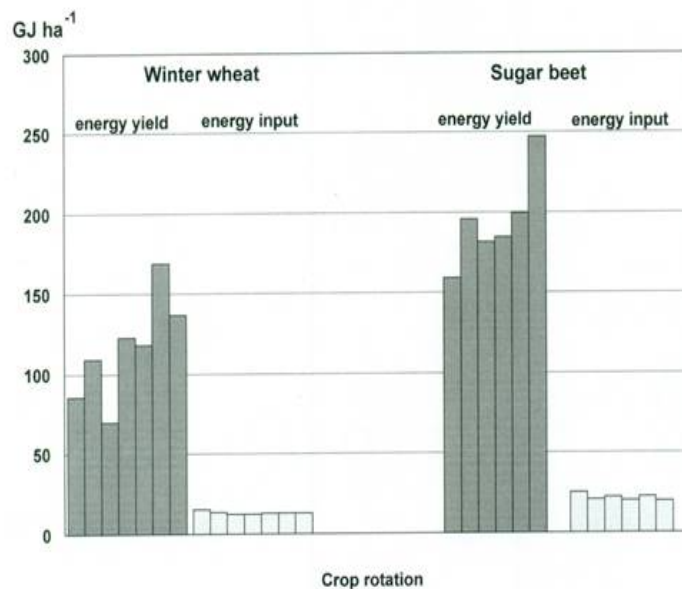
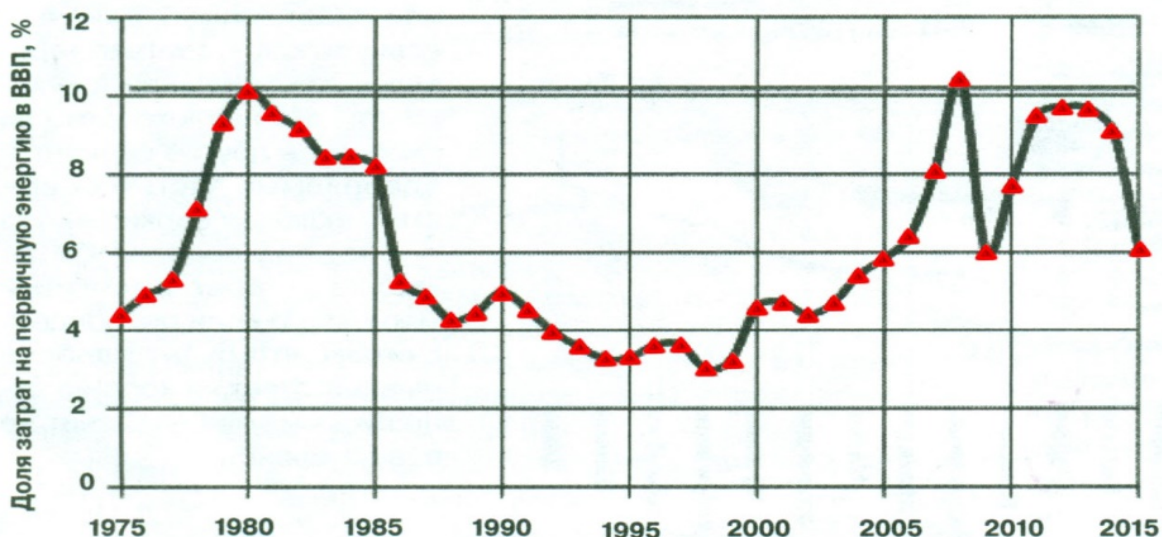


Fig. 10: Energy output (GJ ha⁻¹) and energy input (GJ ha⁻¹) on the example of winter wheat and sugar beet (experimental station Leipzig-Seehausen; 100 kg mineral-N ha⁻¹)

Рисунок 3 – Сравнение величин полученной и затраченной энергий для варианта посева сахарной свёклы и озимой пшеницы при внесении на гектар ста кг азотных удобрений, единица измерения – ГДж/га.

А теперь вернёмся к важнейшей составляющей нашей «Концепции» – «высоким переделам сырья», но посмотрим на этот показатель с другой стороны, то есть покажем, как он влияет на энергоёмкость ВВП России.

Потребление энергии на единицу ВВП – один из важнейших индикаторов, определяющих развитие экономики. Не вдаваясь в подробности, чтобы упростить сложнейшую технологическую цепочку можно даже сказать, что мы преобразуем первичную энергию в ВВП. При этом, чем выше степень переработки сырья, тем меньше в его цене доля затрат на энергию. Рассмотрев статистические данные за 40 лет (с1975 по 2015гг), РНЦ «Курчатовский институт» (*Рис.4*) пришёл к выводу, что, как только доля расходов на первичную энергию в мировом ВВП превышает 10%, в мировой экономике наблюдаются признаки кризиса.



За сорок лет доля затрат на первичную энергию в мировом ВВП дважды достигала 10%, и тогда же начинался мировой экономический кризис

Рисунок 4 – Доля затрат на первичную энергию в ВВП, %.

В среднем на товары начального передела расходуется около 80% , а на товары конечного потребления около 20% первичной энергии . Соотношение цен на эти товары обратное. Как известно, Россия входит в десятку стран с самыми высокими энергозатратами на единицу ВВП. Не разобравшись в причинах этого, российские горе-экономисты и горе - стратеги, облеченные к тому же властью, делают неправильные выводы и принимают неверные решения," вроде запрета на лампы накаливания или повышение тарифов на электроэнергию и природный газ в надежде добиться экономии. На самом же деле по основным энергоёмким производствам потребление энергии на единицу продукции в России вполне сопоставимо и с мировыми данными и с выборкой по наиболее развитым странам – участникам "Организации экономического сотрудничества и развития". А в быту потребление энергии на душу населения в год у нас составляет 1100 кВт ч, в сфере услуг- 730 кВт ч, тогда как в ЕС – 1700 и 2300 кВт ч. соответственно (данные РНЦ «Курчатовский институт»). Отсюда вывод: причина высокой удельной энергоёмкости отечественной экономики не в неэффективных технологиях, а в порочном, ведущем в тупик, экспортно – сырьевом курсе, установившемся в нашей промышленности. Надо отметить, что этому способствует и тот факт ,что страна катастрофически обеднела инженерами-химиками и научными кадрами.

Надо понять, что современные химические заводы -это мощные энерго – технологические установки, многие из них могут и должны работать автономно. В качестве примера приведу мощный химический кластер (Череповец ,Вологодской области), в создании которого авторы настоящего сообщения принимали непосредственное участие и долгие годы возглавляли его. В составе этого кластера имеется фосфорный комплекс, вырабатывающий 3,5 млн. серной кислоты, 1,2 млн. фосфорной кислоты и около четырёх млн. фосфорных и комплексных удобрений, включая уникальную единственную в стране установку по производству жидких удобрений с микродобавками. В его составе есть также и теплоэлектростанция, которая за счёт использования вторичных энергоресурсов сернокислотного производства обеспечивает электроэнергией и паром все перечисленные выше мощности. Так вот, этот комплекс не только не получает энергии со стороны, но даже излишки передаёт соседнему азотному комплексу.

Но это ещё не всё. Если вспомнить предыдущую часть настоящего сообщения, то надо добавить, что при правильном внесении всех выработанных удобрений в почву под с/х культуры, всю энергию, затраченную на производство и внесение удобрений, мы можем

вернуть в девяти - десятикратном размере, в виде выращенного урожая. Но в действительности так не происходит, т.к. около 70 % минеральных удобрений Россия отправляет на экспорт, а взамен покупает продовольствие, в частности говядину и молочные продукты, которое в большом избытке можно произвести в нашей стране и этим продуктом 4-го передела торговать с чистой совестью, без очковтирательства. Напомню, что есть **продовольственная цепочка**: газ - аммиак - азотные удобрения – сложные удобрения - растениеводство - животноводство(*Рис.5*).

На практике получается, что на один рубль, затраченный на покупку природного газа, можно получить продукции растениеводства на 250 руб, животноводства - на 600 руб. Следует отметить, что если США, Франция, Китай, Польша, Италия и др. не только полностью используют свои удобрения, но ещё покупают наши, в то время как мы продаем их, а другие страны торгуют продовольствием, то Россия, наоборот, продаёт удобрения, а покупает продовольствие, несмотря противоположные сигналы рынка. А тот факт, что Россия по экспорту продовольствия вышла на третье место в мире, внося на 1га пахоты всего 39-50 кг питательных веществ (меньше, чем Зимбабве), ярко показывает, что эти «успехи» достигаются только за счёт уменьшения плодородия почвы. Кроме того наши удобрения интенсифицируют усвоение самой чистой солнечной энергии и выделение кислорода не в нашей стране, а за рубежом.

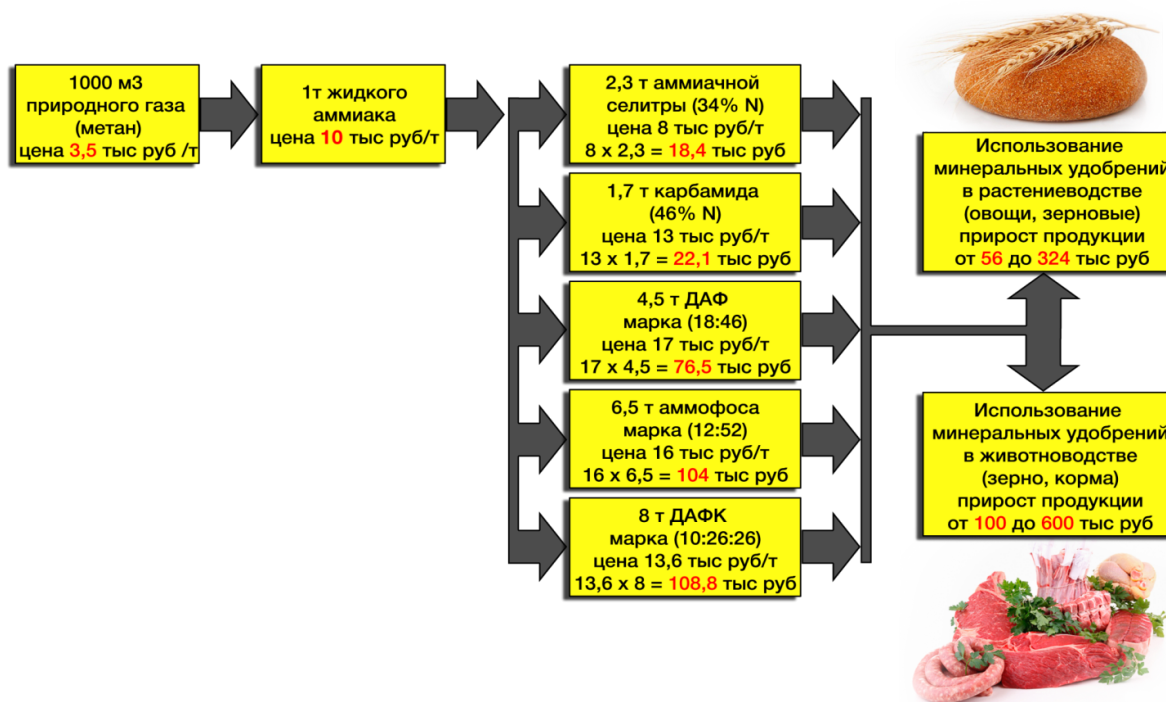


Рисунок 5 – Высокие переделы сырья(пример изменения доходов)

Хочу напомнить и о таком важном ресурсе, как пресная вода. Ведь по прогнозам в предстоящие 15 лет именно она станет наиболее дефицитным ресурсом. Цена на неё, как предсказывают учёные, поднимется выше цены на нефть, что уже стало фактом в Саудовской Аравии. К сожалению, некоторые наши «стратеги» уже призывают строить трубопроводы, чтобы торговать пресной водой. Этого ни в коем случае нельзя допустить, и я предлагаю включить такой запрет в решение форума. Продавать же пресную воду конечно нужно, но только как продукцию четвёртого передела «продовольственной цепочки». Ведь, продавая 1 кг сыра, мы продаём с ним 5000 л. пресной воды, истраченной на его производство, а с одним кг говядины мы продаём 15000 л. пресной воды. Но пока всё обстоит наоборот, мы покупаем и сыр и говядину в больших количествах за валюту, а, значит, покупаем и воду.

УДК 66.047:536.24

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ
ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ
METHODS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF DRYING PROCESSES
LIQUID MATERIALS**

**Пётр Васильевич Акулич
Piotr V. Akulich**

*Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Science of Belarus, Minsk
(e-mail: akul@hmti.ac.by)*

Аннотация: Проанализированы современные методы повышения эффективности процессов сушки жидких материалов и типы установок. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований термогидродинамических процессов в распылительной камере и характеристик работы установки с комбинированным конвективно-радиационным подводом теплоты и встречными потоками теплоносителя. Показано, что подвод теплоты в камеру конвекцией и инфракрасным излучением, направленным на факел распыла жидкости позволяет значительно увеличить влагонапряженность камеры, уменьшить удельный расход теплоты на испарение влаги.

Abstract: Analyzed the modern methods of improving the efficiency of drying processes of liquid materials and the types of installations. The results of theoretical and experimental studies of thermohydrodynamic processes in the spray chamber and the operating characteristics of plants with a combined convective-radiation submarine heat and counter flow of the coolant are presented. It is shown that underwater heat in the chamber convection and infrared radiation directed to the torch, the distributed fluids can significantly increase the moisture density of the chamber, reduce the specific heat consumption for evaporation of moisture.

Ключевые слова: тепломассоперенос, кинетика сушки, сушка распылением.

Keywords: heat and mass transfer, drying kinetics, spray drying.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам энергосбережения и повышения эффективности производств, особенно энергоемких теплотехнологий, к которым относятся процессы сушки высоковлажных материалов. Для их осуществления в промышленности наиболее широкое распространение получил способ распылительной сушки. Это обусловлено высоким качеством получаемых материалов из-за кратковременного пребывания частиц в камере и теплового воздействия, высокой производительностью, надежностью работы и другими преимуществами. В мировой практике он применяется для разработки современных технологий и освоения производств новых материалов, в том числе нанопорошков. При этом отметим, что распылительные установки имеют и недостатки, в частности, низкий съём влаги с единицы объема камеры особенно при невысоких температурах теплоносителя, а следовательно, большие габариты.

Для сушки жидких материалов применяются аппараты со взвешенным (фонтанирующим, кипящим) слоем инертных тел. Они характеризуются значительно более высоким показателем по количеству испаряемой влаги, приходящейся на единицу объема камеры. Тем не менее данный способ требует дополнительных затрат энергии на взвешивание слоя инертных тел.

Несмотря на накопленный опыт проблемы энергоэффективности и создания перспективных технологий обуславливают развитие исследований в данном направлении. В зависимости от существующей проблемы в технике сушки применяют различные методы экономии энергии, которые можно разделить на технологические и теплотехнические

методы. Последние подразделяются на общие теплотехнические, касающиеся установки в целом, и кинетические методы, направленные непосредственно на интенсификацию процессов теплообмена. Кинетические методы включают методы интенсификации внешнего и внутреннего теплообмена. Следует отметить, что кинетическим методам уделяется особое внимание и на их развитие направлены усилия многих исследователей [1–4].

Повышение эффективности распылительных установок может быть достигнута за счет подогрева или перегрева термостойких жидкостей перед сушкой; возврата мелкой фракции продукта в область распыления; реализации двухстадийных режимов, например выпаривания и сушки или распылительной сушки и досушивания материала в кипящем или виброкипящем слое; активизации гидродинамического режима, в частности, за счет применения струйных, закрученных и сильно нестационарных потоков теплоносителя; применения эффективных методов очистки поверхностей камеры и других мероприятий. В качестве примера отметим распылительные сушильные установки с интегрированным псевдооживленным слоем, например фирм «Ниро Атомайзер», «Ангидро» (Дания), «Вздухоторг» (Словакия). В этих установках сушка жидкости на первой стадии осуществляется распылительным способом, а на второй – в псевдооживленном слое. Для нагрева воздуха применяются газовые теплогенераторы, позволяющие снизить расход энергии на 30–50% по сравнению с паровыми калориферами. Двухступенчатые испарительно-сушильные агрегаты разработаны в Институте технической теплофизики НАН Украины [1].

В Институте тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси разработаны распылительные установки со струйным истечением теплоносителя, форсуночным диспергированием и различными схемами движения фаз. Опыт промышленной эксплуатации установки со струйным газораспределением, многосопловой форсункой и пневмотранспортированием высушенного продукта с помощью вращающегося сборника, производительностью 300 кг/ч по испаренной влаге в производстве сухого яичного меланжа показал более высокую влагонапряженность (в 2–2,5 раза) сушильной камеры по сравнению с зарубежными аналогами [2, 4].

Распылительные установки с верхним подводом теплоносителя и нижним форсуночным диспергированием жидкости производительностью 25 кг по испаренной влаге нашли промышленное применение для производства ряда порошкообразных материалов, например полиалюмината натрия, экстракта кормовых дрожжей, фермента α -амелазы.

В результате активизации режима за счет создания встречных потоков значительно увеличивается производительность вихревой распылительной сушилки [2]. Сравнительный анализ показал, что при одном и том же температурном режиме влагонапряженность камеры может возрастать в несколько раз.

Контактно-сорбционный способ обезвоживания преимущественно микробиологических материалов заключается в перераспределении влаги за счет контактного влагообмена между компонентами образуемой смеси, в состав которой входит обезвоживаемая биомасса и сорбент-наполнитель [2, 4]. Реализация технологии осуществляется путем одновременного диспергирования жидкого вещества и сорбента-наполнителя без дополнительного теплоподвода.

В распылительных установках фирм «Verex», «Pulse Combustion Systems» (США) интенсификация процесса достигается за счет применения камер пульсационного горения (КПГ). Они создают высокоамплитудные звуковые колебания вплоть до 180 дБ с частотой 125–200 Гц. Удельный расход теплоты составляет 3256 кДж/кг удаляемой влаги. Отмечается, что уровень шума не превышает 85 дБ.

В настоящее время вызывают интерес и находят развитие процессы низкотемпературной сублимационной сушки жидких материалов методом распыления и во взвешенном слое, причем вакуумной и атмосферной. Эти способы перспективны для обезвоживания микробиологических, биофармацевтических и иных термолабильных препаратов.

Для интенсификации и повышения эффективности процесса сушки распылением нами предложен новый способ, заключающийся в конвективно-радиационном энерговоздействии на область факела распыляемой жидкости.

Схема экспериментальной распылительной установки приведена на рисунке 1. Принцип её работы следующий. Жидкий материал из емкости 7 подают в сушильную камеру 1 на распылитель 5, посредством которого материал распыляется, образуя факел. Одновременно в газораспределительное устройство 2 подают теплоноситель, нагреваемый в электрических калориферах 3 и 4. При этом теплота к распыленным частицам материала подводится конвективным способом от теплоносителя и инфракрасным излучением с высокой интенсивностью, вследствие наложения потоков от излучателей 6, расположенных под углом к вертикальной оси. Высушенные частицы материала вместе с отработанным теплоносителем поступают в циклон 9, в котором сепарируются и попадают в сборник 11 для сухого продукта. В установке для диспергирования жидкостей используются двух- и трехканальные пневматические форсунки 5, последние позволяют вводить в факел распыла дисперсный материал – наполнитель, который подается дозатором 8. Для предотвращения налипания термопластичных материалов на стенки циклона, они охлаждаются водой, подаваемой в рубашку 10. Теплоноситель подается в установку вентилятором 12. Пневматическая форсунка 5 расположена по оси инфракрасного устройства 6 в верхней его части. В нижнюю часть сушильной камеры по её оси имеется возможность дополнительного ввода газа через канал 13, который снабжен завихрителем 14. Для нагрева воздуха предусмотрен калорифер 15. Ввод нижнего дополнительного потока газа позволяет реализовать встречное взаимодействие вертикальных потоков теплоносителя и тем самым активизировать гидродинамический режим в зоне факела распыла, где имеет место наибольшая концентрация частиц дисперсной фазы. Развитие и применение данного способа интенсификации тепломассообменных процессов в различных его модификациях вызывает интерес исследователей [2–4]. В данной работе изучалось влияние нижнего ввода газа только на перемешивание газовой фазы в камере.

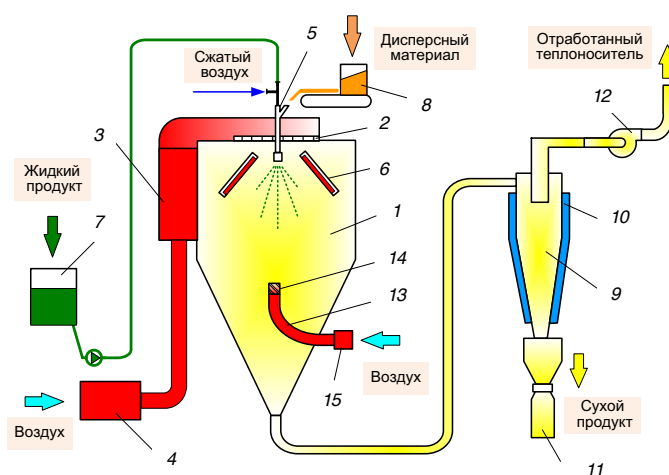


Рисунок 1 – Схема распылительной установки с конвективно-радиационным энергоподводом и встречными потоками теплоносителя.

Экспериментально исследовано влияние конвективно-радиационного подвода теплоты на характеристики экспериментальной распылительной сушильной установки. Тепловой поток вводимый в камеру инфракрасным излучением регулировался количеством включенных излучателей. В опытах измерялось количество испаренной влаги в стационарном режиме работы установки с постоянными температурами теплоносителя на входе и выходе из камеры при различном тепловом инфракрасном потоке. По количеству испаренной воды определяли влагонапряженность камеры, т.е. количество воды испаряемой в единицу времени с 1 м³ камеры.

Экспериментально получены зависимости удельного расхода теплоты (рисунок 2), влагонапряженности объема камеры, производительности по испаренной влаге и КПД установки (без дополнительного нижнего потока теплоносителя). На рисунке 2, *а* видно, что с увеличением теплового потока вводимого в камеру инфракрасными излучателями удельный расход теплоты на испарение воды заметно снижается. При этом значительно возрастают влагонапряженность камеры, производительность установки по испаренной влаге и КПД установки (рисунок 2, *б*).

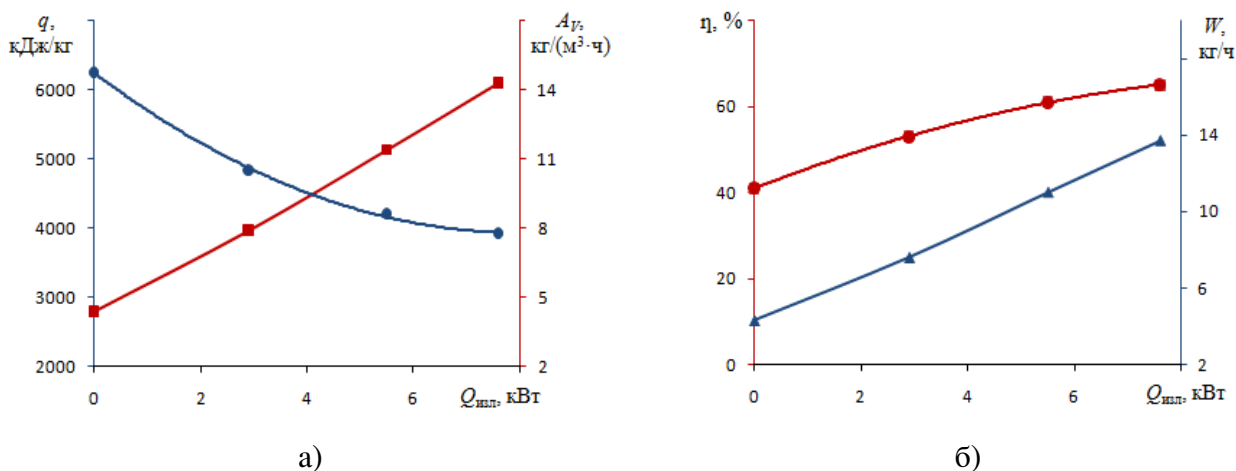
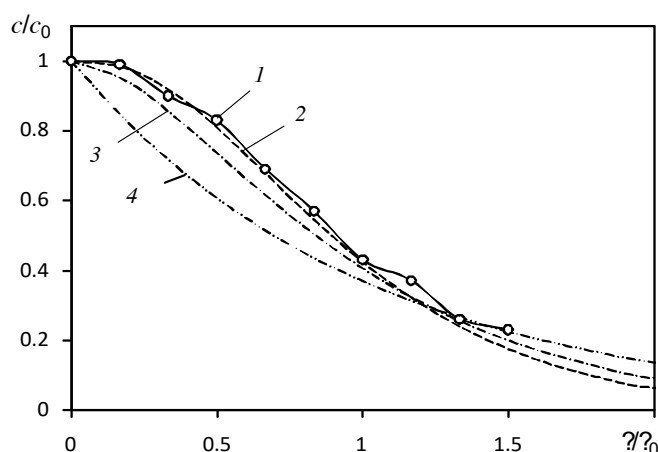


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода теплоты на испарение влаги и влагонапряженности камеры (*а*), производительности по испаренной влаге и КПД установки (*б*) от теплового потока вводимого в распылительную камеру инфракрасными излучателями.

Исследовано влияние температуры воздуха на входе в камеру на параметры работы экспериментальной распылительной установки. Показано, что с увеличением температуры воздуха снижение удельных затрат теплоты на процесс испарения становится меньше (рисунок 2). Однако возрастает влагонапряженность камеры и производительность по испаренной влаге. КПД установки возрастает, но его рост замедляется. Поэтому дополнительный ввод теплоты наиболее эффективно применять при низких температурах агента сушки.

Исследовано перемешивание газовой фазы в распылительном аппарате с системой подачи теплоносителя, выполненной в виде двух перфорированных решеток установленных на перекрытии. Проанализировано также влияние нижнего дополнительного ввода струйного закрученного потока газа, создающего режим встречного взаимодействия потоков, на интенсивность перемешивания (рисунок 3).

Сравнение расчетных и экспериментальных кривых вымывания показывает, что число ячеек n идеального перемешивания для распылительной установки с указанными режимными параметрами приблизительно соответствует $n \approx 3$. Исследования режима со встречными вертикальными потоками газа свидетельствуют о некотором возрастании интенсивности перемешивания.



1 – экспериментальные кривые; 2, 3 и 4 – расчетные; 2 – $n = 3$; 3 – $n = 2$; 4 – $n = 1$. $t_1 = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p = 0,25\text{ МПа}$; жидкость – вода.

Рисунок 3 – F-кривые вымывания меченого газа.

Выводы

В заключение отметим, что эффективность процессов сушки жидких материалов и технико-экономические показатели установок зависят от множества факторов: работы диспергирующего устройства, теплового и гидродинамического режимов течения и взаимодействия газовой и дисперсной фаз, свойств материала, технологических параметров, используемого оборудования и т.п. Поэтому при выборе энергосберегающих мероприятий следует учитывать и оценивать их вклад.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований конвективно-радиационного подвода теплоты в распылительную камеру свидетельствуют об интенсификации процесса испарения жидкости и повышении эффективности работы установки, что может быть использовано при совершенствовании процессов и оборудования данного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка: в 2-х томах. Т. 1. Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. Киев: Академперіодика, 2011. 376 с.
2. Тутова Э.Г., Куц П.С. Сушка продуктов микробиологического производства. М.: Агропромиздат, 1987. 303 с.
3. Kudra T., Mujumdar A.S. Advanced Drying Technologies. New York. Marcel Dekker, Inc. 2002. 459 p.
4. Акулич П.В., Драгун В.Л., Куц П.С. Технологии и техника сушки и термообработки материалов. Минск: Белорусская наука, 2006. 190 с.
5. Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок. Минск: Беларуская навука, 2010. 443 с.
6. Акулич П.В. Способ сушки жидких материалов. Патент № 18467 Республики Беларусь на изобретение // Официальный бюллетень. 2013. № 2. С. 23.
7. Акулич П.В., Бородуля В.А., Слижук Д.С. Методы повышения эффективности процессов распылительной сушки // Энергоэффективность. 2018. № 4. С. 28–32.

УДК 66

**АЛЕКСЕЙ МИТРОФАНОВИЧ КУТЕПОВ – УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ И ГРАЖДАНИН
(К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА РАН КУТЕПОВА А.М.)
A. M. KUTEPov - SCIENTIST, TEACHER AND CITIZEN
(THE 90th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN A. M. KUTEPov)**

**Валерьян Николаевич Блиничев
Valerian N. Blinichev**

*Ивановский государственный химико-технологический университет, Россия, Иваново
Ivanovo state University of chemistry and technology, Russia, Ivanovo
(e-mail: blinich@isuct.ru)*

Аннотация: Статья посвящена деятельности выдающегося российского ученого – академика А.М. Кутепова и основана на личных воспоминаниях автора и коллег.

Abstract: The article is devoted to the work of the outstanding Russian scientist – academician A. M. Kutepov and based on personal recollections of the author and colleagues.

Ключевые слова: Академик Алексей Митрофанович Кутепов.

Keywords: academician A. M. Kutepov

Академик Алексей Митрофанович Кутепов — выдающийся российский ученый в области теоретических основ химической технологии. Его вклад в развитие теории гидромеханических, тепловых, массообменных и совмещенных процессов, несомненно, огромен.

Фундаментальные и прикладные исследования по центробежной сепарации гетерогенных систем: пар (газ)-жидкость, суспензии и эмульсии, струйной (пленочной) сепарации паро(газо)жидкостных систем, по разложению пенящихся газожидкостных систем, по созданию высокоэффективных сепарирующих устройств и разработки методов их расчета выполнены не только под руководством А.М. Кутепова, но и лично им.

Ряд созданных им высокоэффективных сепарирующих устройств запатентован не только в России, но и в Австрии, Англии, ГДР, ФРГ, Швейцарии, Швеции, Франции и Японии.

Талантливый ученый А.М. Кутепов создал и успешно руководил долгие годы ведущей научной школой «Химическая гидродинамика и теоретические основы нелинейных химико-технологических процессов».

Он автор более 450 научных трудов по вопросам теории, практики и расчета основных процессов и аппаратов химической технологии, в том числе 27 монографий, учебников и учебных пособий, ряд из которых переведены в Англии и даже Китае.

Хотелось бы перечислить некоторые учебники и монографии, по которым учились и учатся студенты и аспиранты технических университетов России.

1. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Уч. пособие для студ. Втузов. – М.: Высш. шк., 1977 г. – 352 с.

2. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. – 2-е изд.: перераб. и доп. – М. Высш.шк. 1983 г. – 448 с.

3. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. 2-е изд. раб. и доп. – Пекин., 1983 г. – 295 с. (на кит. яз.).

4. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. - Уч. пособие для высш. техн. учебных заведений. – 3-е изд. – М. Высш.шк. 1986 г. – 448 с.

5. Кутепов А.М., Богданова Т.И., Беренгартен М.И. Общая химическая технология. Учебное пособие по спец. «Машины и аппараты химических производств». – М.: Высш. шк., 1985г. – 448 с.

6. Basic chemical engineering with practical applications. – M.Mir, 1988. 464 p – Co-out. Bondariva T.I., Beringarten M.I.

7. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология – 2-е изд. – М. Высш. шк. 1990 г. – 520 с.

8. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химич. технология – 3-е изд. – М. ИКЦ «Академкнига». – 2003 г. – 528 с.

9. Теплотехника. Учебник для студ. вузов. Под общей ред. В.И. Крутова – М. Машиностр., 1986 г. – 426 с.

Кутепов А.М. автор спец. раздела Основы энерготехнологии и вторичные энергетические ресурсы.

10. Кутепов А.М., Булатов С.Н. Машины и аппараты особо чистых веществ и химических реактивов. Уч. пособие – М. МИХП., 1990 г. – 160 с.

11. Автоматизированное управление обучением. Терещенко Л.Я. и др. Под ред. Кутепова А.М. М. Высш. шк., 1991 г. – 235 с.

12. Кутепов А.М., Полянин А.В. и др. Химическая гидродинамика. справочное пособие. – М. Бюроквантум, 1996 г. – 336 с.

13. Кутепов А.М., Баранов Д.А. Процессы и аппараты. Учебник для учреждений сред. и проф. образования. – М.: Изд. центр «Академия», 2004 г. – 304 с.

14. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. Том 1. Основы теории процессов хим. Технологий. Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин и др. Под редакцией А.М. Кутепова. М. Логос, 2000 г. – 480 с.

15. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. Том 2. Механические и гидромеханические процессы. Уч. пособие.: Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др. Под редакцией А.М. Кутепова. М. Логос, 2001 г. – 600 с.

16. Кутепов А.М., Терновский И.Г. Гидроциклонирование. – М. Наука, 1994 г. – 350 с.

17. Кутепов А.М., Латкин А.С. Вихревые процессы для модификации дисперсных систем. – М. Наука, 1999 г. – 250 с.

18. Kutepov A.M., Polyenin A.D., Vyazmin A.V., Kazenin D.A. Hydrodynamics, Mass and Heat Transfer in Chemical Engineering. London: Taylor se Francis. 2002. – 407p.

Научная школа академика А.М. Кутепова сложилась в процессе подготовки и в выполнении грантов государственной поддержки ведущих научных школ, финансируемых РФФИ.

А.М. Кутепов проводил огромную научно-организационную и педагогическую работу. Вряд ли можно сосчитать всех, кто почитает А.М. Кутепова своим учителем, посвятившему науке и высшей школе всю свою жизнь. Поэтому учеников А.М. Кутепова и участников его научной школы поистине сотни человек.

Всесторонне образованный, Кутепов А.М. прекрасно разбирался в вопросах истории и культуры нашей страны и зарубежных государств, знал и любил русскую и иностранную литературы, особенно поэзию, наизусть читал многие произведения как классиков, так и малоизвестных авторов.

Будучи руководителем общественной связи СССР с Грецией, он неоднократно был в Греции и очень любил греческие песни, которые мы с удовольствием слушали по вечерам в г. Иваново, когда А.М. Кутепов возглавлял ИХНР (впоследствии ИХР) РАН.

Особенно нас восхищал его талант взаимоотношения с людьми разного уровня культуры, он всегда разговаривал тактично и деликатно, спокойным и уравновешенным тоном и никогда не ущемлял достоинство собеседников.

Например, в первые месяцы его руководства ИХНР в г. Иваново многие молодые доктора наук, зав. лабораториями, встретили акад. Кутепова А.М. настороженно «А может ли специалист в области процессов и аппаратов химической технологии руководить, в основном, химиками». Однако через полгода работы после беседы с каждым зав. лабораторий молодые

ученые поняли, что не только может, но и направил работу коллектива на создание принципиально новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и оборудования, которые стали внедряться в разные отрасли промышленности страны.

Итогом работы в этом направлении стало получение премии Правительства по науке и технике в 2000 г.: «за разработку и освоение экологически безопасных ресурсосберегающих технологий производства текстильных материалов с использованием нетрадиционных физико-химических воздействий».

А.М. Кутепов трижды Лауреат премии Правительства РФ.

А.М. Кутепов обладал очень хорошей и большой аурой, которая благоприятно влияла на окружающих и которую мы четко ощущали.

Читая воспоминания коллег [1], которые работали в разное время и разные годы с акад. Кутеповым А.М. необходимо сказать большое спасибо всем, так как каждый из них отмечал ту или иную черту Алексея Митрофановича, которая подчеркивала широкую его человеческую душу, любящую Россию, и его высокую квалификацию в области химической промышленности (акад. Саркисова М.Д., акад. Цивадзе А.И., чл. корр. РАН Ягодина Г.А., проф. Генералова М.Б., проф. Кулова Н.Н., проф. Баранова Д.А., проф. Басова Н.И., проф. Холпанова Л.П., проф. Шургальского Э.Ф., проф. Покусаева Б.Г., проф. Классена П.В., проф. Красовицкого К.А. и мн. других).

Многогранная деятельность Алексея Митрофановича Кутепова получила широкое признание и высокую оценку в нашей стране и за рубежом.

За заслуги в научной, педагогической и общественной деятельности он награжден орденами «Трудового Красного Знамени», «Знак Почета», «За заслуги перед Отечеством» и многими медалями. Удостоен званий «Почетный химик СССР» и «Почетный работник высшего профессионального образования России».

Среди зарубежных наград можно отметить – «Почетный знак ГДР «За заслуги в социалистическом образовании», «Почетный знак Пражского политехнического университета», «Памятная медаль» Пражского химико-технологического института», «Золотая медаль» и звание «Почетного доктора» Краковской Политехники.

Он являлся почетным профессором целого ряда отечественных и зарубежных университетов.

Он любил Россию, русский народ и очень беспокоился о перспективах развития нашей страны в связи с серьезными изменениями подготовки будущих кадров, как в средней школе, так и в высшем образовании.

Очень жаль, что его нет среди нас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ученый и гражданин: Воспоминания об академике А.М. Кутепове. – М: МГУИЭ, 2007.- 168 с. ISBN 978-5-9900345-6-3

УДК [547.856.1+546.7]:628.543

ХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ КОНВЕРСИИ ТРОТИЛА В СЫРЬЁ МИРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ CHEMICAL ASPECT OF DEVELOPMENT OF METHODS OF CONVERSION OF TNT INTO PEACEFUL RAW MATERIALS

Константин Иванович Кобраков
Konstantin I. Kobrakov

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: occd@mail.ru)*

Аннотация: Обобщены данные по синтезу на основе 2,4,6 – тригидрокситолуола и функционализированных аминов, полученных из ТНТ, эффективных азокрасителей и пигментов, а также синтетических аналогов природных гетероциклических соединений.

Предложена схема (концепция) использования своеобразного и мощного синтетического потенциала ТНТ, позволяющая предложить его в качестве прекурсора в промышленности малотоннажной химии и превращающая ТНТ в продукт двойного назначения.

Abstract: The synthesis of 2,4,6 - trihydroxytoluene and functionalized amines derived from TNT, effective azo dyes and pigments, as well as synthetic analogues of natural heterocyclic compounds is summarized.

A scheme (concept) is proposed for using the unique and powerful synthetic potential of TNT, which allows it to be offered as a precursor in the small-scale chemistry industry and transforming TNT into a dual-use product.

Ключевые слова: 2,4,6 – тринитротолуол, тротил, 2,4,6 – тригидрокситолуол, метилфлороглуцин, 1,3,5 – тригидроксibenзол, 1,3,5 – тринитробензол, функционализированные анилины, азокрасители, азопигменты, полиядерные гетероциклические соединения, биологическая активность, актиоксиданты.

Keywords: 2,4,6 - trinitrotoluene, trotyl, 2,4,6 - trihydroxytoluene, methylphloroglucinol, 1,3,5 - trihydroxybenzene, 1,3,5 - trinitrobenzene, functionalized anilines, azo dyes, azo pigments, polynuclear heterocyclic compounds, biological activity, actioxidants.

Очевидно, что общемировая тенденция качественного и количественного развития производств, расширения ассортимента продукции, предназначенной для удовлетворения возрастающих потребностей населения не только сохраняется, но и прогрессивно возрастает.

Параллельно развивается комплекс серьёзных экологических проблем, обусловленных перманентным ростом потребности в объёмах необходимого сырья и задачами утилизации неизбежных отходов производства различных отраслей промышленности.

В связи с изложенным обоснованно звучит призыв следовать принципам концепции Устойчивого развития общества (УР), суть которой заключается по сути в следующей формулировке: “- модель движения вперед, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешних поколений людей без лишения такой возможности будущих поколений”[1,2].

Настоящая работа посвящена теме, входящей в вышеобозначенную проблематику – разработка экологически и экономически целесообразных способов превращения одного из старейших бризантных взрывчатых веществ (ВВ) – тротила (2,4,6 – тринитротолуол, ТНТ) в химическую продукцию мирного назначения.

Обсуждаемая тема многопланова, т.к. с одной стороны, несмотря на то, что от момента начала производства тротила прошло почти 150 лет и появились более мощные, современные ВВ, производство ТНТ продолжается и вряд ли будет свернуто в обозримом будущем, а следовательно проблема утилизации изделий, снаряженных ТНТ и снятых с вооружения остается.

С этой точки зрения ТНТ следует рассматривать как техногенный отход военно-промышленного комплекса.

При этом следует учитывать, что утилизация снятых с вооружения боеприпасов методом подрыва признана нецелесообразной, опасной и, в частности, в РФ запрещена в 2013г.

С другой стороны, с точки зрения химического состава и строения ТНТ представляет собой крайне интересный продукт, синтетический потенциал которого, а также продуктов его химической трансформации до последнего времени изучался явно недостаточно.

С учетом того, что продукты нефтехимии, такие как одно- и многоатомные фенолы, анилины и их функционализированные производные и т.д. и т.п. в настоящее время и в перспективе являются по сути незаменимым сырьём для широкого спектра производств, есть основание рассматривать ТНТ в качестве прекурсора (базовой структуры) на основе которого можно получать широкую гамму производных бензола разнообразного строения.

Следует также иметь в виду, что промышленная технология получения ТНТ очень хорошо отработана, производство относится к одному из наиболее безопасных и технологически совершенных.

Таким образом, в случае разработки путей превращения ТНТ в востребованные многотоннажные продукты нефтехимии создается логистическая схема их производств, на базе одного первоначального продукта превращения толуола и при этом, что немаловажно, ТНТ (с точки зрения конверсионных мероприятий) становится сырьём двойного назначения.

Первые результаты работ по поиску путей химической трансформации ТНТ в продукцию мирного назначения появились в открытой печати в конце XX - начале XXI веков. [3-7]

В РФ эти работы направлены и системно проводились в ИОХ РАН (акад. В.А. Тартаковский, проф. Шевелев С.А. и сотр.), РХТУ им. Д.Н. Менделеева (проф. Попков С.В. и др.), РГУ им. А.Н. Косыгина (проф. Кобраков К.И., доц. Кузнецов Д.Н. и сотр.), ИПХЭТ СО РАН (проф. Сысолятин С.В. и сотр.).

Схематично некоторые направления проведенных исследований и полученные результаты отражает нижеприведенный рисунок (схема не является исчерпывающей и при желании может быть дополнена).

Однако ни одно из приведенных направлений превращения ТНТ не было реализовано на практике, несмотря на то, что ряд синтезированных соединений проявляли высокую и интересную биологическую активность, были изучены как эффективные мономеры для получения разветвленных полимеров, сшивающие реагенты и т.д.

Основными причинами, на наш взгляд, являются: несоответствие, дисбаланс между количеством производящегося (или демилитаризованного) ТНТ и его количеством необходимым в качестве сырья для выпуска БАВ, пестицидов и т.п. и тот факт, что в большом количестве примеров в качестве исходного реагента используется сам ТНТ, что требует особых условий безопасной работы.

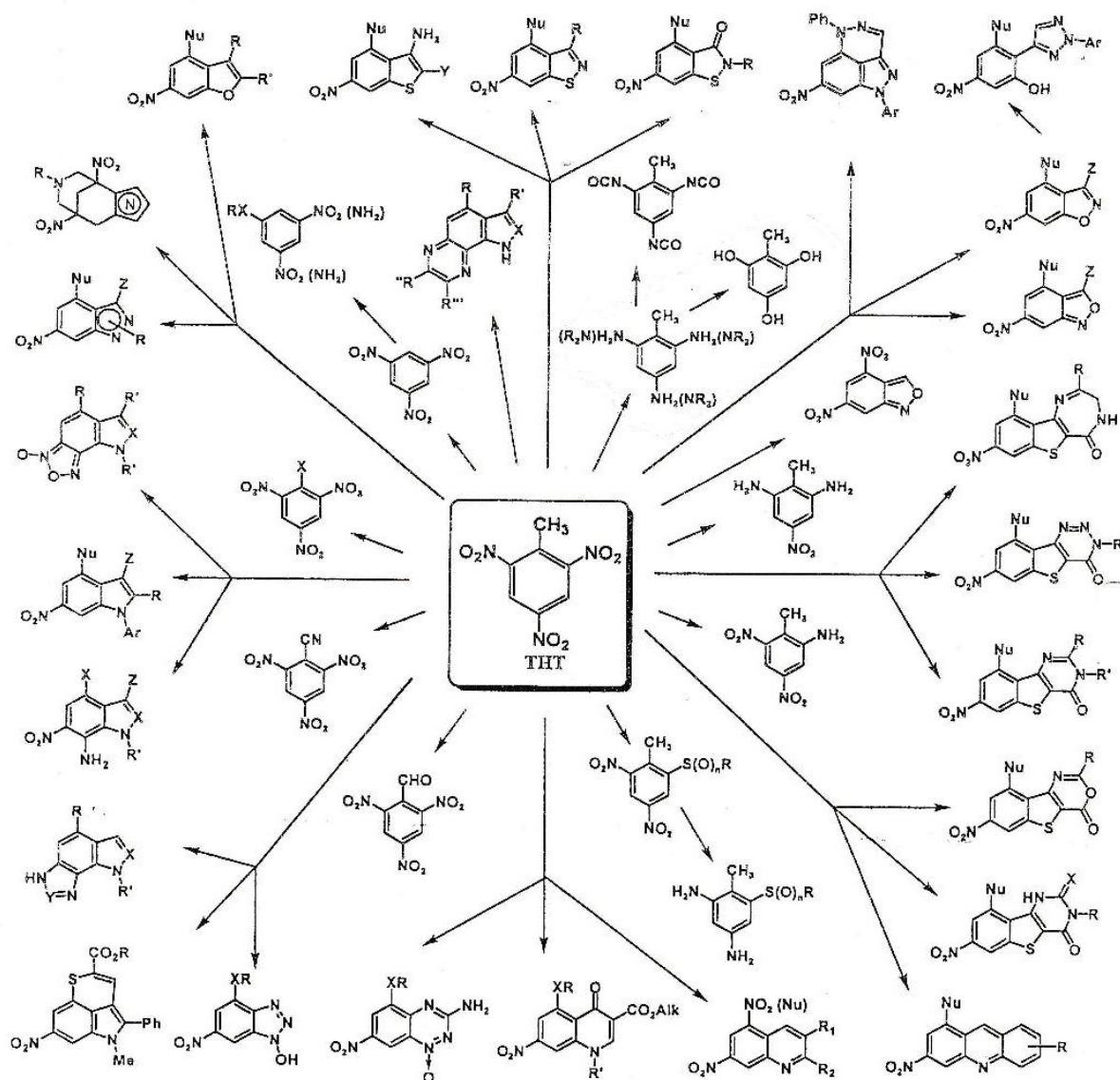


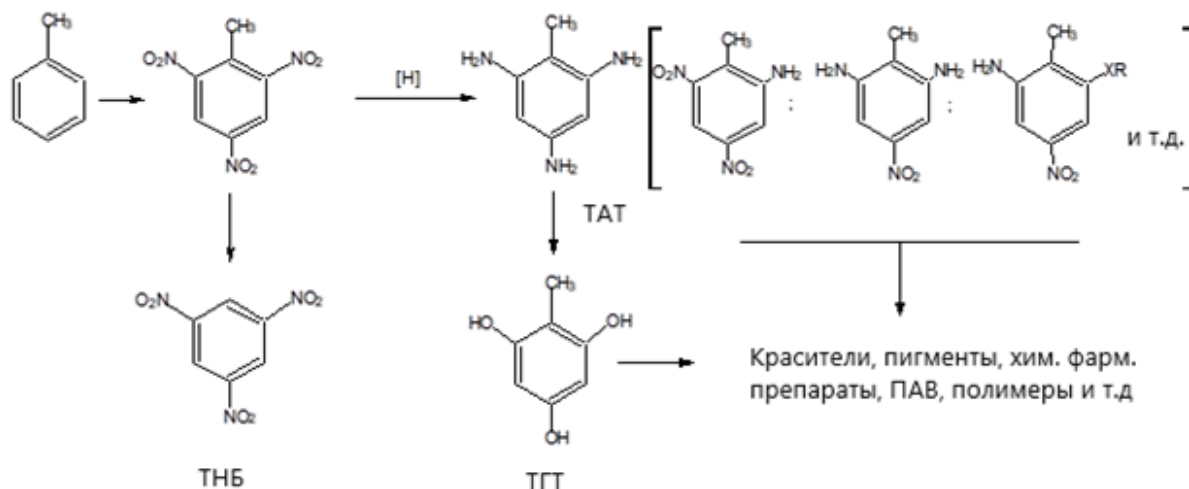
Рисунок 1 – Некоторые реализованные пути химических превращений ТНТ.

Основываясь на результатах, полученных нами в два последних десятилетия [8-13], мы предлагаем следующую общую схему химических трансформаций ТНТ: частичное или полное восстановление нитрогрупп в ТНТ до аминогрупп и использование полученных функционализированных анилинов или гидролиз 2,4,6 – триаминотолуола (ТАТ) до 2,4,6 – тригидрокситолуола (ТГТ, метилфлороглуцин, МФГ) и дальнейшее использование этого продукта как альтернативу известным одно- и двухвалентным фенолам.

Эта схема базируется во-первых на использовании в качестве сырья взрывобезопасных производных ТНТ, во-вторых процессы восстановления ТНТ и гидролиза аминогрупп отработаны вплоть до технологического уровня, в-третьих основное предлагаемое направление использования получаемых анилинов и фенолов – многотоннажный синтез красителей и пигментов для колорирования текстиля, кожи, меха, бумаги, дерева, пластмасс и т. д., которые наряду с хорошими колористическими свойствами обладают комплексом специальных, важных в практическом отношении свойств: повышенная устойчивость окрасок к действию физико-химических факторов, очень высокая термоустойчивость, выраженные биоцидные свойства и сорбционная активность и др.

Эти же анилины и фенолы могут быть эффективно использованы в качестве прекурсоров, синтонов или билдинг-блоков в структурно-ориентированном дизайне химико-фармацевтических препаратов, пестицидов, компонентов парфюмерно-косметических

композиций и т.д., объемы производств которых заведомо меньше объемов производства красителей, однако их структурные особенности и реакционная способность позволяет получать, в частности, полиядерные карбо(гетеро)циклические соединения – аналоги природных соединений, обладающих высокой и специфической биологической активностью, антиоксидантными свойствами и т.д.

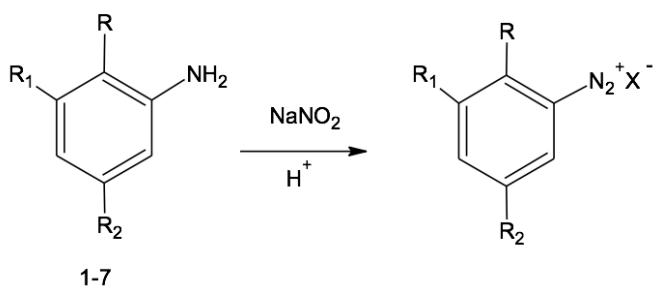


Ниже приведены некоторые результаты, полученные на кафедре органической химии РГУ им. А.Н. Косыгина

I. Синтез азокрасителей и азокрасителей на основе анилинов, продуктов химической трансформации ТНТ.

До начала наших исследований в литературе имелись лишь отдельные разрозненные сообщения об использовании вышеобозначенных анилинов в синтезе красителей [14-17].

Нами в качестве диазосоставляющих исследованы анилины 1-7, полученные частичным восстановлением нитрогруппы в ТНТ и ТНБ (продукта окислительного деметилирования ТНТ) и продуктов полученных в результате последовательных реакций нуклеофильного замещения нитрогрупп в ТНБ на различные функциональные группы и восстановление оставшихся нитрогрупп.



- где: 1 $\text{R}=\text{CH}_3$; $\text{R}_1=\text{R}_2=\text{NO}_2$
 2 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{R}_2=\text{NO}_2$
 3 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{OCH}_3$; $\text{R}_2=\text{NO}_2$
 4 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{OPh}$; $\text{R}_2=\text{NO}_2$
 5 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{R}_2=\text{OPh}$
 6 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{SPh}$; $\text{R}_2=\text{NO}_2$
 7 $\text{R}=\text{H}$; $\text{R}_1=\text{F}_3\text{CH}_2\text{O}$; $\text{R}_2=\text{NO}_2$

$\text{X}=\text{Cl}^-$; HSO_4^-

Были подобраны условия реакций при которых полученные соли диазония легко вступают в реакцию азосочетания с гидроксисоставляющими, при этом был получен выход целевых соединений 90-95%.

С использованием промышленно выпускаемых азокомпонентов синтезированы серии кислотных моноазокрасителей, бисазокрасителей и азокрасителей, всего более 50 неописанных ранее соединений.

Анализ данных электронных спектров поглощения синтезированных азосоединений позволил установить, что они имеют λ_{max} в интервале 430-690 нм. Были выявлены характер и уровень влияния заместителей в азо- и диазосоставляющих на положение λ_{max} и,

следовательно, на цвет азосоединения, что открывает возможность конструирования целевых продуктов с заданными свойствами на основе изученных в работе реагентов.

Испытания полученных азосоединений в качестве кислотных красителей для крашения шерстяной ткани в условиях крашения для средневывравнивающихся красителей, показали, что полученные окраски имеют яркие и глубокие цвета и широкую цветовую гамму от желтого до черного цветов, при этом окраски обладают отличной устойчивостью к действия физико-химических факторов.

Также успешно были использованы синтезированные азопигменты для прямой печати на капроне и хлопчатобумажной ткани.

Отметим ряд фактов, показывающих перспективность использования синтезированных азосоединений.

С использованием синтезированных красителей: желтого, красного и промышленного Кислотного голубого К на шерстяном волокне были получены концентрационные серии выкрасок, определен цветовой охват и построен цветовой треугольник. Из анализа цветового охвата следует, что изученные красители могут быть использованы в практике колорирования текстильных материалов для получения широкой цветовой гаммы.

Установлено, что ряд из полученных азосоединений проявляют выраженную фунгицидную активность и могут быть использованы для защиты текстильных материалов от биоразрушений.

Термогравиметрические исследования азосоединений показали, что некоторые из изученных соединений обладают высокой термостабильностью: потеря массы составляет для них 0-5% при 220° С, температура соответствующая максимальной скорости разложения лежит в пределах 300-500° С. Таким образом синтезированные азосоединения могут быть рекомендованы для использования при колорировании термопластичных полимеров на стадии формования.

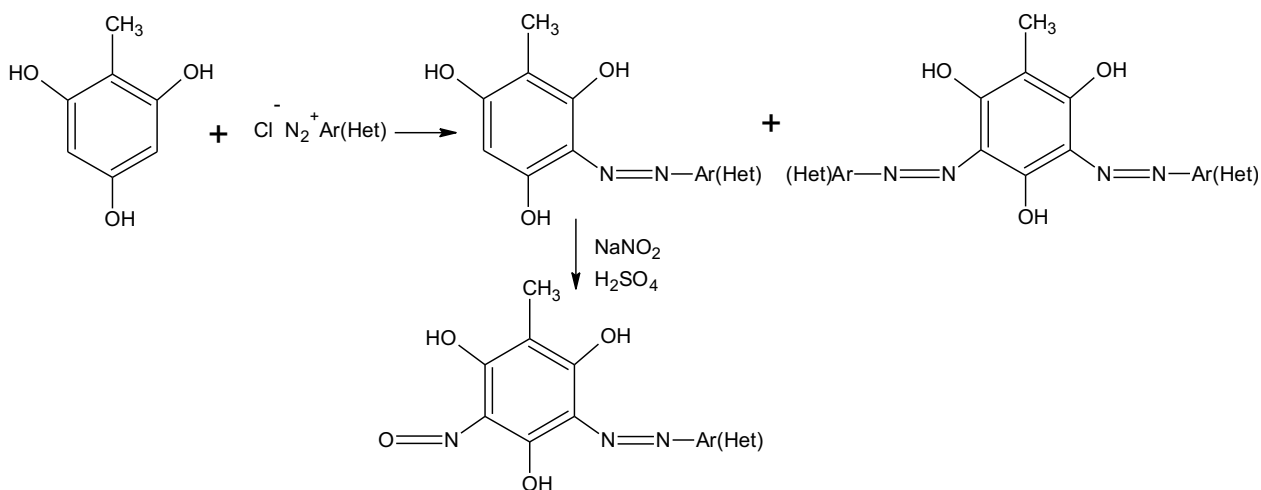
II. Синтез и свойства азосоединений на основе 2,4,6 - тригидрокситолуола (ТГТ, метилфлороглуцин, МФГ).

Как уже отмечалось выше одним из перспективных продуктов химической трансформации ТНТ является ТГТ, получение которого отработано для уровня технологической стадии.

При этом до начала наших исследований не проводилось систематических работ по изучению возможностей и целесообразности его использования для масштабного синтеза красителей широкого спектра применения.

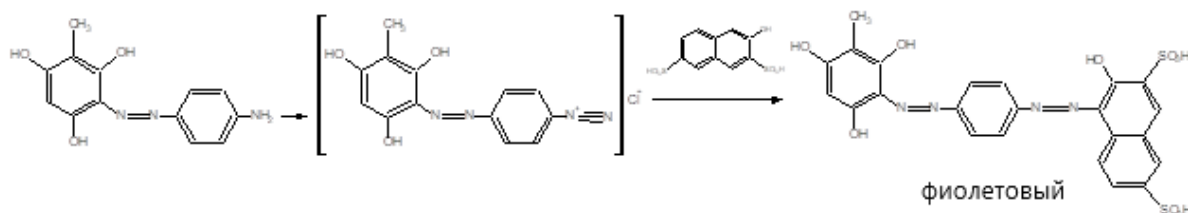
В результате исследований [10,11] было установлено, что ТГТ представляет собой интересный и перспективный прекурсор для синтеза красителей и пигментов, которые можно использовать для колорирования различных текстильных и нетканых материалов, бумаги, дерева, пластиков и т.д.

В вышепротитированных работах и многочисленных последующих публикациях (здесь не приводятся) приведены экспериментальные данные по синтезу моно-, бисазопроизводных, азонитропроизводных ТГТ.



Обнаружены неизвестные ранее условия необходимые для получения моно- и бисазосоединений с высокой селективностью и выходами.

Разработаны способы получения на основе синтезированных азосоединений производных, имеющих “развитую” хромофорную цепочку, что позволяет получать более глубоко окрашенные соединения.



В результате проведенных исследований синтезировано, выделено и охарактеризовано более 80 неописанных ранее азопроизводных, которые были изучены как красители и пигменты.

Установлено, что в зависимости от строения, изученные азопроизводные эффективно окрашивают ткани из полиамидных (капрон) и белковых (шерсть) волокон, хлопка, обеспечивая высокую (4-5 баллов) устойчивость окраски к действию стирки, сухого и мокрого трения, пота при широкой цветовой гамме (от желтого до фиолетового).

Для синтезированных красителей также разработан цветовой треугольник.

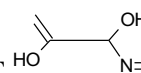
Интересно отметить, что поскольку было обнаружено, что азосочетание ТГТ с солями диазония эффективно проходит в кислой среде (что не характерно для фенолов), удалось разработать и запатентовать способ крашения шерстяной ткани красителями синтез которых происходит на ткани (исследование выполнено совместно с проф. Сафоновым В.В.).

Как и в случае азокрасителей, полученных из нитроанилинов, отметим некоторые свойства синтезированных на основе ТГТ красителей, показывающих их перспективность.

Показано, что наличие именно трех гидроксильных групп в молекуле ТГТ обеспечивает повышенную устойчивость окраски к стирке, например, краситель, полученный из п-крезола и сульфаминовой кислоты при стирке при 90°C сходит с ткани (капрон) полностью, а его аналог, синтезированный из ТГТ и сульфаминовой кислоты после аналогичной стирки показывает устойчивость 5 баллов.

Среди синтезированных соединений найдены азопроизводные, не теряющие массу при нагревании до 200°C и имеющих температуру начала разложения 250°C .

Найдены азопроизводные ТГТ обеспечивающие при использовании их в качестве красителей биозащиту текстильных материалов.



Показано, что вследствие особенностей своего строения (фрагмент HO-C(=O)-CH=N=N-) ряд красителей проявляет свойства индикаторов. С использованием одного из красителей была приготовлена индикаторная бумага для определения pH среды, сравнительные испытания которой показали, что она не уступает штатным индикаторам.

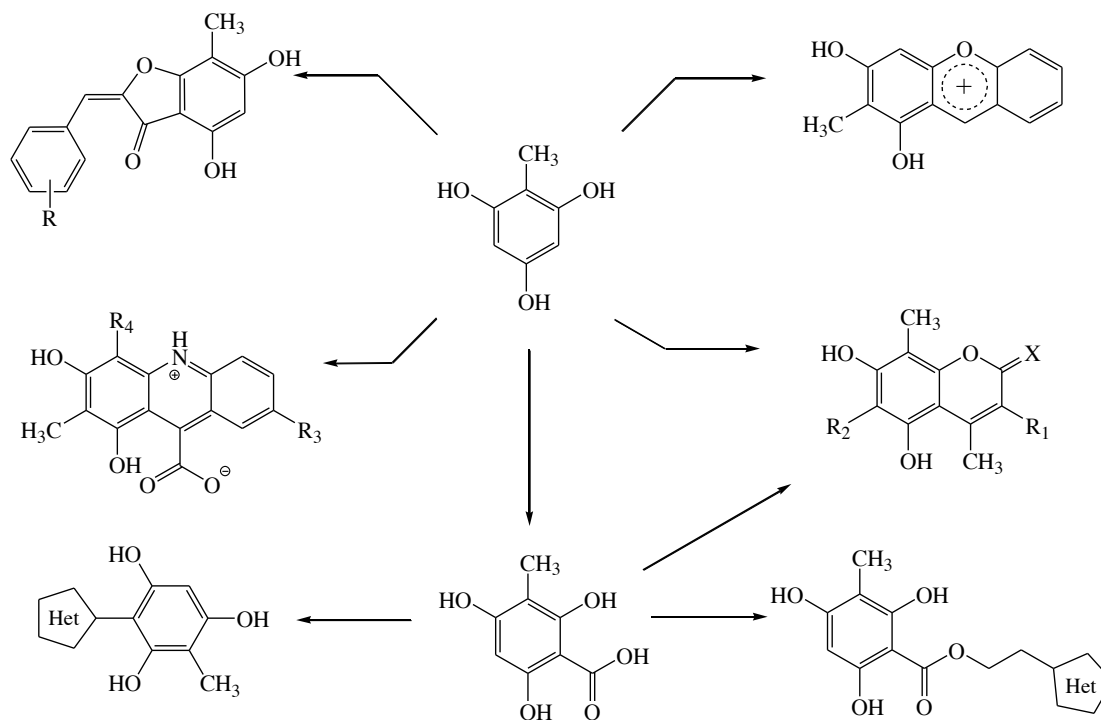
Впервые были изучены (экспериментально и с помощью квантово-химических методов) процесс ионизации и комплексообразования синтезированных азо- и азогидроксииминосоединений - производных ТГТ с ионами металлов [11,13]. Полученные результаты позволили предложить указанные соединения в качестве модификаторов полимерных (текстильных) материалов с целью придания им сорбционной активности.

Установлено, что синтезированные соединения могут быть использованы для колорирования не только текстильных, но и нетканых материалов, шерсти, картона, бумаги, дерева, пластмасс.

III. Синтез и свойства O,N – гетероциклических соединений реакциями гетероциклизации ТГТ и его функциональных производных.

Также как и в вышеописанных случаях систематические работы по исследованию возможностей и потенциала ТГТ в качестве предшественника в синтезе соединений классов флавоноидов, ксантонов, ауранов и др. к началу наших исследований отсутствовали. В тоже время потенциал соединений упомянутых классов в качестве химико-фармацевтических препаратов, антиоксидантов, красителей и люминофоров хорошо известен и широко используется.

В работе [12] и серии последующих исследований нами разработаны методики синтеза, отличающиеся высокими выходами целевых продуктов, а также хорошей селективностью следующих соединений: 2Н-1-бензопиран-2-онов и их производных, солей дигидрокси-2-метилксантилуима, (z)-2-арилиден-4,6-дигидрокси-7-метилбензофуран-3(2Н)-онов, полигидроксипроизводных акридин-9-карбоновой кислоты и др.



Где: $\mathbf{R} = \text{N=N-Ar, H, N=O}$; $\mathbf{R}_1 = \text{H, Ar, Br, -N=N-Ar}$; $\mathbf{R}_2 = \text{COOH, -N=N-Ar, Br}$;
 $\mathbf{R}_3 = \text{H, OH, F, I, Cl, CH}_3, \text{Br}$; $\mathbf{R}_4 = \text{H, Br}$; $\mathbf{X} = \text{O, NH}^+\text{HSO}_4^-$

Всего разработаны методики синтеза, выделены и идентифицированы более 80 неописанных ранее соединений. Отработаны условия реакций позволяющие управлять региоселективностью и направлением реакций.

На основе результатов проведенных испытаний синтезированных соединений сделан вывод о возможности использования некоторых из них в качестве дисперсных красителей для колорирования текстильных материалов, люминофоров.

Испытания на биологическую активность и токсичность показали перспективность использования синтезированных продуктов как объектов для изучения их в качестве прекурсоров для получения химико-фармацевтических препаратов различного спектра действия.

Заключение

Вышеприведенные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования продуктов химической трансформации ТНТ - нитроанилинов, 2,4,6 – тригидрокситолуола в качестве исходных продуктов для получения органических соединений карбо(гетеро) циклического строения, обладающих свойствами обуславливающими их широкое и разнообразное практическое применение.

С учетом того, что “традиционная” схема переработки бензола и толуола в анилины, фенолы и другие функциональные производные включает предварительные стадии нитрования, сульфирования, хлорирования или введение других групп и их последующие превращения в целевые функциональные группы предлагается (как уже отмечалось выше) схема получения полифункциональных производных ароматического ряда, основанная на платформе одной базовой структуры 2,4,6 – тринитротолуола.

Эта схема, на наш взгляд, заслуживает дальнейшей, углубленной проработки, т.к. её реализация с одной стороны превращает ТНТ в сырьё двойного назначения, а с другой создаёт базу для развития отечественной малотоннажной химии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К., Деменко Ю.Г.* Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России. Проблема формирования национальной стратегии. Владивосток. Дальнаука, 1997, 83 с.
2. *World Commission on Environment and Development (WCED).* Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987, 8 p.
3. *M.L. Kastens, I. Kaplan.* Industrial and Engineering Chemistry, 1950, p. 402-413.
4. *Tartakovsky V.A., Shevelev S.A., Dutov M.D. et al.* Problems of trotil (TNT) processing into condensation monomers, polymers and dyes in “Conversion Concepts for Commercial Applications and Disposal Technologies of Energetic Systems” / Ed. H. Krause. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1997. P. 137.
5. *Тартаковский В.А., Шевелев С.А., Русанов А.Л.* Тротил – вещество для разрушения или молекула для создания? // Мат. XVI Менделеевского съезда по общей прикладной химии, май 1998 г. Секция. Состояние и развитие производства химических продуктов. Материалы будущего и нетрадиционные химические источники энергии. М., 1998. С. 504.
6. *Shevelev S.A., Tartakovsky V.A., Rusanov A.L.* Conversion of demilitarized TNT to higher value products in “Combustion of Energetic Materials” / Ed. K.K. Kuo, L.T. DeLuca. N. Y.: Begell House, Inc., 2002. P. 62.
7. *Тартаковский В.А., Шевелев С.А., Русанов А.Л.* 2,4,6 – тринитротолуол (тротил) как многоцелевое химическое сырьё // Док. На 4-й Междунар. конф. по внутрикамерным процессам и горению в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOC’2002), Россия, Москва, 12-15 ноября 2002 г.
8. *Грукова О.П.* Разработка методов получения и исследования свойств азокрасителей и пигментов из замещенных анилинов – продуктов химической модификации 2,4,6 – тринитротолуола. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2008г.

9. *Алексамян К.Г.* Синтез и свойства азосоединений на основе диаминов ряда бензофенона. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2008 г.
10. *Ушкаргов В.И.* Синтез и исследование свойств азосоединений на основе метилфлороглуцина. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2006 г.
11. *Алафинов А.И.* Синтез и исследование свойств производных метилфлороглуцина. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2013.
12. *Бобылев С.С.* Синтез и исследование некоторых свойств продуктов гетероциклизации 2,4,6 – тригидрокситолуола. Дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2015 г.
13. *Волянский О.В.* Комплексные соединений переходных металлов с новыми карбо (гетеро) циклическими хелатирующими лигандами. Синтез, строение, свойства. Дис. ... докт. хим. наук. Москва, 2017 г.
14. *Callum I. Me Hugh, Ruth Keir, Duncan Gaham, W. Ewen Smith.* Selectiv functionalisation of TNT for sensitive detection by SERRS. Chem. Comm. 2002. p. 580-581.
15. *Severin T., Loske I., Scheel D.* Transformation of aromatic nitro compounds with sodium borohydride. Chem. Ber. 1969, vol. 102 (11), p. 4152-4156.
16. *Шабуров В.В., Лебедев Б. А., Крауклиш И.В., Астратьев А.А., Артамонова Т.В.* Моно- и дисазопроизводные на основе 2,4,6 – триаминотолуола в качестве азокрасителей и способов их получения. Патент РФ 2102415.
17. Azo dyes. Пат. GB. 584731. (Basel gesellschaft fuer chemis). 1947.

УДК 66.011

**ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ
ENGINEERING EDUCATION AND SUSTAINABILITY****Доктор Томас Кифер
Dr. Thomas Kiefer**

*Генеральный секретарь немецкой организации научно-технических ассоциаций (DVT),
координатор по международным делам в VDI Ассоциации немецких инженеров
Secretary General of the German Organization of Technical-Scientific Associations (DVT) and
International Affairs Coordinator at VDI The Association of German Engineer*

Аннотация: рассмотрены текущие проблемы, с которыми сталкивается подготовка инженеров в разных странах и возможные подходы к их решению. Для решения проблем инженерного образования необходимо расширять и укреплять международное сотрудничество.

Abstract: the current problems faced by the training of engineers in different countries and possible approaches to their solution are considered. In order to solve the problems of engineering education, it is necessary to expand and strengthen international cooperation.

Ключевые слова: Инженерное образование, международное сотрудничество, развитие.

Keywords: Engineering education, international cooperation, sustainability.

The world is constantly changing. We are witnessing a time of very short innovation cycles and rapid technological development. Digital Transformation is having a tremendous effect on our way of life. Global challenges of climate change and the connected environmental issues are gaining importance. Globalization is progressing.

Those developments are also having an impact of the engineering profession.

The engineering education of the future has to take into account ongoing and coming changes. There is a need for modernization in order to enable current and future engineers to cope with those challenges. Engineering curricula and didactics have to be brought up-to-date to include current trends, e.g. digitalization, interdisciplinary approaches, etc.

In addition, due to the rate at which knowledge is getting outdated, it is necessary to raise the awareness of engineers and engineering companies of the need for life-long learning. Continuing professional development has to become a central part of each engineer's career planning.

Finally, engineers have to continue to further expand and strengthen their international cooperation. Many issues cannot be solved on a national basis. Engineering associations play a pivotal role in bringing the different approaches and competences necessary for problem solving together.

The presentation will give an overview over some of the current challenges the engineering profession is facing and over the possible approaches to deal with them.

Мир постоянно меняется. Мы являемся свидетелями очень коротких инновационных циклов и быстрого технологического развития. Цифровая трансформация оказывает огромное влияние на наш образ жизни. Глобальное изменение климата и связанные с ним экологические проблемы приобретают все большее значение. Глобализация прогрессирует. Эти события также оказывают влияние на профессию инженера.

Инженерное образование будущего должно учитывать происходящие и грядущие изменения. Существует необходимость в модернизации, с тем чтобы нынешние и будущие инженеры могли справиться с этими проблемами. Инженерные учебные планы и дидактика должны быть обновлены с учетом современных тенденций, таких как оцифровка, междисциплинарные подходы и т.д.

Кроме того, в связи со скоростью устаревания знаний необходимо повышать осведомленность инженеров и инжиниринговых компаний о необходимости обучения в течение всей жизни. Непрерывное профессиональное развитие должно стать центральной частью планирования карьеры каждого инженера.

Наконец, инженеры должны продолжать расширять и укреплять свое международное сотрудничество. Многие вопросы не могут быть решены на национальном уровне. Инженерные ассоциации играют ключевую роль в объединении различных подходов и компетенций, необходимых для решения проблем.

В презентации будет представлен обзор некоторых текущих проблем, с которыми сталкивается инженерная профессия, и возможных подходов к их решению.