

**ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
НАПРАВЛЕНИЙ, ИМЕЮЩИХ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ПРИКЛАДНОЙ  
ПОТЕНЦИАЛ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ,  
ПРЕДСТАВЛЕННЫЙ ИНСТИТУТАМИ РАН**

## СОДЕРЖАНИЕ

Состояние исследований и разработок в области критических технологий Российской Федерации (2005 г.) .....	4
1. Математическое обеспечение разработки и создания перспективных технологий .....	7
1.1 Алгебра и теория чисел .....	7
1.2. Геометрия и топология .....	8
1.3. Математический анализ.....	8
1.4. Дифференциальные уравнения и математическая физика .....	9
1.5. Теория вероятностей и математическая статистика.....	10
1.6. Математическая логика .....	11
1.7. Математическое моделирование и вычислительная математика .....	12
1.8. Теоретическая информатика и дискретная математика.....	17
1.9. Системное программирование .....	20
2. Технологии на базе новых физических принципов .....	31
2.1. Физика твердотельных наноструктур и мезоскопика.....	31
2.2. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе, нанокерамики, фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы. ....	33
2.3. Вакуумная СВЧ электроника.....	34
2.4. Актуальные проблемы лазерной физики. ....	36
2.5. Нелинейная акустика. Новые методы неразрушающего контроля и сейсмоакустического мониторинга.....	38
2.6 Низкочастотная гидроакустика. Методы и средства освещения подводной обстановки.....	40
2.7. Радиофизические методы исследования окружающей среды .....	42
3. Химические науки и материаловедение.....	46
3.1. Теоретическая химия и развитие методологии органического и неорганического синтеза, новые методы физико-химических исследований.....	46

3.2.	Современные проблемы химии материалов, включая наноматериалы....	50
3.3.	Химические аспекты экологии и рационального природопользования....	64
3.4.	Разработка новых технологий и средств утилизации Радиоактивных отходов. ....	67
3.5.	Химические аспекты энергетики: создание новых химических источников тока, разработка технологий получения топлив из ненефтяного и возобновляемого сырья, высокоэнергетические вещества и материалы .....	68
3.6.	Химические проблемы создания фармакологически активных .....	74
3.7.	Химия в интересах обороноспособности страны .....	78
4.	Биотехнологии.....	81
4.1.	Мировые тенденции развития «красной » биотехнологии .....	85
4.2.	Мировые тенденции развития «зеленой» биотехнологии. ....	90
4.3.	Мировые тенденции развития «белой» биотехнологии. ....	94
4.4.	Биотопливо.....	101
5.	Машиностроительные технологии .....	105
6.	Энергетика и энергетические технологии .....	117
7.	Науки о Земле и технологии рационального природопользования .....	129
7.1.	Разработка новых технологий в области освоения природных и техногенных месторождений .....	129
7.2.	Технология экономичного и экологически чистого способа освоения руд океана.....	141
7.3.	Технологии переработки отработавшего ядерного топлива .....	142
7.4.	Новые матричные материалы для иммобилизации высокосолевых радиоактивных отходов, содержащих актиниды, продукты деления и коррозии.....	145
7.5.	Технологии очистки воды.....	147

## Состояние исследований и разработок в области критических технологий Российской Федерации (2005 г.)

Лидирующие позиции России в области разработок относящихся к сфере критических технологий, по оценкам экспертов, наблюдаются в настоящее время лишь в отдельных достаточно узких технологических направлениях.

Критические технологии	Соответствие мировому уровню*
<b>Информационно-телекоммуникационные системы</b>	
Технологии создания интеллектуальных систем навигации и управления	1
Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации	1
Технологии распределенных вычислений и систем	1
Технологии производства программного обеспечения	3
Технологии создания электронной компонентной базы	1
Биоинформационные технологии	2
<b>Индустрия наносистем и материалы</b>	
Нанотехнологии и наноматериалы	1
Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров	2
Технологии создания и обработки кристаллических материалов	2
Технологии мехатроники и создания микросистемной техники	1
Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов	2
Технологии создания биосовместимых материалов	3
Технологии создания мембран и каталитических систем	3
<b>Живые системы</b>	
Технологии биоинженерии	3
Клеточные технологии	1
Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии	3
Биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных	2
Геномные и постгеномные технологии создания лекарственных средств	2
Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания	2
<b>Рациональное природопользование</b>	
Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы	3
Технологии оценки ресурсов и прогнозирования состояния литосферы и биосферы	3
Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф	2
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов	2
Технологии экологически безопасной разработки месторождений и добычи полезных ископаемых	2
<b>Энергетика и энергосбережение</b>	
Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом	3
Технологии водородной энергетики	3
Технологии производства топлив и энергии из органического сырья	1

Критические технологии	Соответствие мировому уровню*
Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии	2
Технологии новых и возобновляемых источников энергии	1
<b>Транспортные и авиационно-космические технологии</b>	
Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники	2
Технологии создания и управления новыми видами транспортных систем	1
Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем	1

1 – российские разработки в целом уступают мировому уровню и лишь в отдельных областях уровень сопоставим;

2 – российские разработки в целом соответствуют мировому уровню;

3 – уровень российских разработок соответствует мировому, а в отдельных областях Россия лидирует.

Более того, в ряде областей отставание от мировых лидеров даже увеличилось в связи с исчерпанием имевшихся ранее научных заделов и отсутствием условий для полноценного развития новых направлений. Это отставание наряду с традиционной неразвитостью механизмов коммерциализации технологий не позволяет осуществить прорыв на важнейших направлениях глобального инновационного развития, усилить позиции страны на высокотехнологичных рынках.

Таким образом, сегодня российский сектор науки и высоких технологий, в значительной мере, генерирует идеи и, частично, элементы технологических решений, которые доводятся до готовых комплексных решений в странах- конкурентах России, а затем импортируются обратно вместе с оборудованием.

В то же время следует отметить некоторое улучшение ситуации в сфере науки и технологий, связанное с ростом бюджетного финансирования исследований и разработок. Возросшая активность научно-технической деятельности в России создает условия для ускоренного развития важнейших технологических направлений и реализации на их основе ряда высокотехнологичных рыночных продуктов, конкурентоспособных на внутреннем и мировом рынках.

Из «Перечня» критических технологий в прогнозном научно-технологическом развитии России до 2030 г. наибольшее значение имеют следующие показатели, по которым Россия занимает ряд ведущих позиций:

- Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии.
- Технологии водородной энергетики.
- Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.
- Технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.
- Технологии снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф.
- Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники.

**Критические технологии, по которым необходима постановка дополнительных фундаментальных и поисковых исследований применительно к задачам машиностроительного комплекса:**

- Нанотехнологии и технологии создания наноматериалов.
- Технологии производства металлов и сплавов со специальными свойствами, используемых при производстве вооружения и военной техники.

- Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов.
- Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии.
- Технологии экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания.

В перспективе Россия может достичь 5-10% доли на рынках высокотехнологичных товаров и интеллектуальных услуг по 8-10 позициям, включая:

- ядерные технологии;
- авиастроение;
- судостроение;
- программное обеспечение;
- вооружения и военная техника;
- образовательные услуги;
- космические услуги и производство ракетно-космической техники.

Наряду с этим Россия может занимать ведущие позиции в фундаментальных и прикладных научных разработках и связанных с ними технологиях (ИТ, нано-, биотехнологии и т.д.).

## 1. Математическое обеспечение разработки и создания перспективных технологий

Стратегическое направление математических исследований во многом определяется прогрессом в решении стоящих перед этой наукой фундаментальных проблем и наличием перспективных приложений. Большинство приложений математики относится традиционно к естественным наукам, для которых математика играет роль универсального языка, однако характерной чертой XX и, тем более, XXI века является интенсивное проникновение математики в гуманитарные науки, такие как экономика, социология, лингвистика и т.д.

### 1.1. Алгебра и теория чисел

*Алгебраическая геометрия* в конце XX века заняла одно из центральных мест в математике во многом благодаря ее тесным связям с другими направлениями, в первую очередь, с теорией чисел и математической физикой. К наиболее известным примерам взаимодействия алгебраической геометрии с этими областями математики относятся: в теории чисел – доказательство гипотез Вейля и Морделла и Великой теоремы Ферма, в математической физике – описание инстантонных решений в калибровочной теории поля, конструкция солитонных решений нелинейных интегрируемых систем, описание зеркальной симметрии в теории струн. Можно с уверенностью предположить, что подобные связи будут только укрепляться, что приведет к решению многочисленных задач, не поддававшихся до сих пор усилиям математиков. Можно ожидать больших сдвигов в бирациональной классификации алгебраических многообразий размерности больше 3, в частности, в программе минимальных моделей. По-видимому, получит обоснование теория мотивов и будет завершена классификация циклов. Можно ожидать доказательства известных гипотез Ходжа и Тейта, при этом существенную роль должна сыграть алгебраическая K-теория. Собственно в алгебре дальнейшее развитие получают теория алгебраических групп и их инвариантов, гомологическая алгебра (в особенности, теория категорий).

Методы алгебраической геометрии прочно вошли в арсенал современной теоретической физики. На этом пути можно ожидать существенного продвижения в теории зеркальной симметрии с использованием новейших достижений теории производных категорий. Потребностями теоретической физики будет, во многом, определяться дальнейший прогресс в некоммутативной алгебраической геометрии и теории векторных расслоений. Можно, в частности, ожидать доказательства гипотезы об S-двойственности в квантовой теории поля.

*В алгебраической теории чисел* центром «притяжения» усилий многих математиков будут оставаться известные гипотезы о дзета-функциях алгебраических многообразий, а именно, гипотезы Хассе-Вейля, Берча-Свиннертон-Дайера и др., в доказательстве которых определяющую роль должна сыграть адельная теория. В теории диофантовых уравнений будет, по-видимому, найдено эффективное доказательство гипотезы Морделла и получены ее обобщения на многообразия высших размерностей. Следует также ожидать решения проблемы ранга для эллиптических кривых.

Весьма перспективными выглядят приложения неархимедовых метрик и пространств в физике (квантовая оптика), биологии (описание динамики белковых молекул и других иерархических систем), а также гуманитарных науках (экономика, социология, когнитивная наука).

*В аналитической теории чисел* главной проблемой, определяющей «лицо» этой теории, остается гипотеза Римана о нулях дзета-функции. Можно ожидать если не полного доказательства этой гипотезы, то, по крайней мере, существенных продвижений в ее

решении. Достижения в этом направлении безусловно приведут к новым результатам о характере распределения простых чисел.

## **1.2. Геометрия и топология**

Исследование трехмерных многообразий с помощью потоков Риччи, приведшее к доказательству гипотез Пуанкаре и Терстона, открыло новое направление в трехмерной топологии, бурного развития которого можно ожидать в ближайшие годы. Известной проблемой топологии остается описание гомотопических групп сфер. Не менее важной задачей, определяющей развитие современной топологии, является классификация особенностей и узлов. В гладкой топологии центральной проблемой остается поиск новых инвариантов гладких многообразий. В последние годы XX века был достигнут большой прогресс в этом направлении, связанный с открытием инвариантов Дональдсона и Зайберга-Виттена. Можно ожидать, что подробное исследование указанных и открытие новых, еще не известных науке, инвариантов гладких многообразий позволит получить классификацию 4-мерных симплектических многообразий. Другим направлением, уже приведшим к доказательству нескольких впечатляющих результатов, является некоммутативная геометрия. Можно ожидать дальнейшего внедрения ее методов в современную топологию. Большое внимание привлекают достижения асимптотической геометрии и теории квазиизометрических отображений, полученные в последние годы.

Во второй половине XX века методы топологии широко проникли в современную теоретическую физику. Достаточно упомянуть ее впечатляющие применения в космологии, квантовой теории поля, статистической физике. Во многом потребностями современной теоретической физики (теории струн) определялось развитие направления дифференциальной геометрии, связанного с доказательством существования метрик Кэлера-Эйнштейна на многообразиях Калаби-Яу. Можно ожидать, что на этом пути будет полностью решен вопрос о существовании указанных метрик на общих многообразиях Фано. Традиционными являются применения геометрии и топологии в качественных задачах механики, теории оптимального управления, математической экономики.

## **1.3. Математический анализ**

*В теории функций вещественных переменных* одну из центральных ролей будет по-прежнему играть теория приближений. Наряду с традиционными приближениями полиномами (алгебраическими и тригонометрическими) пристальное внимание привлекут разложения по другим системам функций (в качестве примера упомянем актуальную ныне теорию всплесков). Новые задачи в этой области будут возникать на стыке с другими областями математики (такими, как теория чисел и комбинаторика), а также диктоваться приложениями вещественного анализа и теории приближений в теории хранения, передачи и поиска информации (упомянем в качестве примера глобальные поисковые системы в Интернете). По-прежнему, большое значение будет придаваться развитию многомерного гармонического анализа и разработке эффективных методов приближенных вычислений (кубатурные формулы).

Последние десятилетия XX века характеризовались активным проникновением методов *комплексного анализа* в дифференциальную и, особенно, симплектическую геометрию (исследования Громова, Дональдсона и др.). С другой стороны, такие классические атрибуты комплексного анализа, как пространства Тейхмюллера римановых поверхностей, комплексные структуры и т.д. стали обычным инструментом в арсенале современной теоретической физики. Теория приближений аналитических функций нашла свое применение не только в физике (где использование аппроксимаций Паде можно уже считать традиционным), но и в теории чисел, теории информации и т.д. В многомерном комплексном анализе возникло новое направление, связанное с объединением комплексной дифференциальной геометрии, топологии и симплектической геометрии, с одной стороны, и математической физики, с другой. Одной из наиболее известных



проблем комплексного анализа, оставшейся нерешенной в XX веке, остается проблема якобиана.

Развитие *функционального анализа* будет по-прежнему определяться его приложениями в механике и теоретической физике. В связи с теорией струн особое значение приобрела теория представлений бесконечномерных групп Ли. Квантовые группы и более экзотические алгебраические структуры постоянно возникают в работах физиков и требуют от математиков их тщательного изучения. Некоммутативная геометрия вдохнула новую жизнь в теорию алгебр операторов и можно ожидать дальнейшего развития этой теории в ближайшие годы.

#### **1.4. Дифференциальные уравнения и математическая физика**

*В теории динамических систем* последнее время уделялось большое внимание системам, происходящим из алгебры и теории чисел. Благодаря проникновению в эти дисциплины методов дифференциальных уравнений, удалось получить доказательство известной гипотезы Оппенгейма и многомерной теоремы Семереди. Следует ожидать, что указанное взаимодействие в последующие годы будет укрепляться. Другой особенностью теории динамических систем в последние годы XX века является переход от исследования нелинейных колебаний систем с конечным числом степеней свободы к изучению систем с распределенными параметрами (автоволны). «Знаменем времени» в теории динамических систем является сопоставление регулярного и хаотического поведения в сложных системах (в частности, большое внимание привлекает исследование хаотической динамики бесконечномерных гамильтоновых систем). В перспективе речь идет о построении математической теории хаоса (важным шагом в этом направлении может стать доказательство гипотезы о положительности метрической энергии в типичных системах).

Указанные исследования смыкаются с изучением системы уравнений Навье-Стокса. Проблему существования и регулярности глобального решения этой системы с гладкими начальными данными можно поставить в один ряд с упомянутыми гипотезами Римана и Пуанкаре. Эта проблема имеет ключевое значение для понимания широкого класса математических моделей механики сплошной среды. Прогресс в ее решении неизбежно приведет к продвижению в построении математической теории турбулентности. Классификация особенностей решений, исследование разрушения решений и анализ сингулярных решений (таких, как ударные волны) остаются главными задачами теории уравнений с частными производными. Здесь также можно ожидать серьезных достижений уже в ближайшем будущем.

Возникшее во второй половине XX века направление, связанное с исследованием интегрируемых систем, ныне превратилось в одно из стратегических направлений современной теории уравнений с частными производными. Оно характеризуется широким использованием целого арсенала средств современной математики – от алгебры и алгебраической геометрии до комплексного и функционального анализа с широким привлечением топологии и дифференциальной геометрии. Развитие этого направления связано с дальнейшим исследованием уравнения Кадомцева-Петвиашвили и других многомерных интегрируемых систем. Важное значение имеет изучение эволюции медленных переменных в системах, близких к интегрируемым (диффузия Арнольда).

*В математической теории оптимального управления и теории дифференциальных игр* в последнее время вызывают повышенный интерес задачи, возникающие в физике, биологии и экономике. Для их исследования требуется дальнейшее развитие методов оптимального управления системами с распределенными параметрами, системами с бесконечным временным горизонтом, системами с импульсными управлениями, гибридными системами и т.д. В обратных задачах теории управления все большее внимание привлекают постановки, выходящие за рамки обыкновенных дифференциальных уравнений, относящиеся к уравнениям с запаздыванием, уравнениям с

частными производными и т.д. Особый интерес вызывают нелинейные задачи теории оптимальных процессов и дифференциальных игр. В этом направлении будут интенсивно развиваться геометрическая теория управления, негладкий анализ и теория особых режимов (включающих скользящие режимы и четтеринги).

Современная *математическая физика* охватывает широкий спектр математических задач, возникающих в механике, теоретической физике и других естественных науках. Столь же широк арсенал используемых ею средств, относящихся практически ко всем разделам математики. Выделим отдельные принципиальные проблемы, привлекавшие к себе внимание специалистов в последнее время. Одной из основных задач, стоящих перед теоретической и математической физикой, является построение математической теории калибровочных полей с применением к единой теории взаимодействия элементарных частиц (хотя для полного решения этой задачи потребуются, возможно, не одно десятилетие). В рамках исследований, посвященных этой обширной теме, будут, возможно, решены проблема конфайнмента (удержания кварков), вопрос о существовании кварк-глюонной плазмы, понимание природы механизма спонтанного нарушения симметрии и т.д. Другим направлением, получившим в последнее время значительный импульс, является изучение процессов, лежащих в основе строения и развития Вселенной. На этом пути можно, в частности, ожидать существенного прогресса в построении математической теории черных дыр (например, решения проблемы потери информации при хоккингском испарении), прояснении природы «темной материи» и т.д. В далекой перспективе речь может идти о построении единой теории поля, объединяющей гравитацию с другими видами взаимодействий. В области физики твердого тела следует ожидать серьезных продвижений в исследовании свойств конденсированных систем и создании новых материалов, что с неизбежностью приведет к многочисленным технологическим приложениям, в том числе в области нанотехнологий.

Фундаментальные проблемы, возникающие в теории наносистем, приобрели в последнее время особую актуальность. Одна из центральных – проблема необратимости времени, возникающая при переходе от микромира к макромиру – может получить свое решение на основе математической теории наносистем. Эта теория может оказать решающее воздействие и на исследования задач, возникающих в квантовой теории информации, в процессах самоорганизации белковых молекул и т.д.

### **1.5. Теория вероятностей и математическая статистика**

Применения вероятностных методов охватывают всю современную математику: от геометрии, алгебры, теории представлений и комплексного анализа до теории чисел и теории алгоритмов. Стохастические методы лежат в основе современной теоретической физики (достаточно упомянуть квантовую и статистическую механику). Сложные многокомпонентные системы, возникающие в биологии, экономике, информатике, также требуют применения стохастического анализа.

В ближайшие десятилетия получит существенное развитие некоммутативная теория вероятностей, приобретающая особое значение в связи с приложениями в *квантовой информатике*. Это новая научная дисциплина, изучающая способы хранения, передачи и переработки информации в системах, подчиняющихся законам квантовой механики. На ее основе разрабатываются обоснованные принципы рационального и помехоустойчивого дизайна указанных систем. Квантовая теория информации тесно связана с изучением вероятностей на некоммутативных алгебраических структурах, асимптотической теорией случайных операторов и матриц и т.д. Укажем ряд фундаментальных проблем, определяющих стратегическое направление развития этой новой науки. Одной из центральных проблем квантовой теории информации является гипотеза об аддитивности основных энтропийных характеристик квантовых каналов связи относительно тензорного произведения (иначе говоря, при использовании параллельных каналов связи). Не менее важное значение имеет исследование феномена сцепленности квантовых состояний.

Указанное свойство является специфически квантовым ресурсом, открывающим принципиально новые возможности в области моделирования сложных квантовых систем, поиска эффективных вычислительных алгоритмов и коммуникационных протоколов. Отдельной задачей является разработка новых методов оценивания параметров состояния квантовых систем, опирающаяся на некоммутативное обобщение методов математической статистики. Будут развиваться и непараметрические методы (например, метод квантовой томографии матрицы плотности). Важное значение приобретет построение и изучение динамических (в частности, марковских) моделей квантовых каналов с памятью, основанных на принципах теории открытых квантовых систем, и методов нахождения их информационных характеристик. Все большее внимание будет уделяться системам с непрерывными переменными, основанным на принципах квантовой оптики. Многие эксперименты по квантовой обработке информации, включая сверхплотное кодирование и телепортацию фотонных состояний, а также квантовые криптографические протоколы, реализуются именно в подобных системах. Математическая сторона вопроса связана с исследованием канонических коммутационных соотношений. Возникшая здесь гипотеза о гауссовых оптимизаторах сопоставима по сложности с проблемой аддитивности и, по-видимому, тесно с ней связана.

Современное развитие информационных технологий в направлении микроминиатюризации заставляет предположить, что в ближайшие десятилетия ограничения, диктуемые квантово-механической природой носителей информации, станут основным фактором, определяющим развитие принципов обработки и передачи данных. В этой ситуации теоретические разработки в области квантовой информатики позволят раскрыть новые возможности, заложенные в использовании квантовых ресурсов в информационных системах.

В то же время дальнейшее развитие получают традиционные области теории вероятностей: стохастическое дифференциальное и интегральное исчисление, теория мартингалов и т.д. Будут развиваться и применения этих методов в биологии (например, при расшифровке генома человека), финансовой и страховой математике, экономике (например, при построении моделей финансовых рынков) и т.д.

## **1.6. Математическая логика**

*Математическая логика* возникла в начале XX века на пути разрешения кризиса в основаниях математики. Однако разработанные в это время концепции и методы нашли впоследствии значительно более широкое, в том числе, практическое применение (достаточно упомянуть идею универсального компьютера, заложенную в машинах Тьюринга и Поста). Повсеместное распространение компьютеров (в особенности, персональных) во второй половине XX века привело сначала к бурному развитию теории автоматов и теории вычислительной сложности, а затем к возникновению таких направлений, как теория распределенных вычислений, теория коммуникационной сложности, криптография с открытым ключом и т.д. С другой стороны, использование языков программирования высокого уровня привело к появлению принципиально новых направлений в программировании (таких, как логическое и функциональное программирование).

Трудно делать прогнозы о том, какую именно форму приобретет в ближайшем будущем взаимодействие человека и компьютера. Одной из принципиальных задач в этом направлении является создание квантового компьютера. Дальнейший прогресс в теории квантовых вычислений, возникшей после работы Шора (относящейся к теории вычислительной сложности), во многом связан с практическими проблемами, возникающими при решении указанной задачи. Следует также ожидать дальнейшего развития систем автоматического и интерактивного доказательства математических теорем, развивающихся на основе теории доказательств.

## 1.7. Математическое моделирование и вычислительная математика

### 1.7.1. Вычислительная математика

Разработка принципиально новых технологий решения многомерных задач на основе алгоритмов сублинейной сложности по числу точек расчетной области (преодоление «проклятия размерности») и тензорных методов с локально-иерархической адаптацией к особенностям решения. Разработка комплексных технологий моделирования сложных систем на основе исходных физических принципов и новых поколений вычислительных систем. Развитие и внедрение в широкую практику современных технологий решения обратных задач, ассимиляции данных и оптимального управления решениями сложных систем.

Данные технологии определяют новое лицо вычислительной математики 21 века и относятся к приоритетным направлениям исследований с международно признанным вкладом российских ученых.

### 1.7.2. Математическое моделирование и высокопроизводительные вычисления

**Мировые тенденции.** Математическое моделирование с использованием ЭВМ показало свою мощь еще в начале 1950-х годов в связи с разработкой ракетно-ядерного оружия. В настоящее время в различных областях науки, техники, экономики уже доминирует мысль о желательности или даже необходимости решении своих проблем методами математического моделирования, имеется разветвленный рынок коммерческого программного продукта с оборотом более 100 млрд. долларов. Суть нового этапа в развитии математического моделирования заключается в следующем.

Гарантирован стабильно высокий рост производительности вычислительной техники: с ожиданием 1 EXOFLOPS=1000 PFLOPS к 2017 г. и 1000 EXOFLOPS (1018 FLOPS) к 2025-2030 гг, причем не в единичных экземплярах, а массово. В ближайшее время в России системы с производительностью 100 TFLOPS станут достаточно распространенным явлением. Более того, к 2010-2011 гг. планируется выпуск в продажу ноутбуков с производительностью 1 TFLOPS.

Рост вычислительных мощностей расширяет возможности математического моделирования с учетом взаимодействия многих факторов (гидродинамических, физических, электромагнитных и т.д.), сложной геометрии, оптимизации с перебором большого количества вариантов, работы с базами данных сверхбольшого объема, увеличением точности, возможностью управления в реальном времени. Математическое моделирование является мотором для развития других прорывных технологий (в том числе нанотехнологий) и решающим фактором ускорения научно-технического прогресса, включая отрасли оборонной промышленности, экономики, управления и экологии. Для России математическое моделирование становится важнейшим фактором национальной безопасности. На его основе индустрия создания коммерческого программного обеспечения для массового использования сделает резкий скачок по сравнению с ныне существующим уровнем и станет одной из важных отраслей мировой экономики.

Нужно признать, что фантастические возможности роста производительности вычислительной техники используются лишь в незначительной мере. Причина в том, что применение высокопроизводительных систем требует принципиально новых вычислительных алгоритмов и математических моделей с новыми свойствами. Ситуация с алгоритмами, программным инструментарием и моделями поистине является революционной и схожа с ситуацией начала 50-х годов прошлого века, когда буквально за несколько лет в связи с появлением первых ЭВМ были заложены основы современной прикладной математики и программирования. Вот некоторые новые темы: корректность исходных математических моделей и алгоритмов; кинетические и сеточные схемы Больцмана; «разрывный» метод Галеркина; неструктурированные и динамически

адаптивные сетки; визуализация данных высокопроизводительных вычислений; рациональное разбиение на подобласти; CAD-технологии; GRID-технологии и метакомпьютинг. Характерной особенностью математического моделирования на высокопроизводительных системах является тесное переплетение конкретных физических знаний и методов общей математики, синтез методов прикладной математики и современного программирования. Залогом успешного развития является организация специализированной подготовки кадров для данного направления.

Активно создаются математические модели для новых приложений, например для изучения транспортных потоков на городских магистралях или социально-экономических процессов.

На основе современных технологий математического моделирования намечается резкое увеличение объема рынка коммерческого программного продукта (для этого за рубежом создаются центры индустриальной математики).

**Состояние дел в России.** Имеется солидный многолетний опыт математического моделирования в различных областях знаний и технологий, а за последний год в особенности – интенсивное оснащение высокопроизводительной вычислительной техникой (отечественного и зарубежного производства) университетов и научно-исследовательских институтов. Существует некоторый, даже несколько опережающий зарубежных коллег, опыт использования систем сверхвысокой производительности. В плане создания новых моделей, алгоритмов прикладного программного продукта отечественные специалисты находятся на одном уровне со специалистами ведущих стран. Отставание в разработке тех или иных частных проблем может быть успешно компенсировано за счет получения соответствующей информации из научной литературы и конференций.

Для сохранения существующего положения и упрочнения позиций России в этом перспективном секторе необходимо придать соответствующим исследованиям целенаправленный характер в виде создания соответствующих целевых программ (в настоящее время эти исследования в различных организациях и группах достаточно разнонаправлены и зачастую не скоординированы). Кроме того, нужно придать целенаправленный характер подготовке специалистов высшей квалификации по специальности «математическое моделирование на высокопроизводительных системах» в небольшом числе ведущих ВУЗов страны.

**Перспективные потребности в продукции отрасли.** Ведущие отрасли современной отечественной промышленности (авиакосмическая промышленность, нанотехнологии, энергетика, добыча углеводородного сырья и др.) испытывают реальную потребность в программном продукте для моделирования на высокопроизводительных системах. Хотя ниша программного продукта для вычислительных систем небольшой и средней производительности занята зарубежными фирмами, у российских фирм существует реальный шанс занять достойную долю в секторе рынка программного продукта для высокопроизводительных вычислений.

**Сценарий развития.** Необходима целевая программа с финансированием до 10 млрд./руб. в год по развитию фундаментальных исследований в области математического моделирования и высокопроизводительных вычислений. В течение 2009 г. Следует разработать программу обучения по указанному направлению нескольких групп высококвалифицированных специалистов. Предусмотреть массовое обучение в центрах переподготовки специалистов в различных областях науки и техники как высококвалифицированных пользователей – основой таких центров могли бы стать коллективы преподавателей указанных ВУЗов и НИИ. Для инновационных подразделений, занятых созданием коммерческого программного продукта, предусмотреть отказ или резкое сокращение арендной платы.

В России сложились условия для выхода страны на ведущие позиции в этом направлении уже к 2020 году. Для этого необходимо выполнение ряда условий, а именно: целевая

программа фундаментальных исследований, подготовка кадров, инновационные подразделения. Оценка финансовых дополнительных затрат бюджета порядка 15 млрд. руб./год.

**Развитие гибридных математических моделей взаимного влияния различных процессов.** Создание многоцелевой автоматизированной системы для сквозного компьютерного проектирования и моделирования объектов ядерной энергетики. Разработка механико-математических моделей, численных методов и вычислительных алгоритмов для проектно-предсказательного моделирования поведения движущихся подводных объектов при действии интенсивных статических и динамических нагрузок, исследования динамики ядерных энергетических установок с учетом нейтронной физики и тепло-массообмена в многофазных течениях, обтекания подводных объектов с учетом свободной поверхности. Математическое моделирование газовых центрифуг. Численное моделирование лазерных технологий обработки материалов для экстремальных условий эксплуатации. Разработка математических моделей и программных комплексов для совместного решения задач аэродинамики, акустики и горения в областях произвольной формы с использованием многопроцессорных супер-ЭВМ, совместного численного моделирования динамики реагирующих потоков в импульсных тепловых машинах, транс-, сверх- и гиперзвукового обтекания тел со сложной геометрией, динамических задач прочности сложных изделий машиностроения. Разработка технологий «виртуального» конструирования и многокритериальной оптимизации, технологий воздействия на механические свойства, кристаллическую структуру и упрочнение твердых сплавов на основе облучения малыми дозами ионизирующих излучений. Исследование распространения мощных сверхширокополосных радиоимпульсов на дальние расстояния в атмосфере.

**Методы оптимизации и управления.** Разработка новых эффективных алгоритмов решения задач математического программирования и их теоретическое обоснование. Построение двойственного барьерно-проективного метода для задач полуопределенного программирования. Реализация метода ветвей и границ для решения задач глобальной оптимизации. Исследование задач граничного управления. Построение и исследование функционала Лагранжа для градиентных сред.

**Конкретные актуальные задачи.** Моделирование течений газа с учетом внутренних энергий молекул на основе решения кинетических уравнений. Тестирование методов для исследования течений газов с внутренними степенями свободы, решение пространственных задач. Разработка, построение и теоретическое обоснование новых эффективных численных методов и алгоритмов решения важнейших задач механики сплошной среды: гидродинамики, теории упругости и термопластичности. Разработка метода расчета напряженно-деформированного состояния в парах трения и прокладках нефтедобывающих опор при их колебательных режимах нагружения. Разработка аналитико-численных методов с применением теории функций комплексных переменных для расчета вторичных течений несжимаемой вязкой жидкости в прямой трубе. Математическое и компьютерное моделирование квазистатических процессов фильтрации жидкости в окрестности цилиндрической скважины в цементированной горной породе. Совершенствование методов решения сингулярных задач вычислительной математики и математической физики. Исследование задачи оптимального управления процессом кристаллизации вещества. Применение асимптотического подхода в теории устойчивости и восприимчивости пограничного слоя.

**Технологии преобразования, анализа и структуризации данных.** Технологии преобразования, структуризации, сжатия и восстановления данных на основе теории и методов матрично-тензорной алгебры и нелинейной аппроксимации в задачах обработки, кодирования, передачи и анализа различных, в том числе сверхбольших, массивов данных. Эффективные методы представления и сжатия информации необходимы в задачах вычислительной математики (теория потенциала, метод частиц, квантовая химия

и т.д.), в задачах поиска закономерностей в данных различной природы (медико-биологических, финансовых, социальных и др.), в задачах криптографии и кодирования данных, в задачах разделения и обработки сигналов в многоантенных (многоканальных) системах беспроводной связи, при разработке высокопроизводительных программных комплексов на параллельных, распределенных и специализированных вычислительных системах.

### **1.7.3. Математическое моделирование климата**

Создание модели климатической системы, способной усваивать всю доступную асинхронную информацию о состоянии климатической системы, давая синхронные срезы ее состояния и прогноз на будущее (единая модель прогноза погоды и прогноза изменений климата).

Разработка современной модели климата является очень сложной задачей, требующей кооперации многих исследовательских коллективов. В мире имеется порядка 30 моделей высокого уровня, единственная модель такого класса в России разработана в ИВМ РАН. Новая модель должна включать углеродный цикл, химические трансформации малых газовых примесей, систему четырехмерного усвоения данных для атмосферы и Мирового океана. Новое качество модели должно быть получено за счет современных алгоритмов и технологий на параллельных и специализированных вычислительных системах.

### **1.7.4. Космические исследования**

**Мировые тенденции.** Прежде всего, это полёты автоматических космических аппаратов (КА) к планетам Солнечной системы с выходом КА на орбиты искусственных спутников планеты, с посадкой аппаратов на ее поверхность. Главной целью исследований является поиск элементов жизни, воды, анализ химического состава пород, морфологии поверхности, газового состава атмосферы, климата и др. Речь идет о полетах к ближним планетам (Марс, Венера, Меркурий) и дальним планетам (Юпитер, Сатурн). Наряду с США, в планетные исследования включились страны Европейского космического агентства, на подходе Япония, Индия, Китай. Нарастает темп отдельных исследований Луны. Межпланетные полеты КА уверенно обеспечиваются высокоточными наземными и бортовыми средствами навигации.

**Состояние дел в России.** За последние 20 лет в межпланетное космическое пространство не выведен ни один советский или российский автоматический КА. Поэтому исключительное значение имеет инициированный ИПМ РАН проект «Фобос-Грунт» по организации доставки на Землю реликтового вещества с Фобоса – спутника Марса. Методы прикладной математики необходимы для решения задач баллистики, навигации и управления полетом КА на всех этапах полета: выбор схемы полета, состава и точности наземных и бортовых средств навигационных измерений, программы работы этих средств.

**Прогноз развития.** До недавнего времени (а в нашей стране и по сей день) для навигационного обеспечения полета околоземных КА использовались наземные радиотехнические и оптические измерительные средства. Новые возможности связаны с радиотехническими системами спутниковой навигации.

Необходимо также решать комплекс задач по анализу техногенной засоренности околоземного космического пространства (ОКП) оптическими и радиолокационными средствами, разработке и созданию динамических моделей состояния ОКП. В ИПМ создан Центр по сбору измерительной информации об объектах техногенного происхождения в ОКП, ее хранению, обработке и анализу. Осуществляется развитие и координация работ «Научной сети оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений техногенных объектов» (НСОИ АФН). На начало 2008 г. НСОИ АФН объединяет: 18 научных учреждений, 25 телескопов, более 50 наблюдателей и исследователей. В результате выполненных работ произведен качественный скачок:

контролируется вся область и налажены регулярные обзоры в широкой полосе, достигнута полнота информации по объектам ярче  $15^m$ . Налажен процесс обнаружения и устойчивого сопровождения значительного количества малоразмерных фрагментов на высоких орбитах (всего получено более 100000 измерений по  $\approx 450$  фрагментам). Объем и качественные показатели результатов находятся на самом высоком уровне и превосходят во многом результаты зарубежных ученых.

#### **1.7.5. Математическое моделирование в задачах робототехники**

**Мировые тенденции.** Решаются задачи группового взаимодействия роботов (в дружественной и антагонистической ситуации). Разрабатываются мобильные и шагающие роботы, способные перемещаться по сложным поверхностям (по вертикальным стенам и в условиях заранее неопределенного окружения). Интенсивно развиваются подводная робототехника и беспилотные летательные аппараты, приложения в медицине (стандартные хирургические операции, реабилитация больных, создание микро и нано роботов для диагностических целей и т.д.), роботизированные рабочие места (например, в угледобывающей промышленности), военные применения роботов, антропоморфные роботы (индивидуальные помощники человека).

**Состояние дел в России.** После 90-х годов практически прекращено финансирование всех новейших разработок, указанные направления в России поддерживаются на инициативном уровне.

**Стратегия развития робототехники в России.** Развитие технологий создания *дешёвых* промышленных роботов как средств дешевого обновления производства – единственная реальная возможность выхода российских разработок на мировой рынок.

**Перспективные потребности в продукции отрасли.** Робототехнические устройства необходимы в опасных для человека либо труднодоступных местах: исследования подводных объектов (например, в интересах нефтедобычи, добычи редкоземельных минералов и металлов), космические исследования в части противодействия военным объектам, исследования планет солнечной системы, медицинские потребности, добыча полезных ископаемых.

**Технологии, по которым Россия находится на мировом уровне:** технология создания автономных подводных роботов; алгоритмы анализа зрительной информации на автотрассах; взаимодействие роботов с движущимися объектами; автономная сборка изделий машиностроения; мобильные роботы с элементами искусственного интеллекта, способные перемещаться по маякам в заранее неопределенной среде.

**Технологии, необходимые для реализации конкретных задач.** Полномасштабная обработка зрительной и слуховой информации для задач ориентирования и общения роботов. Полномасштабная обработка интегральной сенсорной информации – температуры, запаха, газового состава, радиации, многомерной тактильной (контактной) информации по типу искусственной кожи.

#### **1.7.6. Математическое моделирование ядерных энергетических установок (ЯЭУ)**

**Состояние дел в России.** Передовые страны не видят разумной альтернативы ядерной энергетике. В России разработана *ближнесрочная стратегия* (до 2020 года) для создания технической базы решения проблемы энергообеспечения страны и развития регионального энергоснабжения на базе АЭС малой и средней мощности. Однако принятые решения недостаточны для преодоления будущего энергетического кризиса и не подкреплены адекватным финансированием. На самом высоком уровне должно быть принято решение об интенсификации работ в области ядерной энергетики.

**Перспективные потребности в продукции отрасли.** ФЦП по развитию атомной энергетики на 2006-2015 годы предусматривает введение в 2009-2011 годах в эксплуатацию энергетических мощностей в общем объеме 2 ГВт, а с 2012 года планируется вводить ежегодно по два энергоблока мощностью 1 ГВт каждый плюс еще 2



энергоблока ежегодно за рубежом. При условии успешной реализации ФЦП после 2015 г. атомная энергетика России сможет выйти на самокупаемость.

Математическая модель ЯЭУ представляет собой симбиоз практически всех областей науки и техники: задачи теории переноса нейтронов и гамма-квантов; задачи тепло массопереноса в полной постановке; задачи упругопластики, деформации и разрушения; задачи магнитной гидродинамики; задачи оптимального управления; задачи оптимизации конструкций ЯЭУ; решение обратных задач; теория устойчивости и управления. Отдельного рассмотрения требует моделирование важных компонент за пределами активной зоны (парогенератор, насос, трубопроводы и т.д.). При создании нового поколения программных средств необходимо опираться на обширный парк расчетных программ, на разработку которых уже затрачено несколько тысяч человеко-лет.

**Основные задачи математического моделирования ЯЭУ.** Математическая модель в своем материальном воплощении должна представлять собой единый комплекс взаимосвязанных программ, моделирующих с разной степенью точности (в зависимости от типа решаемой задачи) все основные физические процессы, определяющие поведение энергоустановки. С учетом определяющих физических процессов в ЯЭУ в расчетных цепочках должны взаимодействовать различные методики и модели переноса нейтральных и заряженных частиц, нейтронной физики, теплофизики и гидродинамики. Комплексная модель должна позволять рассчитывать как стационарный, так и нестационарные режимы работы. Моделирование должно проводиться в двумерной и трехмерной геометриях.

В настоящее время ни в одной организации России комплексной полномасштабной математической модели для расчета ЯЭУ нет, а недостаток точности решений восполняется подгонкой моделей на многочисленных экспериментах. Зарубежные комплексные математические модели невозможно использовать из-за специфики наших ядерных установок и применяемых материалов. В каждой развитой ядерной стране существуют 2-3 трехмерные программы для расчета реальных временных процессов в кинетическом приближении, ориентированные на суперкомпьютеры и ядерные установки, используемые в данной стране. Поскольку в России подобного рода комплексы программ в настоящее время отсутствуют, насущной целью является разработка параллельных методов и машинно-независимого комплекса программ для расчета трехмерного уравнения переноса. Актуально внедрение нерегулярных сеток, построение конечно-разностных аппроксимаций на таких сетках и разработка новых методов для случаев, когда свойства среды меняются скачкообразно практически в каждой точке.

#### **1.7.8. Математическое моделирование экономики**

Разработка эффективных методов решения краевых задач для нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений и неравенств, к которым сводится исследование моделей экономики. Разработка сетевых моделей, описывающих информационные взаимодействия агентов в сложных самоорганизующихся системах. Разработка методов агрегирования исходных сетевых описаний информационных взаимодействий агентов в макроописания сложных самоорганизующихся систем. Разработка численных методов исследования сложных самоорганизующихся систем и использование высокопроизводительных вычислений для решения прикладных задач.

**Мировые тенденции.** Математическое моделирование остается единственным средством получить последовательную, системно согласованную количественную оценку последствий реализации тех или иных вариантов экономической политики. Наблюдается некоторое «размывание» национального и особенно отраслевого уровня координации экономических процессов: наиболее важные процессы в российской экономике сейчас протекают на уровне регионов и крупных корпораций под непосредственным влиянием глобальных тенденций. Поэтому акценты в моделях будут смещаться на описание регионов и многопрофильных корпораций во взаимодействии с мировой экономикой.

Фундаментальные исследования будут направлены на ликвидацию явно наметившегося отставания мировой практики моделирования от важнейших новых тенденций, наблюдаемых в мировой экономике на всех уровнях. Для моделирования новых явлений будут применяться новые средства: *обширные базы статистических данных* и *средства поиска в компьютерных сетях* (с применением не только к количественным, но и к качественным данным (например, текстам) для выявления событийных факторов и результатов экономического развития); массовое применение *компьютерной алгебры*, возрождающее традицию *аналитического исследования* прикладных моделей; развитие вычислительной техники, универсальных программных средств высокого уровня и переход к прикладному применению модельных схем, которые ранее считались пригодными лишь для абстрактного теоретического анализа (модели рациональных ожиданий, динамические стохастические модели, модели с информационной асимметричной агентов и др.)

Модели приводит к сложным краевым задачам (не сводящимся к задаче Коши), требующим поиска новых методов вычислительной математики. Формально модель экономики отображает множество возможных экономических решений в множество допустимых экономических последствий. Задача хорошо решается в линейном и выпуклом случае, но нужны эффективные методы в общем нелинейном случае и с использованием высокопроизводительных вычислений для решения задач большой размерности. Перспективные исследования должны быть направлены на разработку нового класса моделей экономики – сетевых моделей, в том числе методов агрегирования детальных описаний сложных самоорганизующихся систем.

### **1.8. Теоретическая информатика и дискретная математика**

Методы теоретической информатики и дискретной математики широко используются при разработке моделей реальных процессов в естественных науках.

В настоящее время в России, как и во всем остальном мире, идет бурный процесс развития информационных технологий. Одним из существенных результатов этого процесса оказывается формирование большого числа различного рода хранилищ и баз данных. На их создание и поддержку расходуются громадные финансовые ресурсы и, в значительной степени, верно, что проблемы сбора, передачи и хранения данных уже в ближайшей перспективе будут практически решены. На первый план выйдут задачи рационального использования имеющейся в электронном виде информации.

Один из главных видов использования информации – поддержка принятия решений. Это широкий круг задач, для решения которых требуется применять специальные математические технологии, позволяющие верифицировать и пополнять данные, выявлять в них скрытые закономерности, проводить их классификацию, решать задачи распознавания и прогнозирования и т.д.

Существенной особенностью многих проблем указанного типа оказывается зачастую недостаточная достоверность данных, наличие в них пропусков и искажений и неполнота описаний анализируемых объектов или явлений. Кроме того, во многих практически важных ситуациях требуется получать ответы на плохо формализованные вопросы.

К решению задач описанного выше типа имеются два альтернативных, но взаимодополняющих подхода. Первый из них базируется на построении формальных математических моделей исследуемых объектов или явлений. В тех случаях, когда удастся создать адекватную модель предметной области, этот подход может давать результаты высокого качества. К сожалению, во многих практически важных случаях создание адекватной математической модели само по себе оказывается чрезвычайно трудной или даже неразрешимой проблемой. В таких ситуациях применяется комплекс методов и средств, основанных на использовании так называемых эвристических информационных моделей. Эти модели формализуют «правдоподобные рассуждения», на основании которых обычно принимает решения человек. Развитие математического

аппарата, необходимого для реализации этого второго подхода, и планируется проводить в дальнейшем.

Основная особенность, обеспечивающая опережающий по отношению к зарубежному уровень исследований и результатов, состоит в том, что алгебраические и логические конструкции позволяют регулярным образом строить высокоэффективные алгоритмы не в рамках эвристических информационных моделей, а на их основе. Это означает, что эвристические процедуры (известные или вновь предлагаемые) используются коллективно, что позволяет компенсировать недостатки одних эвристических методов за счет достоинств других.

Следует отметить, что применение алгебраического подхода к синтезу алгоритмов при решении прикладных задач неоднократно позволяло получать решения, существенно превосходящие по качеству продукты таких всемирно известных компаний как SAS, SPSS и др.

Исследование проблем решения систем нелинейных булевых уравнений и минимизации конечнозначных функций необходимо для решения прикладных задач описанного выше типа в тех случаях (а таких случаев – большинство), когда описание объектов или явлений задаются ответами вида «да/нет», «очень хорошо/хорошо/удовлетворительно/плохо» и т.п. Планируемые фундаментальные исследования по теоретической информатике и дискретной математике ориентированы на решение широкого круга задач, востребованность которых в современных условиях постоянно возрастает.

Методы **дискретной математики** будут неизбежно востребованы при разработке алгоритмов численного моделирования реальных процессов, возникающих на практике и изучаемых естественными и гуманитарными науками. Они окажутся незаменимыми при управлении сложными и распределенными системами (как техническими, так биологическими и социальными), при сборе, передаче и хранении больших массивов информации и разработке методов ее защиты. Указанные методы найдут применение при разработке вычислительных комбинаторных алгоритмов и программного обеспечения, поисковых систем и баз данных, построении и оптимизации управляющих систем и систем связи, в робототехнике. Весьма перспективным выглядит приложение математических методов к изучению и моделированию объектов, не допускающих однозначного формального описания (например, при автоматическом смысловом анализе текстов, распознавании образов и речи, принятии решений в условиях недостаточной информации и т.д.). Для решения задач подобного типа потребуется развитие новых методов дискретной математики таких, как перечислительная, экстремальная и алгебраическая комбинаторика, теория графов, теория дискретных функций и комбинаторных алгоритмов, а также близких направлений теории вероятностей и математической статистики (исследование комбинаторно-вероятностных схем, статистики дискретных последовательностей, теории информации, теории массового обслуживания). К числу важнейших в дискретной математике и математической информатике относится проблема оптимального синтеза управляющих систем.

Основные задачи теоретической информатики и дискретной математики.

Развитие алгебраических и логических методов синтеза высокоэффективных корректных алгоритмов для решения задач интеллектуального анализа данных, классификации и прогнозирования.

Разработка комбинаторной теории оценки надежности решений, основанных на обучении по прецедентам.

Создание общей теории и комплекса методов для решения сложных задач интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений.

Исследование и решение систем нелинейных булевых уравнений, связанных с задачами эффективного кодирования, декодирования, восстановления информации по фрагментам, синтеза логических закономерностей.

Создание и оценка трудоемкости алгоритмов минимизации конечнозначных функций, связанных с задачами классификации, распознавания и прогнозирования по прецедентам. Адаптация полученных результатов и алгоритмов для высокопроизводительных машин с высоким уровнем параллелизма.

Полное описание классов систем нелинейных булевых уравнений, для которых существуют эффективные (полиномиальные по сложности) алгоритмы нахождения всех или хотя бы одного решения.

Построение эффективных алгоритмов синтеза решений для выделенных классов.

Создание классификации дискретных экстремальных задач по уровням сложности синтеза решений.

Разработка алгебраических методов в теории графов. Исследование классов графов, обладающих групповыми или комбинаторными симметриями.

Исследование и решение систем нелинейных булевых уравнений, связанные с задачами эффективного кодирования, декодирования, восстановления информации по фрагментам, синтеза логических закономерностей.

Разработка новых конструкций алгебро-геометрических кодов, исправляющих ошибки. Получение оценок эффективности алгоритмов кодирования и декодирования.

Создание теоретических основ помехоустойчивых методов передачи, позволяющих существенно повысить скорость передачи мобильных систем связи и магистральных оптических линий передачи информации

Развитие формализмов теории представления комплексных знаний.

Теория восстановления и быстрого поиска информации в связи с вычислительными задачами молекулярной биологии и развитием Интернета.

Построение теоретического базиса и методов конструирования информационных систем.

Исследование соответствий Галуа для разных алгебр отношений (предикатов).

Получение оценок сложности надежных реализаций, создание алгоритмов и их компьютерная реализация.

Исследование сложностных классификаций рекурсивных функций.

Исследование вопросов полноты и конечной базирруемости в классах дискретных функций.

Исследование вопросов синтеза и сложности для традиционных моделей управляющих систем.

Разработка дискретных моделей управляющих систем, моделирующих реальные схемы с оптическими и квантовыми элементами, а также методов их синтеза.

## 1.9. Системное программирование

### 1.9.1. Параллельное и распределенное программирование

**Мировые тенденции развития отрасли науки.** Развитие компьютерных и сетевых технологий привело к тому, что за счет параллелизма на разных уровнях (процессор, многоядерность, кластеры, «облачные» вычисления) практически у любого пользователя имеется потенциальная возможность использования сотен и даже тысяч процессоров для решения его задачи за требуемое время. Таким образом, потребность в параллельных программах становится массовой. К сожалению, разработка параллельных программ ведется на традиционных языках *Fortran*, *C/C++* с применением *MPI* для систем с распределенной памятью (в частности, кластеров) и *OpenMP* для систем с общей памятью (SMP, многоядерность). Это связано с тем, что многочисленные попытки создания языков параллельного программирования (*HPF* и его *Java*-версия *HPJava*, *Cilk*, *UPC* и его *Java*-версия *Titanium* и др.) не привели к успеху. Главная причина неудачи в том, что, несмотря

на значительные усилия, до сих пор не удалось разработать компиляторные технологии, позволяющие генерировать эффективный параллельный код. Разработки новых языков параллельного программирования (*X10*, *Chapel*, *Fortress*) пока также не привели к положительным результатам.

В последнее время появились новые специализированные устройства, содержащие большое количество параллельно работающих процессоров (ядер) на одном чипе. Примерами таких архитектур являются *IBM Cell*, в которой предусмотрено восемь специализированных процессоров *SPE*, и графические акселераторы компаний *AMD* и *nVidia*, многоядерный графический ускоритель *Larrabee* компании *Intel*. Не существует устоявшейся технологии программирования для такого класса устройств. Разработка программ ведется в рамках специализированных систем программирования (*CUDA* – *Compute Unified Device Architecture* компании *nVidia*, *CAL* – *Compute Abstraction Language*, *Brook+* компании *AMD*, *Ct* компании *Intel* и др.). В настоящее время активно ведутся исследования возможностей расширения класса задач, решаемых на этих устройствах.

Еще одним активно развивающимся направлением являются «облачные» вычисления (предоставление вычислительных мощностей, хранилищ данных, системного и прикладного программного обеспечения в виде сервисов через Internet). Этот подход уже используется на индустриальном уровне для некоторых классов приложений (например, *Google Apps*, *Maps* и *Gmail*). Для исследований по расширению классов приложений и совершенствованию технологий «облачных» вычислений создаются соответствующие стенды (например, стенд консорциума *HP*, *Intel* и *Yahoo*).

**Состояние области науки и соответствующих технологий в России на текущий момент.** В России исследования и разработки по системам параллельного программирования проводятся в более скромном масштабе. Отметим работы следующих исследовательских групп.

- В отделе компиляторных технологий Института системного программирования РАН, Москва разработана среда параллельного программирования *ParJava*, включающая набор инструментов, позволяющий перенести большую часть разработки параллельной программы на инструментальный компьютер. На базе среды *ParJava* создана итеративная технология разработки параллельных программ, неоднократно применявшаяся для разработки параллельных приложений.

- В лаборатории параллельных информационных технологий Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ, разработаны общие принципы построения инструментальных систем для изучения и визуализации тонкой структуры программ на основе широкого спектра графовых моделей.

- В лаборатории параллельных языков программирования Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, разработана *DVM*-система, поддерживающая создание переносимых и эффективных приложений на языках *C-DVM* и *Fortran-DVM* для параллельных вычислительных систем с различной архитектурой. Под руководством А.Н. Андрианова продолжается разработка языка *Норма*, позволяющего исключить фазу программирования при переходе от расчетных формул к программе.

- В исследовательском центре мультипроцессорных систем Института программных систем РАН, г. Переславль-Залесский создана *T*-система с открытой архитектурой, которая не смогла обеспечить разработку высокопроизводительных параллельных программ, но оказалась удобной для реализации *GRID*-технологий и *GRID*-сервисов. Дальнейшее развитие *T*-системы и областей ее использования тесно связано с проектами *GRID*, выполняемыми в РАН и других организациях.

- В отделе математического обеспечения высокопроизводительных вычислительных систем Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, выполняются различные проекты по разработке сложных научных и прикладных моделей природных явлений и технических устройств; языков, систем и

технологий параллельного программирования; моделей вычислений и новейших архитектур вычислителей.

- На кафедре алгебры и дискретной математики механико-математического факультета Южного федерального университета, Ростов-на-Дону разработана и реализована открытая распараллеливающая система для суперкомпьютеров с параллельной памятью.

- В научно-исследовательском институте многопроцессорных вычислительных систем им А.В. Каляева Южного Федерального Университета, г. Таганрог проводятся разработки многопроцессорных вычислительных систем, в том числе, реконфигурируемых под задачу.

В целом, российские исследования находятся на мировом уровне, но не покрывают весь комплекс проблем этой области.

Необходимо также отметить, что к 2030 г. предполагается разработать и создать **общероссийскую информационно-вычислительную систему (пространство) в интересах науки, образования, разработки и развития высоко технологических производств.** Будет создана распределенная сеть суперкомпьютерных центров и центров обработки и хранения информационных ресурсов (Data-центры), объединенная скоростными телекоммуникационными каналами с емкостью десятки и сотни терабит. В частности, касающейся скорости передачи информации, в первую очередь по оптоволоконным каналам и спутниковым каналам связи (не касаясь вопроса о возможных новых идеях об организации таких каналов на новых физических принципах), важную роль будут играть новые методы уплотнения информации и верификации передаваемых данных. Будет разработана также система доступа и использования этих суперкомпьютерных и информационных ресурсов для научно-исследовательских институтов, образовательных центров, центров развития отраслевой науки – разработчиков новых наукоемких производств и самих предприятий высокотехнологической продукции. Предполагается, что сами суперкомпьютерные центры смогут работать как единый компьютер по разрабатываемым технологиям GRID, или, более общим технологиям «Computer cloud». Будут разработаны новые поисковые системы, которые, в сочетании со скоростной инфраструктурой доступа к распределенной информационной среде, позволят ускорить поиск и обмен необходимой информацией в десятки и сотни раз.

Предполагается также создание единой мультимедийной среды, которая позволит различным удаленным группам исследователей вести совместные научные и технологические разработки.

Необходимы также разработки интеллектуального анализа данных и распознавания образов, которые будут неотъемлемой составляющей новых поисковых систем.

Важнейшей проблемой, которую необходимо решить к 2030 году, является разработка соответствующих систем безопасности. Это касается как безопасности самих Data-центров, так и поисковых систем.

Системы безопасности должны быть многоуровневые, с определением уровня доступа к различной хранимой в Data-центрах информации. Отдельной задачей является обеспечение безопасности распределенных суперкомпьютерных ресурсов. Разработки в этих направлениях ведутся как в нашей стране, так и за рубежом и, к настоящему времени существенного отставания у нас нет (а в некоторых направлениях есть и опережение), однако эти разработки еще очень далеки от финальной стадии.

**Перспективные потребности в продукции области.** В настоящее время и в ближайшие десятилетия основной потребностью являются адекватные средства (языки, инструменты и др.) параллельного и распределенного программирования (в том числе, «облачных» вычислений), позволяющие прикладному программисту не тратить усилий на учет особенностей архитектуры компьютеров, на которых оно будет выполняться, подобно тому, как это сейчас делается для однопроцессорных компьютеров. При этом должна обеспечиваться высокая продуктивность разработки. Такая потребность определяется

сложностью достижения приемлемых характеристик программ. Это особенно актуально в связи с потребностью рынка в массовой разработке параллельных приложений.

#### ***Критические и прорывные технологии***

***Технологии, по которым Россия находится на мировом уровне.*** Исследование и создание практически применимых технологий разработки параллельных программ на основе MPI и OpenMP с использованием инструментальных средств для прогнозирования производительности параллельных программ и исследования их свойств на моделях, Исследование методов распараллеливания программ, Исследования и разработки высокопроизводительных многопроцессорных систем, реконфигурируемых под задачу.

***Технологии, отсутствующие в России, но существующие в мире.*** В России не ведутся систематические исследования классов приложений, для которых необходима параллельная обработка и разработка технологий для указанных приложений. В результате таких исследований, которые ведутся в различных научных центрах, начиная с 2005 года, в 2007 – 2008 годах было разработано несколько перспективных технологий параллельного программирования. Например, можно отметить модель программирования и соответствующую реализацию для обработки и генерации больших множеств данных (MapReduce) и технологию решения комбинаторных задач. Несмотря на то, что известны общие принципы этих технологий, приобрести их на рынке невозможно.

***Несуществующие технологии, для разработки которых потребуются проведение фундаментальных и прикладных исследований.*** Высокоуровневые языки и соответствующие интегрированные среды программирования, поддерживающие высокопродуктивную промышленную разработку масштабируемых, переносимых параллельных и распределенных программ.

Полиморфные процессорные архитектуры (МПА): многоядерный процессор не только выбирается под приложение, но и подстраивается под него (архитектура процессора при этом изменяется таким образом, чтобы максимально оптимизировать аппаратно-программный комплекс для приложения).

Технологии, поддерживающие одновременное программирование как программного, так и аппаратного обеспечения прикладных пакетов для решения задач высокой сложности (программирование прикладных аппаратно-программных комплексов). Для реализации этой возможности необходимо разработать среды программирования, поддерживающие этот процесс на основе адекватных моделей программного и аппаратного обеспечения.

Система моделей классов приложений, моделей параллельной аппаратуры и моделей программ, обеспечивающая эффективное отображение приложения на конкретную аппаратную платформу.

Для исследования моделей параллельного и распределенного программирования и реализации соответствующих технологий необходимы фундаментальные исследования по теории параллельного программирования, семантике параллельных программ, методам глобальной и динамической оптимизации параллельных программ и др.

Для разработки инструментальных средств и сред прикладного параллельного и распределенного программирования необходимы фундаментальные исследования по различным аспектам моделирования программ.

#### **1.9.2. Технологии разработки корректного программного обеспечения**

***Мировые тенденции развития области науки.*** Исследования, связанные с развитием технологий контроля качества программного обеспечения (ПО), на сегодняшний день активно ведутся как в исследовательских подразделениях коммерческих компаний, так и в академической среде. Среди компаний, успешно осуществляющих такие работы можно отметить IBM, Microsoft, HP, Sun, Intel, Motorola. Академические группы, работающие в этом направлении, есть в каждом крупном университете.

На данный момент наиболее важными достижениями в области технологий разработки корректного ПО можно считать следующие.

- Методы проведения экспертизы проектной документации и кода ПО.
- Технологии статического анализа кода и проектных спецификаций, оформленных с использованием формально определенных языков.
- Формальные методы разработки ПО, основанные на формализации исходных требований к нему и всех операций по построению программной системы.
- Методы разработки тестов на ранних этапах разработки проверяемой системы и использующие формальное моделирование ее свойств.

Общим недостатком почти всех этих подходов является слабая масштабируемость и сильное влияние человеческих факторов на надежность получаемых результатов.

***Состояние области науки и технологий в России на текущий момент.*** В России исследования и разработка технологий контроля качества и создания корректного ПО тоже проводятся, но малым количеством групп, как правило, очень небольших, и отдельных исследователей. Можно отметить работы, выполняемые в Институте системного программирования РАН, Институте систем информатики СО РАН им. А. П. Ершова, ВмиК МГУ им. М. В. Ломоносова. В целом, российские исследования в области находятся на мировом уровне, но не покрывают весь комплекс ее проблем и затрагивают лишь небольшую часть подходов, рассматриваемых в мире.

***Перспективные потребности в продукции области.*** В связи с ростом потребностей в автоматизации различных отраслей экономики и возрастающей ответственности задач, решаемых компьютерными системами, потребности в технологиях создания корректного ПО будут увеличиваться. Особенно актуальны будут технологии, которые можно использовать, начиная с самых ранних этапов разработки, и без привлечения специалистов, обладающих достаточно специфическими знаниями и навыками. Будут также возрастать потребности в инструментах автоматической верификации, не требующих вмешательства человека по ходу их работы. Формируется потребность в интегрированных подходах к верификации разнообразных характеристик качества программных продуктов — не только их функциональности, но и надежности, производительности, удобства использования и сопровождения.

***Сценарий развития области.*** На основании имеющихся тенденций можно сделать вывод, что перенос имеющихся исследовательских наработок в индустрию продолжится, и созданные в последние 20 лет методики построения качественного ПО с использованием формальных методов начнут превращаться в инструменты, активно применяемые в промышленности. Появятся синтетические подходы, комбинирующие статический анализ, тестирование и формальные методы разработки ПО. Вместе с тем они не смогут использоваться эффективно, если не будут предоставлять разработчикам привычные для них средства, языки и среды. Поэтому такие методы будут реализовываться на основе широко используемых языков, технологий и средств разработки, таких как C/C++, Java, .NET.

Еще одна тенденция развития связана с методами организации работ при разработке и развитии ПО. В рамках таких методов все более активно начнут использовать усовершенствованные техники экспертизы кода и проектной документации, которые через некоторое время будут интегрированы с инструментами статического анализа.

#### ***Критические и прорывные технологии***

***Технологии, по которым Россия находится на мировом уровне.*** Результаты разработок российских исследовательских групп находятся на одном уровне с их зарубежными аналогами в области практически применимых технологий тестирования на основе моделей и технологии верификации на основе моделей.

***Технологии, отсутствующие в России, но существующие в мире.*** На данный момент в России пока нет разработок, использующих синтетические методы верификации,



комбинирующие техники статического анализа, генерации тестов и формальных методов разработки. Подобные технологии разрабатываются в мире с 2002 года, а практически применимые инструменты появились лишь 2-3 года назад. Имеющиеся наработки позволяют российским исследователям достичь мирового уровня в этой области в течение 2-3-х лет. Почти любые имеющиеся в мире технологии и инструменты контроля качества ПО могут быть приобретены. Затраты на эту покупку, в зависимости от дополнительных возможностей, могут достигать 3-5 миллионов долларов США за технологию и 50-200 тысяч долларов США за инструмент.

#### ***Несуществующие технологии***

- Технологии корректной динамической перестройки и переконфигурации компонентных программных систем основанные на описании и верификации контрактов входящих в них компонентов и служб.
- Интеграция разнородных технологий верификации (дедуктивный анализ, проверка моделей, мониторинг, разработка тестов, статический анализ) в виде компонентов единой среды с унифицированными интерфейсами. Технологии, позволяющие использовать комбинированные модели и формализмы для верификации и валидации.
- Интегрированные технологии верификации моделей аппаратного обеспечения и системного ПО.
- Интегрированные технологии верификации разнородных характеристик качества программных систем: их функциональности, производительности, надежности, защищенности, удобства использования и сопровождения.
- Технологии выделения и фиксации в формальном виде требований стандартов на инфраструктурные и широко используемые компоненты программных и аппаратных систем.
- Технологии интеллектуального мониторинга распределенных компонентных систем и анализа инцидентов, нацеленные на эффективное выявление дефектов и причин проблем, возникающих при их функционировании и развитии.

### **1.9.3. Анализ и трансформация программ**

***Мировые тенденции развития области науки.*** Анализ и трансформация программ успешно применяются не только для оптимизации программ, но и в обратной инженерии, синтезе программ, восстановлении ПО, исследовании и обеспечении различных аспектов безопасности ПО, рефакторинге, исследовании и преобразовании бинарного кода и др., обеспечивая возможность работы с ПО на более высоком уровне абстракции, повышая удобство сопровождения и возможности повторного использования разработанного ПО. Трансформация и анализ программ выполняются на различных уровнях: *на уровне исходного кода, на уровне промежуточного представления, на ассемблерном уровне, на уровне бинарного кода.*

Исследования и разработки на каждом из перечисленных уровней требуют наличие инфраструктуры. Вокруг внутренних представлений разрабатываются интерфейсы взаимодействия. Мировая тенденция развития отрасли – переход на инфраструктуры, базирующиеся на проектах с открытым исходным кодом. Даже такие крупные компании как AMD, IBM, Apple, Samsung и др. используют в своих разработках *Gcc, LLVM, Eclipse* и др.

***Оптимизация программ.*** Основные результаты по машинно-независимой оптимизации были получены и внедрены в компиляторы в 90-е годы. Дальнейший прогресс связан с разработкой алгоритмов межпроцедурной оптимизации. Значительные усилия направлены на разработку методов оптимизации, применяемых при компиляции промежуточного представления в объектный код. Можно выделить два направления: 1) традиционная компиляция (учет новшеств в аппаратуре); 2) интерпретация и динамическая компиляция (JIT) (постепенно будет вытеснять традиционную компиляцию).

В связи с бурным развитием специализированных процессоров меняются критерии оптимизации. В частности, актуален новый класс оптимизирующих преобразований, когда целью оптимизаций становится энергосбережение. Еще одним актуальным направлением является оптимизация программ для многоядерных архитектур.

**Безопасность ПО.** Все компьютеры, в том числе правительственные и корпоративные, доступны через глобальную сеть, что открывает возможность для несанкционированного доступа, позволяя злоумышленникам получать конфиденциальную информацию, а также при необходимости парализовать работу жизненно важных информационных инфраструктур. Традиционные технологии решения проблем безопасности не позволяют решить проблему в полном объеме.

Современная мировая тенденция состоит в использовании методов анализа и трансформации программ для решения проблем безопасности ПО, как на уровне исходного кода, так и на уровне бинарного кода. Ведутся исследования, как по усилению защиты программ, так и по совершенствованию методов их взлома.

Отметим некоторые направления исследований в этой области:

**1. Обнаружение дефектов и недокументированных возможностей на уровне исходного кода.** Актуальны системы поиска дефектов способные обрабатывать программы промышленных масштабов (миллионы строк кода) обеспечивая достаточную полноту диагностики и выдачу как можно меньшего количества ложных предупреждений. Наиболее развитые системы (Klocwork, Coverity и др.) обеспечивают достаточно высокое качество анализа за счет применения пользовательских аннотаций для функций и указания шаблонов, специфичных для анализируемой программы. Но даже эти системы все еще пропускают много дефектов и выдают достаточно много ложных сообщений. Необходимы исследования новых подходов и моделей которые бы позволили достичь существенного прогресса в этой области.

**2. Обратная инженерия бинарного кода.** Восстановление выполняющихся в программе алгоритмов и представление аналитику их описания на языке ассемблера и/или на языке высокого уровня, что позволит, как верифицировать алгоритм, так и обнаружить в нем недокументированные свойства.

Наиболее простым для анализа является незащищенный бинарный код, полученный компиляцией программы с языка высокого уровня. Можно отметить среду *Ida PRO*, которая в случае незащищенного кода позволяет в интерактивном режиме получать описание алгоритма пригодное для дальнейшего анализа. Однако бинарный код может быть снабжен средствами защиты от обратной инженерии: *упаковка кода* (код программы хранится в зашифрованном виде, вспомогательная программа распаковывает код и помещает его в оперативную память, после чего передает на него управление); *противодействие отладке* (в случае обнаружения отладчика меняется работа алгоритмов, «портятся» данные отладчика и др.); *обфускация* и др. Такая защита программ активно внедряется в практику разработки. Так, в состав среды разработки Microsoft .NET, включен программный продукт Dotfuscator, который представляет собой обфускирующий компилятор языка C#. Развитие таких компиляторов приведет к тому, что практически все программы будут иметь защищенный код. Результатом этого будет принципиальная неприменимость средств статического анализа кода, основанных на дизассемблировании полученных тем или иным способом машинных инструкций. Таким образом, в случае защищенного кода приходится использовать динамический анализ для восстановления алгоритма. Это существенно усложняет задачу дизассемблирования и декомпиляции.

В связи с тем, что многие аспекты этих работ связаны с государственной безопасностью, открытые публикации о зарубежных исследованиях отсутствуют.

**Состояние области науки и соответствующих технологий в России на текущий момент.**

**Компиляторы и системы программирования.** Можно отметить работы следующих исследовательских групп.

В отделе компиляторных технологий Института системного программирования РАН, Москва разрабатываются инфраструктура системы планирования команд и отдельные оптимизирующие фазы для открытого компилятора Gcc. Ведутся исследования и разработки новых методов оптимизации программ и новых видов оптимизирующих преобразований (в частности, энергосберегающие оптимизации). Исследования по оптимизации программ ведутся в лаборатории конструирования и оптимизации программ Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосибирск. В лаборатории оптимизирующих компиляторов Института точной механики и вычислительной техники, Москва, разработана инновационная универсальная технология оптимизирующей компиляции. В лаборатории компиляторов ЗАО «Эльбрус» МЦСТ, Москва, разрабатываются компиляторы и системы программирования для микропроцессора «Эльбрус».

**Обнаружение дефектов.** Исследования и разработки по системам обнаружения дефектов на уровне исходного кода выполняются в ИСП РАН и Санкт-Петербургском государственном политехническом университете.

**Обратная инженерия бинарного кода.** Исследования и разработки проводятся в отделе компиляторных технологий ИСП РАН, на кафедре информационной безопасности компьютерных систем и в Специализированном центре защиты информации Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, в исследовательских группах МИФИ и некоторых коммерческих компаниях.

**Перспективные потребности в продукции области.** На сегодняшний день общий объем исследований и разработок по применению технологий анализа и трансформации программ составляет сотни миллионов долларов США. При этом объем этих работ растет опережающими темпами в связи с новыми вызовами связанными, как с развитием инфраструктур, так и появлением новых технологий (виртуализация).

#### **1.9.4. Проблемы компьютерной безопасности**

**Мировые тенденции.** В настоящее время проблемы информационной безопасности представляют собой, с одной стороны, предмет интенсивных исследований в естественнонаучных и гуманитарных дисциплинах, а с другой – область развития инженерно-технических методов и технологий.

Разработанные на данный момент технологии обеспечения компьютерной безопасности можно с известной долей условности разделить на две категории: 1. Методы защиты от угроз, возникающих в результате ранее принятых некорректных технологических или стратегических решений, 2. Методы обеспечения компьютерной безопасности для решения проблем, изначально присущих задачам обработки информации. Методы второй категории обычно базируются на криптографических средствах.

На ближайшие десятилетия, с большой вероятностью, можно прогнозировать рост потребности в технологиях, использующих криптографические методы. При этом возможный сценарий развития систем защиты информации будет определяться прогрессом в решении фундаментальной математической проблемы нижних оценок сложности вычислительных задач. Решение этой проблемы служит основой для построения современных систем защиты информации и любой прорыв в доказательстве их сложности может привести к полной смене существующих механизмов и методов защиты информации и программного обеспечения.

В будущем, разработка систем защиты информации, соответствующих мировому уровню будет возможна только на основе результатов исследований в таких математических дисциплинах как теория сложности вычислений, математическая криптография и т.п. На настоящий момент в России очень мало специалистов в этих областях, и никакие государственные структуры интереса к таким исследованиям и образованию в данной сфере не проявляют. В то же время, в США этим вопросам уделяется большое внимание,

так в 2008 г. на базе Принстонского университета создан центр по неразрешимости (Center for Intractability), основной целью которого будет исследование феномена вычислительной сложности.

Наиболее вероятным представляется третий вариант: в ближайшие десятилетия указанная выше проблема не будет решена. В таком случае, перспективы развития методов защиты информации будут определяться состоянием исследований в области теоретической криптографии, в которой также могут быть также достижения, которые разрушат стойкость существующих средств защиты (например, эффективные алгоритмы факторизации чисел и решение задачи дискретного логарифма).

Перечислим лишь некоторые новые проблемы и направления математических исследований, связанные с обеспечением информационной безопасности: *Создание защищенных программ, действующих в недружественной (adversarial) среде (сетевые мобильные агенты); Технология разработки неуязвимого программного обеспечения (проверка существующего программного обеспечения на наличие уязвимостей, разработка языков программирования для поддержки написания неуязвимых программ); обфускация программ.*

#### ***Современное состояние отрасли науки и соответствующих технологий в России.***

В РФ сильные позиции производителей антивирусов, активно продающихся не только на внутреннем, но и на внешних рынках: Лаборатория Касперского, Доктор Веб, Proantivirus Lab.

Компании, занимающиеся производством средства шифрования и ЭЦП, работают на внутренний рынок, сертифицируя производимую продукцию в соответствии с российскими стандартами: Elcomsoft, КРИПТО-ПРО, АНКАД, ekey.ru, Сигнал-КОМ, МО ПНИЭИ, ЛАН Кripto.

В РФ регулярно проходят научно-технические конференции по ИБ: RusCrypto и Информационная безопасность, Infosecurity Moscow, Комплексная безопасность, Право и Интернет.

Что касается ученых, то их значительно меньше, чем в промышленно развитых странах. Математиков (алгебраистов и теоретико-числовиков) много, много специалистов по техническим средствам обеспечения информационной безопасности, но почти нет специалистов по сложности вычислений и современной теоретической криптографии, не хватает высококвалифицированных специалистов по безопасности компьютерных систем. Центры: ИПИБ МГУ, МИФИ, ИСП РАН, СпбГУ, ЮФУ и др.

***Перспективные потребности в продукции отрасли.*** Коммерческая потребность в средствах защиты информации велика и в последние годы наблюдается взрывной рост (бытовая сетевая электроника, электронная коммерция, защита конфиденциальной информации граждан, государственная информация, военная и т.д.).

Согласно последним отчетам, рынок ИБ в РФ оценивается в величину 500-900 миллионов долларов США, в частности: на программное обеспечение пришлось 65% рынка, на аппаратное обеспечение – 6%, на услуги — 29%; объем средств потраченных в 2007 году на антивирусные средства составил около 110 \$млн.<sup>19</sup>

***Сценарий развития отрасли.*** Предсказывается: увеличение числа компаний-потребителей внедряющих сертифицированные по стандартам ISO/IEC 27001:2005 или BS 7799-2:2005 системы управления информационной безопасностью (СУИБ), что возможно даст этим компаниям конкурентные преимущества — доступ к выгодным контрактам или более дешевым кредитам; ужесточение требований к организации режима конфиденциальности на предприятиях, усложнению методик аттестации и сертификации и требований к техническому обеспечению лабораторий, ужесточению требований к аттестационным органам, что приведет к определенному переделу рынка защиты информации. Требования к аттестации дополняются требованиями необходимости специальных проверок, обследований помещений и проведения экспертиз объектов защиты на противодействие иностранным техническим разведкам.

### ***Критические и прорывные технологии***

***Имеющиеся в России:*** Свои стандарты (шифрование, подпись).

***Технологии, по которым Россия находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем:*** Традиционные криптографические методы.

***Технологии, отсутствующие в России, но имеющиеся в мире:*** Криптопротоколы, e-commerce с обоснованием стойкости.

***Несуществующие технологии, но необходимые для реализации конкретных задач:***

Технология оценки надежности, безопасности, стойкости ПО, протоколов и т.п. Методы защиты от копирования (программ, схем, музыка, фильмы и др.). Создание подобной технологии должно включать выработку математических методов оценки. Сформулированные проблемы тесно связаны с классическими фундаментальными направлениями теоретической информатики (Theoretical Computer Science). Потребуется разработка новых математических моделей программ, лучше отражающих семантическую сторону вычислений, более приспособленных для проведения их анализа, новых подходов в разработке более эффективных алгоритмов анализа программ хорошо работающих на практике, более ясное понимание, что такое «алгоритм», «понимание программы», «простая программа», «сложная программа».

Теоретические разработки в указанных направлениях проводятся в ряде ведущих научно-исследовательских центров, в частности в ИСП РАН, МГУ, СПбГУ, Принстонском университете, Стэнфордском университете, Массачусетском технологическом институте, Гарвардском и Калифорнийском университетах, Вейцмановском научном институте (Израиль), исследовательской лаборатории IBM.

### **1.9.5. Управление данными (СУБД)**

***Мировые тенденции развития отрасли науки.*** В области управления данными исследовательская работа в основном проводится в исследовательских лабораториях ведущих компаний-производителей СУБД, а также в академических исследовательских группах, которые в США, главным образом, базируются в университетах, а в Европе, кроме того, в исследовательских институтах.

Можно выделить следующие направления, в которых наблюдается значительный прогресс коммерческих СУБД: поддержка параллельных баз данных; встроенная поддержка хранилищ данных, OLAP и data mining; адаптивная оптимизация запросов; поддержка XML, неструктурированных и мультимедийных данных. Однако этим системам свойственен ряд проблем: чрезмерная сложность и тяжеловесность, переизбыток возможностей, трудность внедрения средств для поддержки новых приложений.

В мире SQL-ориентированных СУБД также существуют и развиваются системы, разрабатываемые и распространяемые на основе подхода «открытых исходных текстов» (open source). Тенденцией последних лет является постепенное обретение зрелости этими системами, их все более широкое практическое использование, а также активное участие в их развитии и совершенствовании российских разработчиков. Проблемами свободно доступных SQL-ориентированных СУБД являются отсутствие новых идей и подходов, недостаточная надежность, производительность и масштабируемость.

В последние годы наблюдается повышение интереса к области объектно-ориентированных СУБД. В 2005 г. был образован неформальный консорциум ODBMS.ORG. В 2008 г. после долгого перерыва была проведена конференция, посвященная проблемам ООСУБД. Под эгидой ODBMS.ORG начата работа по созданию нового стандарта объектно-ориентированной модели данных. Возможно, эта активность приведет к новому витку популярности ООСУБД.

Не для всех приложений SQL-ориентированные СУБД обеспечивают требуемое соотношение цена/производительность. Одной из тенденций текущего времени является

разработка специализированных систем управления данными, позволяющими эффективно поддерживать приложения соответствующей предметной области.

***Состояние отрасли науки и соответствующих технологий в России на текущий момент.*** Мощная исследовательская группа в области управления данными базируется в ИСП РАН. Последние 10 лет группа специализируется в направлении управления XML-данными. Группой успешно разработаны и доведены до работоспособного состояния система интеграции разнородных источников данных на основе XML и система управления XML-данными Sedna. В последние годы группа выполняет исследования и разработки, ориентированные на анализ текстов в Web. Серьезный коллектив, специализирующийся на использовании методов и подходов Semantic Web для разработки современных Web-ориентированных информационных систем, существует в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына РАН. В Институте проблем информатики РАН (ИПИ РАН) в течение многих лет работает коллектив, специализирующийся на методах и средствах обеспечения семантической интероперабельности информационных ресурсов. На математико-механическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета много лет работает исследовательская группа, специализирующаяся в области управления данными.

***Перспективные потребности в продукциях отрасли, желательно, включая оценку возможной доли рынка в России и за рубежом.*** В России имеется много шансов для проявления тенденции к разработке специализированных средств управления данными. Во-первых, в России имеется много существующих прикладных областей, которые еще не автоматизированы (полностью или частично). При выборе средств управления данными для разработки информационных систем в этих областях может оказаться существенно правильнее полагаться на специализированные системы, применение которых может заметно удешевить и ускорить разработку приложений. Во-вторых, новые специализированные средства управления данными можно разработать и довести до работоспособного состояния гораздо быстрее, чем внедрить требуемые новые возможности в универсальные СУБД. Российские специалисты в области управления базами данных могут оказаться в состоянии создавать такие системы, которые будут с пользой успешно использоваться в России и конкурировать на мировом рынке.

***Сценарий развития отрасли, включая оценку необходимых затрат.*** Отрасль управления данными развивается, и будет продолжать развиваться, благодаря совместным усилиям международного сообщества управления данными, включая сотрудников коммерческих компаний, академических исследователей и добровольных участников проектов с открытыми кодами. Залогом успешного развития является разделение труда и специализация групп исследователей и разработчиков.

#### ***Критические и прорывные технологии***

***Имеющиеся в России технологии,*** достаточные для реализации конкретных задач. Для решения задач построения XML-приложений, в том числе, приложений, связанных с управлением большим объемом разнородного контента, достаточна технология управления XML-данными, которая разработана в ИСП РАН. Технология анализа текстов, созданная в ИСП РАН, достаточна для создания приложений, ориентированных на тематический поиск в Web. Технология построения интегрированных Web-ориентированных информационных систем, разработанная в ВЦ РАН, может быть применена для реализации широкого класса проектов этого класса. Для создания интегрированных систем интероперабельных информационных ресурсов пригодна технология, разработанная в ИПИ РАН.

***Технологии, по которым Россия находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем.*** Технологии, упомянутые выше, полностью находятся на мировом уровне. В частности, XML-СУБД Sedna входит в состав наиболее эффективных и надежных XML-ориентированных СУБД. Для достижения уровня зрелости требуется расширение числа практических внедрений таких систем. Другие

разработки, например, система интеллектуального анализа текстов находится на передовом рубеже мировых исследовательских разработок. Здесь требуется проведение дополнительных исследований, опытно-конструкторских разработок и, конечно, построение опытных приложений.

В любом случае, для достижения и/или сохранения мирового уровня отечественных академических разработок требуется существенное государственное финансирование.

***Технологии, отсутствующие в России, но существующие в мире, включая оценку затрат на приобретение данных технологий.*** В России доступны практически все существующие в мире технологии управления данными. Отечественные организации и предприятия приобретают любые требуемые им коммерческие технологии и могут пользоваться любыми технологиями, создаваемые в сообществе open source. Ограничением для успешного использования развитых мировых технологий управления данными является сложность этих технологий, требующая высокой квалификации пользователей и разработчиков приложений.

***Несуществующие технологии, необходимые для решения конкретных задач, для разработки которых потребуется проведение ориентированных фундаментальных и прикладных исследований.*** Одной из важнейших проблем, которую потребует решить в ближайшие годы, является выработка новых архитектур систем управления данными. В существующей архитектуре не учитываются возможности современной компьютерной аппаратуры: многоядерные и многопоточные процессоры, все более емкие и быстрые магнитные диски, постоянно увеличивающиеся объемы основной памяти, возможности флэш-памяти и т.д. Специализация будущих средств управления данными позволит достигать пиковой производительности приложений тех классов, на которые они ориентируются.

Требуется создание языковых средств разработки приложений баз данных, повышающих продуктивность программистов и обеспечивающих высокое качество создаваемых ими приложений. Считается, что будущие языковые средства должны сочетать декларативность языков баз данных, функциональных и/или логических языков программирования.

Требуется обеспечить удобный и эффективный доступ к данным в Web. Необходимо научиться находить в Web структурированные данные, определять их структуру, интегрировать их вместе с неструктурированными и полуструктурированными данными и выполнять над ними запросы, сочетающие возможности запросов к базам данных и поиска по ключевым словам и онтологиям.

Еще одна важная проблема сообщества баз данных возникает в связи с появлением в последние годы технологии «облачных вычислений» (clouds computing). Имеющиеся в настоящее время параллельные СУБД не могут масштабироваться в пределах тысяч параллельных узлов. Необходимо понять, как и для чего разумно использовать облачные вычисления при управлении данными и разработать соответствующие программные системы.

Наконец, имеется, по меньшей мере, одна долговременная проблема, для решения которой требуется решить как перечисленные выше, так и другие технические проблемы, – проблема построения платформ пространства данных, которые должны работать с данными и приложениями в разнообразных форматах, доступных от многих систем через различные интерфейсы. От DSSP требуется поддержка *всех* данных пространства данных, без каких-либо исключений.

## 2. Технологии на базе новых физических принципов

Если рассматривать сценарий технологического прорыва, связанный с перспективами формирования нового технологического уклада, то реализация его основных направлений в предстоящий период будет связана прежде всего с развитием физических и биологических технологий.

За последние 20 лет высокий, сопоставимый с мировым, уровень отечественной физической науки постоянно снижался, достигнув к настоящему времени критического состояния, характеризующегося острым дефицитом современной экспериментальной базы и дефицитом исследователей среднего и молодого возраста.

### 2.1. Физика твердотельных наноструктур и мезоскопика

В данной области физики наиболее перспективными представляются следующие направления.

**СВЧ наноэлектроника.** Развитие сверхвысокочастотных транзисторов (типа НЕМТ - high electron mobility transistor), работающих до частот 100 ГГц и более, обусловлено достижениями нанотехнологий (применение метода молекулярно-пучковой и металлоорганической эпитаксии). Эти приборы имеют огромную сферу практических применений – высокоточной локации, наведения и позиционирования, всепогодного (в условиях облачности и задымления) видения, точного привода посадки самолетов, радио (мобильной) связи и т.д.

**Нанопотоника.** Термин «нанотехнология» родился именно в этой области науки и техники на этапе, когда стало возможным создавать малоразмерные структуры, имеющие масштабы менее 0,1 микрона. При таких размерах происходит изменение квантовых состояний вещества в сравнении с характеристиками «объемных» материалов. Именно этот признак, а не сами по себе размеры, являются сутью рассматриваемой области науки и техники. Другими словами, изменение квантовых характеристик электронных состояний является определяющим фактором и использование этого явления представляет интерес для тех практических задач, где электроны играют активную роль, т.е. в наноэлектронике и оптике: транзисторах и интегральных схемах, основанных на них; фотоприемниках – в том числе ближнего и далекого инфракрасного излучения (ночное и тепловидение); высокоэффективных светоизлучателей, в том числе, «белого света»; фотоэлектрических преобразователей; в создании принципиально новых и перспективных «одноэлектронных» элементов и «квантовых» компьютеров; эффективных и мощных лазеров и интегрированных структур.

**Наноплазмоника.** К 2030г. можно ожидать появления нано-оптоэлектронных элементов информационно-вычислительных систем с гигантской степенью параллелизации, со сверхемкими запоминающими устройствами памяти, работающими на новых принципах, создания мощных систем локализуящего интеллекта на их основе. В основе работы таких систем, возможно, будут лежать нелинейно-оптические методы управления светом, в том числе использующие ультракороткие импульсы, фазо-чувствительные и фазо-управляющие элементы; параллелизация будет осуществляться посредством создания и параллельного преобразования матричных световых пучков; возможно появление принципиально новых систем компьютерной логики, самообучающихся, основанных на квантовости, нейронной архитектуре, использовании спиновых и поляризационных степеней свободы электронных и фотонных состояний. Одна из возможностей – использование неравновесных фазовых переходов типа бозе-конденсации – в системе экситонных поляритонов в полупроводниковых наноструктурах. Развитие наноплазмоники на основе наноструктур металл-диэлектрик приведет к созданию



высокопроизводительных и относительно недорогих оптических установок нанофотолитографии с субволновым разрешением, созданию высокочувствительных и локальных (с разрешением вплоть до внутримолекулярного) датчиков и манипуляторов, способных, например, быстро считывать (а, возможно, и «записывать») структуру ДНК.

Необходимым условием развития физики твердотельных наноструктур является совершенствование **зондовых методов исследования и модификации поверхностей на атомном уровне (с субатомным разрешением)**. Это приведет к созданию манипуляторов и сенсоров внутримолекулярного уровня, и в результате – к созданию технологий предельной наноструктуризации, в том числе, возможно, и к искусственной поатомной биосборке. Одной из приоритетных задач является разработка физических основ наноэлектроники с размерами элементов 1-10 нм, которая включает в себя экспериментальное моделирование на микрочипах со встроенными функциональными наноразмерными элементами. Базой для создания таких наноразмерных функциональных элементов являются технологии **атомного конструирования**. Основными задачами здесь представляются: а) разработка аналитического оборудования для диагностики и управления поверхностными процессами на атомном уровне, б) разработка базовых технологических инструментов атомного конструирования на основе зондовой и электронной микроскопии в совокупности со сверхвысоким и сверхглубоким вакуумом, молекулярными пучками, низкими температурами и поверхностными процессами, контролируемые на атомном уровне.

Перспективным представляется развитие магнитная наноэлектроники – **спинтроники**. К 2030 году следует ожидать появление новых элементов магнитной памяти и логики, основанных на магнитных композитных наноструктурах со специфическими транспортными свойствами. Логическое состояние в подобных элементах будет храниться в виде состояния намагниченности одной или нескольких магнитных компонент. Это состояние может быть квази-однородным либо представлять собой солитон (доменную стенку или магнитный вихрь). Функционирование подобных элементов будет основано на двух эффектах. Первый – эффект магнитосопротивления (здесь: зависимость сопротивления от магнитной структуры наносистемы), на котором будет основано считывание. Второй – эффект переноса спинового момента от системы подвижных носителей к локализованным спиновым моментам, на котором, по-видимому, будет основано переключение логических элементов. Ожидается, что модификации подобных систем будут использоваться для создания нового поколения миниатюрных квантовых сенсоров сверхвысокой чувствительности. Разработка туннельных магниторезистивных элементов, новых пространственно-упорядоченных магнитных нанокompозитов, способов сверхбыстрой-фемтосекундной лазерной записи информации на магнитные носители позволит существенно увеличить информационную плотность и быстродействие магнитной памяти.. Ожидается, что развитие магнитной наноэлектроники (спинтроники) позволит создать новые типы магнитных носителей информации, совмещающие энергонезависимость (как носители памяти Flash) с быстродействием оперативных запоминающих устройств. Использование магнитной оперативной памяти позволит существенно сократить энергопотребление компьютеров (что уже в настоящее время является актуальной задачей), а также на порядок увеличить время автономной работы мобильных электронных устройств. Большое будущее ожидает также спинтронные СВЧ-элементы, основанные на эффекте возбуждения сверхвысокочастотных осцилляций намагниченности большой амплитуды с помощью спин-поляризованного тока. Такие спинтронные СВЧ-генераторы будут обладать сверхмалыми размерами и будут полностью интегрируемыми с CMOS технологией. Их функционирование потребует, по-видимому, создания ансамбля спиновых наногенераторов небольшой мощности, излучающих когерентно (аналога лазера). Подобные системы будут использоваться для мобильных телекоммуникационных приложений, они будут обладать возможностью

перестройки по частоте до 50-100%, и их будет возможно интегрировать (в одну микросхему) с обрабатывающей электроникой.

Диэлектрические магнитоэлектрические материалы-мультиферроики будут использоваться в спинтронике для создания принципиально новых информационных элементов и систем, Они направлены на решение основной ограничивающей проблемы современной электроники при переходе к наноразмерам- все более быстрый рост плотности омического тока в логических и запоминающих элементах.

Молекулярная спинтроника, основанная на использовании магнитных молекул и нанокластеров, обладающими уникальными квантовыми макроскопическими свойствами и квантовых гистерезисом, будет развиваться в направлении квантовой информатики, включающей в себя проблемы квантовых компьютеров, а также задачи квантовой телекоммуникации и криптографии. Последняя, по-видимому раньше других выйдет на путь практического применения.

Магнитные высокоспиновые молекулы и нанокластеры представляются особенно перспективными для этих целей, так как они обладают большим спином в сочетании с бистабильностью и, следовательно достаточно сильным взаимодействием между собой и внешними приборами. В этой области могут быть обнаружены новые фундаментальных свойства вещества, например, наличие у магнитных нанокластеров квантового анапольного момента, по аналогии с таковым, предсказанным в свое время Зельдовичем для ядер.

## **2.2. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе, нанокерамики, фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы.**

Развитие методов синтеза структур, выявление их размерно-зависимых физических свойств и анализ перспектив применения сред на их основе в различных промышленных технологиях:

- синтез нанотрубок и нанослоев из углерода, нитрида бора и других соединений и их применение в устройствах электроники и фотоники;
- развитие методов синтеза и диагностики гетерофазных одностенных нанотрубок (например, BN:C), обладающих возможностью изменять свои свойства (например, ширину запрещенной зоны) в зависимости от состава. Разработка электронных и оптических устройств на основе таких материалов;
- развитие технологий фото- и электро-люминесцентных сред на основе наноструктур. Создание био-люминесцентных маркеров. Создание нанокомпозитов для получения сверхпрочных материалов и волокон;
- развитие методов получения и диагностики двумерного графита – графена. Исследование размерно-индуцированного перехода от двумерной к одномерной системе. Создание электронных устройств на основе графена;
- технологии синтеза и модификации алмазных пленок для создания устройств микроэлектроники.

Развитие методов создания метаматериалов – новых типов твердотельных  $\square$ локку-диэлектрических наноструктур и создание на их основе новых оптических систем, включая планарные перестраиваемые линзы и фазокомпенсаторы, элементы оптической логики для лазеров, информационных систем с гигантской производительностью и степенью параллелизации; развитие технологий оптической керамики, в том числе для активных элементов.

### 2.3. Вакуумная СВЧ электроника.

Вакуумная СВЧ электроника находится вне конкуренции, когда речь идет о генерации больших мощностей в микроволновом (вплоть до коротковолновой части мм диапазона) диапазоне длин волн. Очевидно, что для ряда важных приложений повышение мощности генерируемого излучения является насущной необходимостью; здесь можно отметить сверхдальнюю связь, космическую навигацию, сверхдальнюю и высокоточную радиолокацию, микроволновый нагрев плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза, радиоэлектронную борьбу и др. В связи с этим в передовых странах мира вопросам развития вакуумной электроники уделяется большое внимание. Особенно здесь уместно выделить США, где обеспечивается большое финансирование как для фундаментальных исследований в этой области, так и для конкретных разработок в области гражданских и военных приложений. Достаточно упомянуть разработку так называемого нелетального оружия, основанного на воздействии на человека мощного миллиметрового СВЧ излучения «электрктромагнитные бомбы», использовавшиеся во время военных операций в Персидском заливе и Ираке; широкополосный радар (система Haystack), работающий на частоте 10 ГГц с полосой 1 ГГц и обеспечивающий обнаружение, сопровождение и получение изображения спутников на расстоянии 40 000 км с разрешением 25 см; разработку аналогичной системы следующего поколения (HUSIR) с рабочей частотой 94 ГГц, которая должна обеспечить разрешение по дальности порядка 3 см; разработку непрерывных гиротронов МВт уровня мощности для электронно-циклотронного нагрева плазмы в токамаках и стеллараторах и др. Заметный интерес к развитию вакуумной электроники больших мощностей проявляется также в передовых странах Европы, Японии, Китае.

В передовых странах мира интенсивно осваивается терагерцовый частотный диапазон. Возможность создания компактных высоконаправленных систем, а также наличие огромного числа линий излучения практически важных молекул обеспечивает большое количество важных приложений в радиоастрономии и аэрологии, биологии и медицине, физике твердого тела и материаловедении, в развитии новых систем связи, в антитеррористической деятельности и др.

В целом российские исследования в области разработки и создания источников микроволнового излучения большой мощности (в основном, благодаря разработкам 70—80-х годов) соответствуют современному мировому уровню, а по некоторым позициям Россия занимает в мире лидирующее положение. Это относится к разработке и созданию непрерывных и квазинепрерывных генераторов мм диапазона длин волн – гиротронов мегаваттного уровня мощности, к разработке широкополосных усилителей мм диапазона уровня мощности в сотни киловатт, к разработке сверхмощных генераторов на базе сильнотоочных релятивистских электронных пучков.

Россия занимает лидирующие позиции в области разработки и создания гиротронных комплексов умеренной мощности для важных технологических приложений, таких как выращивание из газовой фазы поли- и монокристаллических алмазов, выделение и производство химически чистого кремния, разработка нанотехнологий и др. На передовом уровне ведутся важные исследования по разработке методов компрессии сверхмощных СВЧ импульсов в интересах ускорителей элементарных частиц следующих поколений и современных радарных систем. Перечисленные успехи невозможны без разработки ряда современных технологий, к которым относятся, в частности создание криомагнитных систем для непрерывных гиротронов большой мощности, разработка термо- и взрывоэмиссионных катодов, разработка высоковольтных источников питания и ускорителей сильнотоочных релятивистских пучков. Очень важную роль отводится электродинамике многомодовых и низкомодовых систем, без развития которой невозможно функционирование современной мощной и сверхмощной вакуумной СВЧ электроники. По всем перечисленным позициям Россия занимает пока весьма высокие

позиции в мире, однако, удерживать их становится все труднее, – в связи с общим отставанием российской промышленности, особенно в области микроэлектроники, выпуска высокочистых металлов и т.п., при разработке современных систем все больше приходится полагаться на импортные комплектующие и средства автоматизации. Наметилось отставание в разработке криомагнитных систем с рекордно высокими значениями магнитных полей и, особенно в разработке современных «сухих» криомагнитных систем, не требующих при эксплуатации использования жидкого гелия.

В силу того, что большая часть продукции вакуумной СВЧ электроники является уникальной, возможности ее широкой коммерциализации являются сильно ограниченными. Поставки гиротронных комплексов (часто в месте с линиями транспортировки мощного микроволнового излучения) на зарубежные установки УТС носят разовый характер и требуют индивидуальных разработок в каждом конкретном случае. В России даже таких возможностей практически нет в силу отсутствия современных установок УТС. Несколько лучше ситуация с поставками гиротронных комплексов для технологических применений, где разработан ряд систем, предназначенных для продажи. Рынок здесь также довольно ограничен в силу высокой цены разработанной продукции и того обстоятельства, что в настоящее время такие комплексы используются лишь для исследовательских работ для разработки новых технологий. В ограниченном количестве подобные комплексы поставляются в передовые зарубежные и российские исследовательские лаборатории. Перспективы широкой коммерциализации могут быть связаны лишь с каким-либо важным прорывом в технологических разработках, которого пока не наблюдается.

Разработки для военных приложений имеют перспективы финансирования, в основном, через гособоронзаказ; возможна, в принципе, коммерциализация с выходом на международный рынок вооружений.

Сценарий развития отрасли включает перспективные разработки по следующим основным направлениям:

- разработка новых методов генерации и приема когерентного и широкополосного излучения микроволнового и терагерцового диапазонов длин волн, в том числе на основе наноструктурированных сред и фотонных кристаллов;

- повышение энергетических параметров, стабильности излучения, расширение диапазона частот генераторов на стимулированном излучении электронных пучков;

- создание специализированных гиротронных комплексов, оснащенных системами контроля и транспортировки мощного микроволнового излучения для установок управляемого термоядерного синтеза, а также для других научных и технологических применений;

- разработка новых методов компрессии импульсов электромагнитного излучения для использования с высокочастотных ускорителей следующего поколения, новых радарных системах и получения мультитигаваттных импульсов для физических экспериментов;

- создание спектроскопии высокого разрешения в диапазоне электромагнитных волн от микроволнового до ближнего ИК с приложениями в химии, биологии, медицине, экологии, диагностике технологических процессов;

- создание сверхширокополосной радиолокации высокого разрешения в миллиметровом и терагерцовом диапазонах, мультиспектральных методов и средств в задачах построения изображений лоцируемых объектов и мониторинга земной поверхности и океана.

- разработка когерентных радиокомплексов для дистанционного исследования приземного слоя атмосферы, взаимодействия атмосферы и океана, ближнего и дальнего космоса.

- разработка методов и средств глубинной неинвазивной диагностики биотканей на основе микроволновой, терагерцовой и оптической томографии (в том числе с субклеточным разрешением).

создание элементной базы терагерцового диапазона.

В России имеется хороший задел в области разработки мощных непрерывных СВЧ генераторов мегаваттного уровня мощности, импульсных систем мультимегаваттного уровня мощности и поддерживающих технологий (термо- и взрывомиссионные катоды, высоковольтные источники питания, ускорители сильнотоочных релятивистских электронных пучков, взрывомагнитные генераторы для компактных систем одноразового использования мультимегаваттного уровня мощности и др.).

Для сохранения лидирующих позиций по этим направлениям необходимо регулярное финансирование, причем заметная его часть должна быть направлена на фундаментальные исследования.

Среди важных направлений, которые должны быть обеспечены соответствующим финансированием можно выделить следующие:

- разработка гиротронов для УТС следующего поколения с уровнем выходной мощности 1,5 – 2 МВт.

- разработка высоковольтного непрерывного источника питания для гиротронов МВт уровня мощности.

- разработка и создание испытательного стенда для непрерывных гиротронов МВт уровня мощности.

- сооружение крупного антенного комплекса для сверхдальней локации высокого разрешения и оснащение этого комплекса высокочувствительной приемной аппаратурой;

- совершенствование техники сильнотоочных ускорителей (повышение тактовой частоты, увеличение длительности импульсов, повышение общей энергетики), включая исследование возможностей перехода на использование термоэмиссионных катодов;

- разработка опытных интегрированных систем наносекундной электроники, ориентированных на решение прикладных задач.

- освоение терагерцового диапазона в части создания импульсных и непрерывных генераторов повышенной мощности методами вакуумной СВЧ электроники.

Из технологий, которые пока в России отсутствуют, но вполне возможна самостоятельная их разработка следует выделить технологию «сухих» криомагнитов.

#### **2.4. Актуальные проблемы лазерной физики.**

Достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, процессы взаимодействия излучения с веществом.

Тенденции развития современных технологий с очевидностью демонстрирует принципиальную роль лазерных систем для обработки традиционных и новых материалов и изделий на их основе. Разработка лазерных технологий для объемной и поверхностной микрометрической и нанометрической обработки металлов, полимеров, кристаллов и композитных материалов. Это прежде всего следующие технологии:

- лазерное структурирование материалов с наноразмерным пространственным масштабом (в том числе, нанолитография с масштабом менее 13 нм) с использованием лазерных и комбинированных лазерно-плазменных технологических систем;

- лазерная очистка поверхности изделий сложной конфигурации;

- разработка технологий безотходного производства лазерного разделения («резки») материалов для создания узлов и конструкций повышенной точности в том числе, из кристаллических, полимерных, керамических и композитных структур;

- развитие лазерных технологий объемного и поверхностного модифицирования конструкционных материалов;
- развитие технологий лазерной сварки материалов, разнородных по своим физическим, химическим и механическим свойствам, в том числе, создание узлов и механизмов на основе металлокерамических, металлополимерных и других соединений, создание которых невозможно другими методами;
- создание лазерных технологий формирования наноструктур на поверхности наиболее ответственных деталей и узлов с целью обеспечения значительного повышения износостойкости и технологических характеристик машин и механизмов;
- разработка технологий основанных на принципах взаимодействия мощного лазерного излучения с наночастицами для получения редких изотопов, управления ядерными реакциями, дезактивации радиоактивных загрязнений.

#### **Широкое применение лазерной техники в медицинской практике для диагностики и лечения заболеваний:**

- разработка многофункциональных лазерных технологий и новых методов лечения различного рода патологий в офтальмологии, кардиоваскулярной хирургии, урологии и онкологии;
- разработка фемтосекундных лазерных комплексов и новых лазерных методов лечения заболеваний с целью прецизионного хирургического вмешательства в офтальмологии;
- разработка мощных твердотельных фемтосекундных лазерных систем петаваттного уровня для практической реализации принципов лечения онкологических заболеваний методами протонной терапии – локального воздействия на опухоли моноэнергетическими пучками протонов с энергией в сотни МэВ;
- развитие в сосудистой хирургии и нейрохирургии лазерных методов с целью созданию новых методов в ангиопластике (в том числе, сосудистых байпасов), совершенствования техники проникновения к сосудам и техники обработки различных элементов тканей сосудов;
- разработка технологий на основе твердотельных лазеров видимого и ближнего ИК диапазона с широким диапазоном длительности импульса и высокой мощности для эндоскопической и лапароскопической хирургии;
- развитие технологий лазерной генерации наноструктур на биосовместимых материалах с целью достижения существенного прогресса в медицине, в частности, в протезировании;
- разработка лазерных технологий создания квантовых точек и металлических наночастиц для ранней диагностики инфекционных заболеваний и их лечения путем направленной доставки лекарственных средств в организм;
- разработка полупроводниковых лазеров среднего ИК диапазона и технологий на их основе для оптической диагностики заболеваний различного рода.
- развитие лазерных методов лечения и диагностики в лечебно-диагностических комплексах удаленного доступа – телемедицине.

Внутрироссийский рынок, за редким исключением, практически не готов к восприятию высоких технологий. Тем не менее, существуют технологии и экспериментальные модели приборов мирового уровня, которые по совокупности параметров даже превосходят мировой уровень. Так, в качестве примера можно привести:

- универсальный лазерный хирургический комплекс «ЛАЗУРИТ», использующий новый механизм воздействия на биоткани;
- лазерный офтальмологический комплекс «МИКРОСКАН», обеспечивающий коррекцию дальновзоркости, близорукости и всех видов астигматизма;
- сверхвысоковакуумный низкотемпературный сканирующий зондовый туннельный микроскоп «GPI Cryo», работающий при гелиевых температурах и высоком ( $10^{-11}$  тор) вакууме;
- оптические часы со стабильностью  $10^{15}$ ;

- технологии лазерного разделения изотопов;
- технологии производства фторидной нанокерамики и частично-стабилизированного оксида циркония обладающих повышенной износостойкостью и твердостью.

## **2.5. Нелинейная акустика. Новые методы неразрушающего контроля и сейсмоакустического мониторинга**

Ультразвуковые и вибро-акустические (в широком смысле слова) методы материаловедения и неразрушающего контроля (НК), в частности, диагностики трещин и подобных им дефектов внутренней структуры образцов, являются одними из наиболее известных и широко применяемых. Несмотря на различия, в основе всех используемых в настоящее время в мире вариантов виброакустического НК лежат эффекты, описываемые в линейном приближении (например, появление эхо-сигнала от трещин в ультразвуковой дефектоскопии или используемое в вибродиагностике изменение резонансных частот изделий и конструкций при появлении в них дефектов). Однако, далеко не всегда практическое использование таких методов дает эффективные результаты.

Наряду с совершенствованием таких традиционных линейных методов, в последние 15 лет в мире (прежде всего в США и странах ЕС, а в последнее время и в Китае и Индии) активизировались исследования по разработке физических основ для создания принципиально нового поколения вибро-акустических методов диагностики на основе использования нелинейных акустических эффектов.

В США и странах ЕС работы по диагностическим применениям нелинейной акустики ведутся интенсивно и в постоянно растущем в последние годы объеме. В качестве показательного примера прорывной разработки в 90-е годы можно привести ориентированную на медицину и уже широко коммерциализированную разработку микрокапсул для введения в кровь в качестве ультразвуковых контрастных агентов и параллельное развитие нелинейных методов ультразвуковой диагностики (визуализация по второй гармонике, а в последнее время и нелинейно-модуляционные методы). В настоящее время использование таких методик стало обычной практикой за рубежом и только начинает привноситься в Россию за счет импортного оборудования и реагентов. Интенсивно идет дальнейшее развитие этих технологий, причем не только в диагностическом аспекте, но и в направлении целенаправленной доставки лекарственных средств с помощью таких микрокапсул (по толщине стенок – микрокапсул) и их акустической активации.

В области промышленных технологий интенсивно продолжают исследования возможностей нелинейно-акустической методологии для контроля трещинообразования и усталостных повреждений, качества адгезионных контактов и т.д. При этом имеются в виду самые различные применения, например, в авиации, в автомобильной промышленности, атомной энергетике. При этом отчетливо прослеживаются тенденции перехода к бесконтактным технологиям контроля с использованием лазерной виброметрии или прецизионной ультразвуковой виброметрии, к использованию комбинированных акустических и неакустических методов, комбинированное использование нелинейно-акустических эффектов и таких недавно сформировавшихся в акустике направлений как «обращение времени», которое позволяет достичь высокой степени локализации акустических полей в требуемых областях объекта.

Переход от исследовательской стадии такого рода работ к технологическим применениям, конечно, требует значительных дополнительных затрат, но движение в этом направлении уже очевидно в развитых странах Запада и в Китае, быстро сокращающем свое бывшее отставание в проблемно-ориентированных научных разработках.

В настоящее время в мире не существует промышленно выпускаемой диагностической аппаратуры, в которой были бы последовательно реализованы принципы нелинейной виброакустической диагностики. Вместе с тем, интенсивные исследования и

апробация новых нелинейных методов на реальных образцах интенсивно ведутся в США (прежде всего, в Лос-Аламосе) и Западной Европе. В первые годы этого столетия действовала исследовательская программа NATEMIS по нелинейно-акустической диагностике микродефектов, поддерживаемая European Science Foundation и объединяющая около десятка исследовательских групп из Германии, Франции, Италии, Бельгии и ряда других стран. Затем эти исследования в еще более расширенном составе участников были продолжены в рамках поддерживаемой Еврокомиссией программы AERONEWS, ориентированной, прежде всего, на использование новых диагностических методов в аэрокосмической промышленности. По понятным причинам представляется маловероятным, что российские технические средства будут допущены на рынки развитых стран, это скорее может относиться к технологиям, реализованным нашими специалистами исключительно на Западе.

При этом в России, несмотря на все еще остающийся фундаментальный задел мирового уровня, пока не просматриваются условия для воплощения имеющегося опыта в прорывных технологиях. Недооценка собственных разработок в этой области в ближайшие годы только усугубит технологическое отставание российской индустрии в данной области.

Вместе с тем, для доведения до практических применений требуются дополнительные серьезные исследования по возможностям создания бесконтактных вариантов даже уже опробованных лабораторных прототипов новой аппаратуры и методов регистрации, отработка методик калибровки, формулировка технически применимых (максимально независимых от опыта использующего их человека) индикаторов поврежденности образца и т.д. Эти исследования разделяются на следующие взаимосвязанные направления, совокупность которых можно рассматривать в качестве сценария развития отрасли:

- фундаментальные исследования закономерностей связи микроструктуры и/или поврежденности материала с его нелинейно-акустическими свойствами, определение наиболее робастных (с точки зрения конкретных технических применений) и в то же время высокочувствительных нелинейно-акустических эффектов для различных типов (и масштабов) технических применений;

- исследования, направленные на создание эффективных и хорошо воспроизводимых контактных и бесконтактных измерительных методик различного типа, которые неизбежно должны сильно отличаться в зависимости от конкретного характера применения. В связи с этим здесь можно выделить: исследования, направленные на создание современных нелинейно-акустических средств для характеризования микро- и наноструктуры образцов в лабораторных условиях; исследования, направленные на создание современных нелинейно-акустических средств для неразрушающего контроля в промышленных условиях; исследования, направленные на создание современных нелинейно-акустических и нелинейно-сейсмических средств для применений в задачах инженерной сейсморазведки и сейсмического мониторинга.

В России имеется достаточно высокий научный и технологический задел для решения комплекса основных задач в целях реализации данного сценария развития. В ИПФ РАН имеется успешный опыт по использованию нелинейно-акустических эффектов для обнаружения трещин в типичных задачах неразрушающего контроля, а также опыт создания макетов соответствующей аппаратуры. Примером может служить автоматизированная на базе ПК установка контроля качества осей железнодорожных колесных пар, апробированная в реальных условиях железнодорожных мастерских. Есть также опыт лабораторных исследований по нелинейно-акустической диагностике и характеризованию различных материалов – металлов, образцов реальных горных пород, гранулированных сред.

Имеющиеся в ИПФ РАН технологии разработки мощных когерентных гидроакустических излучателей и погружаемых скважинных излучателей для сейсмических применений в диапазонах частот от первых сотен Гц до первых единиц кГц



. Эти технологии позволяют создавать излучатели с рекордными характеристиками (мощность, к.п.д., долговременная стабильность, ресурс) и широкими возможностями в плане формирования и управления сигналами со специальными спектральными свойствами (т.н. сложных сигналов). С использованием таких излучателей реализованы демонстрационные эксперименты по регистрации нелинейных сейсмоакустических эффектов в земных породах на дистанциях до нескольких сотен метров. Перспективным представляется также использование мощных скважинных излучателей, допускающих гибкое (полностью электронное) управление режимами излучения, для решения взаимосвязанных задач интенсификации промышленного освоения нефтяных месторождений и их мониторинга в процессе эксплуатации.

## **2.6. Низкочастотная гидроакустика. Методы и средства освещения подводной обстановки**

Низкочастотная акустика (характерные частоты – первые сотни Герц и ниже) является, по существу, безальтернативным средством дистанционной диагностики и мониторинга динамических процессов в толще океана на акваториях размерами в сотни километров и выше. С фундаментальной точки зрения НЧ акустика океана – важнейший раздел физической океанологии, в рамках которого исследуется широкий круг процессов, от микроциркуляции вод и турбулентности в океане до глобальных изменений полей температуры, связанных с климатическими трендами. Основная прикладная направленность исследований в этой области – разработка физических основ и научное сопровождение построения систем дальнего противолодочного наблюдения и защиты подводных лодок (ПЛ) от обнаружения.

В США и других странах НАТО работы в этой области ведутся интенсивно и в большом объеме. С начала 90-х годов разработаны и реализуются новые доктринальные установки и идеология применения ВМС в будущих конфликтах и войнах; создается мощная технологическая и методическая база. Главное содержание современной идеологии сводится к т.н. «передовому развертыванию» и использованию ВМС преимущественно у берегов противника. Важными элементами идеологии являются построение распределенных в пространстве сил и ведение всех операций подготовительного и боевого характера на основе сетевых методов и средств управления, а также на основе полной информации об обстановке и окружающей среде. К этому следует добавить принципы многослойной обороны своих сил и высокий уровень использования необитаемых носителей средств наблюдения, связи и оружия. Подводные лодки становятся элементом сил и средств, объединенных общей сетевой структурой, и одним из формирователей этих сетевых структур, при этом вопросы наступательных и оборонительных действий, включая защиту ПЛ, рассматриваются с учетом возможностей сетевых структур в целом. Соответствующие исследования и разработки ведутся высокими темпами и отличаются широтой охвата всех смежных проблем.

До конца 80-х годов прошлого столетия сохранялся примерный паритет СССР и стран НАТО по ряду направлений развития научных исследований и технологических разработок в области НЧ гидроакустики, причем по некоторым из них (например, в фундаментальных исследованиях и технологиях в области разработки активных систем освещения подводной обстановки на больших акваториях) мы имели некоторое опережение.

К настоящему времени сложилось значительное интегральное, примерно 10–летнее, отставание. При этом в теоретических исследованиях в области физики океана и, в том числе гидроакустики, отечественная наука еще сохраняет свои позиции, благодаря «остаточному потенциалу» сформировавшихся в прошлые годы выдающихся научных школ. Кроме того, по отдельным направлениям гидроакустической техники (например, в разработке НЧ излучающих систем) сохраняется быстро сокращающееся лидерство.

Основное отставание связано с отсутствием в стране целенаправленных системных исследований, необходимых для разработки и создания эффективных комплексов вскрытия подводной и надводной обстановки, оперативного управления и целеуказания ПЛ.

Согласно логике современного развития данной области, основные усилия в фундаментальных и прикладных исследованиях должны быть сосредоточены на разработке физических принципов и создании современных систем дальнего освещения подводной обстановки и новых методов акустического проектирования низкошумных ПЛ. Эти исследования разделяются на следующие взаимосвязанные направления, совокупность которых можно рассматривать в качестве сценария развития отрасли:

- фундаментальные исследования закономерностей формирования и дальнего распространения низкочастотных акустических полей в реальном океане, прежде всего, в акваториях окраинных морей РФ. Исследования региональных особенностей и сезонной изменчивости гидрофизической структуры этих акваторий;

- исследования, направленные на создание эффективных (с низким энергопотреблением, высоким к.п.д.) управляемых НЧ гидроакустических источников и антенных комплексов на их основе;

- исследования, направленные на создание современных средств гидроакустической метрологии и приемных информационно-измерительных комплексов на их основе;

- разработка согласованных со средой методов и алгоритмов обработки сигналов, адаптивных к изменению сигнально-помеховой обстановки в условиях реального океана;

- разработка моделей проявления движущейся ПЛ на морской поверхности и соответствующих радиофизических методов и средств аэрокосмического наблюдения;

- исследования, направленные на создание эффективных методов акустического проектирования, необходимых для создания ПЛ с заданным (необходимо низким) уровнем шумоизлучения;

- поисковые исследования, направленные на разработку методов управления гидроакустическими полями рассеяния и создание акустического аналога стелс-технологий для подводных аппаратов, включая ПЛ следующих поколений.

В России имеется достаточно высокий научный и технологический задел для решения комплекса основных задач в целях реализации данного сценария развития.

Полученные в ИПФ РАН и ряде родственных организаций (ИОФ РАН, ИО РАН, АКИН) фундаментальные теоретические, численные и экспериментальные результаты по исследованию закономерностей дальнего распространения НЧ звука в океане, влияния на формирование акустического поля нестационарных и пространственно-неоднородных гидрофизических характеристик реального океана (п. 4.1) позволяют утверждать о возможности существенного развития прикладных работ в целях «гидроакустического освоения» конкретных акваторий, представляющих наибольшую важность в плане защиты морских рубежей РФ. Также имеется значительный задел в направлении синтеза и анализа специальных методов обработки сигналов со сложной пространственно-временной структурой, обусловленной спецификой распространения НЧ звука в случайно-неоднородных подводных звуковых каналах, и методов адаптивного управления такими сигналами (п. 4.4). Все эти результаты должны быть востребованы при проведении комплексных работ по освещению подводной обстановки с использованием многоэлементных излучающих и приемных антенных систем.

К перспективным технологиям, разработка которых представляется в настоящее время крайне востребованной, относятся технологии контроля и подавления полей рассеяния ПЛ. Создание таких гидроакустических стелс-технологий привлекает внимание исследователей на протяжении ряда десятилетий, однако, дальнейшее продвижение в этом направлении требует проведения поисковых фундаментальных и прикладных исследований со значительным уровнем финансирования.

С учетом ключевого обстоятельства, что основной вектор прикладных исследований в данной области направлен на повышение обороноспособности страны, коммерциализация научного продукта не относится к числу приоритетных задач. Скорее, речь может идти об оценке объемов финансирования, необходимых для преодоления указанного отставания и развития исследований на новом уровне их постановки. Следует подчеркнуть, однако, что увеличение уровня финансирования исследований и разработок в данной области является необходимой, но отнюдь не достаточной мерой для достижения паритета. Необходим целый комплекс мероприятий организационного характера для восстановления соответствующей инфраструктуры, включая подготовку квалифицированных кадров (в том числе научных и инженерных). В этом случае развитие соответствующей отрасли может привести и к расширению возможных применений разрабатываемых систем и соответствующей элементной базы. Они могут найти применение и в гражданских отраслях, например, при решении проблемы охраны морских сооружений, подводных трубопроводов и хранилищ и т.д. Кроме того, возможен выход на международный рынок вооружений.

## **2.7. Радиофизические методы исследования окружающей среды**

К настоящему времени адекватная оценка состояния окружающей среды и обоснованный прогноз ее эволюции стали ключевыми среди проблем, охватываемых науками о Земле. Это связано как с наблюдаемыми изменениями условий существования цивилизации в целом (возникновение полярных озонных «дыр»; изменения, обусловленные парниковым эффектом; воздействие явления Эль-Ниньо; дрейф магнитных полюсов Земли; деградация биосферы), так и условий жизни отдельных стран и регионов (изменение химического состава приземного воздуха в мегаполисах, загрязнение грунтовых вод, эрозия почвы, электромагнитное загрязнение атмосферы и др.) Понимание и решение указанных проблем невозможно без широкомасштабных экспериментов по мониторингу процессов в окружающей среде и лабораторного моделирования наблюдаемых физико-химических явлений. Одним из наиболее универсальных и эффективных подходов к проведению как экспериментальных, так и теоретических исследований является радиофизический, сочетающий использование дистанционно-волновых технологий мониторинга с разработкой новых методов описания и анализа динамических систем, а также созданием новых алгоритмов управления экспериментом и извлечения из экспериментальных данных необходимой информации. В связи с этим в передовых странах мира вопросам развития радиофизических методов исследования окружающей среды уделяется большое внимание. Особенно следует выделить США, где обеспечивается большое финансирование как фундаментальных исследований в этой области, так и конкретных разработок, нацеленных на гражданские и военные приложения. Достаточно упомянуть стенд HAARP (The High Frequency Active Auroral Research Program,) по электромагнитному воздействию на ионосферу Земли, сооруженный на Аляске, и выведенную (начиная с 2002г.) на орбиту Земли и функционирующую в непрерывном режиме так называемую флотилию A-Train, включающую в себя искусственные спутники Aqua, Aura, CloudSat, PARASOL и CALIPSO, которые вместе с запущенным в 1999г. Спутником Terra обеспечивают непрерывный мониторинг состояния суши, океана и атмосферы с помощью большого числа дистанционно-волновых приборов, работающих как в активном, так и в пассивном режиме в широком диапазоне длин волн: от вакуумного ультрафиолета до миллиметрового и сантиметрового. Следует подчеркнуть, что соответствующая программа включает создание системы обработки данных и извлечения из них информации и формирование научных групп («команд»), занятых моделированием и интерпретацией данных наблюдений; в данной программе принимают также участие страны Западной Европы и Канады. Аналогичные программы существуют и в отношении развития сетей наземного мониторинга (в первую очередь – атмосферы Земли, например, сеть Global Atmosphere Watch, созданная под эгидой

Всемирной метеорологической организации). Во всех этих программах ключевая роль отводится развитию радиофизических методов и средств исследования окружающей среды. Современное состояние российских исследований в области развития радиофизических методов исследования окружающей среды определяется двумя обстоятельствами.

С одной стороны, радиофизика как самостоятельный раздел фундаментальной физики с прямым выходом на решение важнейших прикладных проблем гражданской и оборонной направленности возникла и сформировалась в СССР в 40-е – 60-е годы прошлого века.

С другой стороны, внимание к состоянию окружающей среды (в том числе – осознание масштабов антропогенного воздействия на это состояние) возникло в 70-е – 80-е годы, в период отчетливого отставания как отечественной вычислительной техники, так и технологий производства элементной базы для радиотехники и электроники. Трудности с финансированием фундаментальных и прикладных исследований в 90-е годы существенно усугубили ситуацию.

В результате в настоящее время в России имеются отдельные научные коллективы, проводящие фундаментальные и прикладные исследования по развитию радиофизических методов и средств исследования окружающей среды на мировом уровне. Но, в то же время, как по объему проводимых исследований, так и по уровню их организации Россия существенно уступает США, Западной Европе и Японии. Главная составляющая отставания – почти полное отсутствие системы *научно-исследовательского* мониторинга, нацеленного на понимание происходящих в окружающей среде процессов, их моделирование и построение долгосрочного прогноза изменения состояния окружающей среды. Попытки ликвидации отставания путем ускоренного прохождения пути развития данного направления исследований, пройденного в западных странах, представляются малоэффективными. Наиболее перспективным путем представляется разработка альтернативных принципов построения системы мониторинга при расширении международного сотрудничества в областях, где российские исследователи сохранили позиции мирового уровня. Как и имеющиеся на Западе, российская система мониторинга должна строиться на трех базовых элементах: развитии радиофизических средств мониторинга, разработке системы обработки данных и извлечения из них информации и формировании научных групп, занятых моделированием и интерпретацией данных наблюдений. Важно, что российские исследователи сохранили достаточный потенциал для обеспечения данного направления исследований на мировом уровне. В качестве примеров можно привести теоретическое и экспериментальное изучение процессов, протекающих в магнитосфере и ионосфере Земли, работы по моделированию земной климатической системы, созданию спектрорадиометров миллиметрового диапазона длин волн для дистанционного зондирования атмосферы, исследования в области атмосферного электричества.

Развитие комплексов радиофизического мониторинга окружающей среды предполагают развертывание сетей, включающих от нескольких сотен до нескольких тысяч приборов по каждому из направлений мониторинга. Особый интерес такие системы могут представлять для таких министерств и ведомств, как Росгидромет, МЧС России, Минобороны. Однако и для широкого рынка могут представлять интерес отдельные типы компактных и мобильных измерительных приборов и соответствующих программных средств. В случае успеха в развертывании достаточно крупных систем мониторинга следует ожидать интереса и со стороны иностранных заказчиков, тем более что перспективы развития современных (как глобальных, так и мезомасштабных) систем прогноза погоды и климата с усвоением данных предполагают использование как можно более полных массивов, безусловно включающих территорию Российской Федерации.

Сценарий развития отрасли должен включать перспективные разработки по следующим основным направлениям:

-разработка радиофизических комплексов для оперативного дистанционного мониторинга состояния атмосферы и гидросферы;

- нелинейно-динамические методы диагностики и прогнозирования поведения сложных систем окружающей среды, в том числе природных и антропогенных катастроф;
- сейсмоакустический мониторинг геодинамических процессов в сейсмоопасных зонах и промышленных зонах повышенной ответственности (плотины, атомные станции и др.);
- разработка мультиспектральных дистанционных методов и средств мониторинга океана и поверхности Земли;
- разработка альтернативных принципов организации мониторинга окружающей среды, основанных на использовании мобильных пассивных средств зондирования окружающей среды;
- разработка технологии предупреждения опасных и быстроразвивающихся метеорологических явлений.
- разработка технологий снижения риска природных катастроф, обусловленных электромагнитными процессами в атмосфере и ближнем космосе.

В России имеется хороший задел в области:

- технологии микроволнового зондирования малых газовых составляющих атмосферы;
  - методики среднесрочного прогноза сильных землетрясений по комплексу прогностических признаков;
  - технологии мониторинга электрического состояния атмосферы, включая грозовую активность;
  - ряда нелинейно-динамических методов анализа и прогноза эволюции сложных систем с приложением к климатическим, атмосферно-океаническим, геофизическим процессам и биологическим объектам;
  - методов когерентной сейсмоакустической диагностики приповерхностных слоев земных пород с высоким пространственным разрешением, включая осадочные слои морского дна в шельфовых районах,
  - методов акустического мониторинга мелководных акваторий и шельфовых зон океана на масштабах ~100 км и создание специальных технических средств низкочастотной акустики для реализации таких методов,
  - методов диагностики пограничного слоя атмосферы, а также характеристик облачности и тумана посредством разнесенного приема флуктуаций электрического поля и тока.

Для сохранения лидирующих позиций по этим направлениям необходимо регулярное, превышающее нынешний уровень, финансирование, причем заметная его часть должна быть направлена на фундаментальные исследования.

Среди важных направлений, которые должны быть обеспечены соответствующим финансированием, можно выделить следующие:

- нелинейно-динамические методы диагностики и прогнозирования поведения сложных систем окружающей среды, в том числе природных и антропогенных катастроф;
- разработка альтернативных принципов организации мониторинга окружающей среды, основанных на использовании мобильных пассивных средств зондирования окружающей среды;
- сейсмоакустический мониторинг геодинамических процессов в сейсмоопасных зонах и промышленных зонах повышенной ответственности (плотины, атомные станции и др.);
- разработка мультиспектральных дистанционных методов и средств мониторинга океана и поверхности Земли;
- разработка пассивных и пассивно-активных систем «радиовидения», позволяющих оперативно получать радиоизображения поверхности в различных диапазонах.
- разработка технологий снижения риска природных катастроф, обусловленных электромагнитными процессами в атмосфере и ближнем космосе.

### **3. Химические науки и материаловедение**

Развитие химии и материаловедения на период 2008-2012 гг. реализуется в шести основных направлениях, самым тесным образом связанных с Приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечнем критических технологий Российской Федерации, утвержденных Президентом Российской Федерации В.В. Путиным.

#### **3.1. Теоретическая химия и развитие методологии органического и неорганического синтеза, новые методы физико-химических исследований.**

Органический и неорганический синтез лежат в основе создания огромного ассортимента веществ и материалов самого различного назначения. Без совершенствования методов синтеза, открытия новых реакций, новых способов воздействия на направление химических процессов и их скорость невозможно представить создание новых технологий производства конкурентоспособных товаров.

Такого рода исследования во всём мире ведутся в университетах, национальных лабораториях, крупных корпорациях, во многом субсидируются государством и служат залогом создания принципиально новых прорывных технологий. В России эти работы сосредоточены главным образом в РАН и крупных вузах. Они требуют относительно небольшого числа специалистов, но специалистов высшей квалификации и современного приборного обеспечения. Собственно недостаточность приборного парка и медленное его обновление являются одной из главных причин отставания нашей науки.

К числу достижений фундаментального характера можно отнести, например, открытие явления новой изотопии. Крупнейшими достижениями в области теоретической химии и развития методологии органического и неорганического синтеза можно отнести: развитие спиновой химии; открытие новых сверхтяжелых элементов; решение ряда проблем катализа; разработка теории физического состояния полимеров; открытие новых реакций и методов физического управления химическими процессами.

За последние десятилетия наблюдается постоянное возрастание числа работ по полному синтезу природных соединений. Так, если за период 1950 – 1990 гг. было выполнено около 1600 синтезов, объектами которых послужили более 500 природных соединений, то в настоящее время ежегодно выполняется несколько сотен полных синтезов структур самых различных классов. Иными словами, более чем на порядок выросла производительность исследований в этой области, и в настоящее время именно полный синтез природных соединений становится одним из основных направлений исследований в десятках крупнейших лабораторий Университетов и фирм США, Европы и Японии.

Одним из главных стимулов к постановке этих работ является то огромное значение, которое приобретают такие синтетические исследования в решении проблем дизайна новых лекарственных препаратов. Так, согласно данным недавних обзоров в период с 1981 по 2006 г. в США, Европе и Японии было одобрено к применению в клинике в качестве противораковых средств около 100 новых соединений.

На этом фоне выглядит очень тревожной ситуация, сложившаяся в нашей стране. Не пытаясь ни в коей мере принизить значительность вклада отечественных химиков в разработку множества проблем как фундаментальной, так и прикладной значимости, приходится констатировать, что вплоть до настоящего времени в России так и не получили полноценного развития исследования по полному синтезу НМПС. Достаточно отметить, что в ранее упомянутом списке 1600 полных синтезов НМПС второй половины XX века числится менее 10 работ, выполненных в СССР, и со времени публикации этих сведений (1989) кардинальных изменений в этой области не наблюдалось.

С точки зрения практического применения первоочередное значение имеет развитие следующих направлений:

### **3.1.1. Разработки в области катализа.**

Каталитические технологии обладают ярко выраженным мультипликативным влиянием на экономику всех развитых стран. Катализаторы являются необходимым элементом современной химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также экологии, фармацевтической, пищевой и многих других отраслях промышленности. В США, например, вклад каталитических технологий в ВВП достигает 25-30%.

При годовом объеме потребления катализаторов в России около 18-20 млрд. руб., производимая на их основе продукция (полимеры, моторные топлива, минеральные удобрения, каучуки и др.) достигает 10-15% материальной части ВВП РФ. В среднесрочной перспективе промышленное применение каталитических технологий в России приобретет еще большее значение.

Современные тенденции развития исследований в области катализа в мире направлены на изучение процессов, протекающих на поверхности катализатора на атомно-молекулярном уровне и создании на основе полученных фундаментальных знаний новых катализаторов и технологий. Данные исследования требуют самой современной и дорогостоящей приборной базы и могут проводиться на мировом уровне даже в развитых странах (США, Германия, Япония и др.) только в 4-5 центрах.

Основными направлениями исследований в мире в области катализа следует считать следующие:

- каталитические методы защиты окружающей среды от антропогенных выбросов транспорта и промышленности;
- каталитические методы производства экологически безопасных моторных топлив;
- глубокая переработка углеводородного сырья (нефти, природного газа);
- каталитические методы переработки возобновляемого сырья;
- каталитический синтез новых материалов, в т.ч. полимеров;
- энантиоселективный синтез сложных соединений, в т.ч. для фармацевтики.

В России исследования мирового уровня проводятся по отдельным направлениям катализа:

-катализ для получения полимерных материалов (только катализаторы, но не технологии);

-каталитические и ферментативные процессы переработки возобновляемого сырья; каталитические процессы в водородной энергетике; мембранно-каталитические технологии.

В целом исследования в области катализа, связанные с экологией, энантиоселективным синтезом, глубокой переработкой углеводородного сырья развиты в России недостаточно. Это ставит уже сейчас Россию в зависимое положение от импорта катализаторов и каталитических технологий в нефтепереработке (производство моторных топлив), нефтехимии (производство полиолефинов), фармацевтике. В перспективе при развитии промышленности в России сдерживающими факторами будут все больше выступать экологические ограничения и отсутствие отечественной промышленности защиты окружающей среды. При дальнейшем росте цен на энергоносители потребуются коренная модернизация российской азотной промышленности (минеральные удобрения, взрывчатые вещества, ракетное топливо), которая базируется на устаревших каталитических технологиях.

В современных российских условиях локомотивами развития экономики будут выступать крупные национальные проекты, такие как развитие транспортной инфраструктуры и формирование нефтегазохимического комплекса Восточной Сибири. В первом случае потребуются формирование отрасли современных строительных материалов, включая материалы для дорожных покрытий. Освоение и введение в хозяйственный оборот крупнейших нефтегазовых месторождений Восточной Сибири потребует не только создания сети трубопроводного транспорта, но и одновременного формирования крупнейшего промышленного комплекса по производству высокотехнологичной и высоколиквидной многотоннажной продукции глубокой переработкой углеводородного сырья (нефти и газа) на основе каталитических технологий нового поколения в полимеры, синтетические каучуки, минеральные удобрения, новые конструкционные материалы.

Выполнение крупных проектов будет сдерживаться отсутствием отечественной научно-технической базы. В связи с ориентацией мирового сообщества на использование России преимущественно в качестве сырьевого источника, маловероятно, что для российской промышленности будут предлагаться передовые технологии глубокой переработкой сырья. Таким образом, России будет навязываться либо торговля углеводородным сырьем, либо продуктами его неглубокой переработки.

В настоящее время в России разработаны катализаторы мирового уровня (или выше него) для процессов нефтепереработки (крекинг, риформинг, гидроочистка). Для введения этих разработок в хозяйственный оборот требуется их инженерное оформление в виде базовых проектов. Глубокая переработка нефти невозможна без катализаторов и процесса гидрокрекинга, который в России отсутствует и требуется его ускоренная разработка.

В азотной промышленности необходимы глубокие современные исследования каталитического превращения природного газа как в традиционных процессах синтеза аммиака (конверсия метана и оксида углерода, синтез аммиака), так и разработка новых каталитических процессов прямого его превращения в высшие гомологи.

Особое значение для России имеют каталитические процессы переработки попутных газов нефте(газо)добычи. Отдельные исследования в этой отрасли явно недостаточны, зарубежные разработки в этой области практически отсутствуют.

Областями в катализе, где Россия обладает общепризнанным приоритетом, являются: синтетические углеродные материалы и катализаторы на их основе; мембранно-каталитические технологии.

В целом для ускоренного развития в России можно предложить следующие крупные исследовательские проекты, ориентированные на отечественную промышленность:

- катализаторы и каталитические технологии энантиоселективного синтеза;
- синтетические углеродные материалы и катализаторы на их основе для квалифицированной переработки растительного сырья и современной нефтехимии;
- развитие мембранно-каталитических методов для крупнотоннажных процессов химии и нефтехимии;
- разработка катализаторов и каталитических технологий синтеза новых полимерных материалов с заданными свойствами;
- развитие исследований по каталитическим методам защиты окружающей среды в энергетике и транспорте;
- создание методов высокопроизводительного синтеза и тестирования катализаторов.

### **3.1.2. Развитие элементоорганических материалов и производств**

К концу восьмидесятых годов в России разработаны технологии и запущены на 5 заводах крупнотоннажные производства полного ассортимента кремнийорганической продукции. Однако последующее изменение экономической ситуации привело к остановке



производства и установлению полной зависимости военной и гражданских отраслей промышленности от импорта.

Аналогичная ситуация сложилась с производством бороводородов, карборанов и различных соединений на основе карборанов. В настоящее время не только прекращен их выпуск, но и полностью демонтировано оборудование и установки.

По элементоорганической подотрасли в области высокотехнологичных компонентов и новых технологий, а также технологий спецхимии и энергетических систем Россия пока обладает целым рядом новых оригинальных разработок, не имеющих аналогов за рубежом. Однако громадные объемы финансирования НИОКР в оборонных областях, осуществляемые США и странами НАТО, не позволяют надеяться на долговременные преимущества, если не будут предприняты энергичные и неотложные меры по интенсификации НИОКР и созданию целого ряда производств спецхимии в нашей стране. Имеющиеся в РФ критические технологии:

- прямой синтез диметилдихлорсилана (ДМДХС) и на его основе базовых полупродуктов синтеза кремнийорганических полимеров с замкнутым циклом по хлору;
- синтез методом высокотемпературной конденсации фенилтрихлорсилана и продуктов их переработки (каучуки, жидкости, смолы, лаки и т.п.);
- прямой синтез диэтилдихлорсилана (ДЭДХС) и на его основе синтез ряда полидиэтилсилоксановых жидкостей, синтетических масел и смазок (только в РФ);
- непрерывные экологически чистые методы получения кремнийорганических полимерных продуктов (жидкостей, олигомеров, каучуков и т.п.);
- технологии перспективных алюминийорганических соединений, (обеспечивает развитие в РФ крупнотоннажных производств полиолефинов и синтетических каучуков);
- технология гидрида алюминия;
- технология бороводородов;
- технологии карборанов и их производных;
- технологии получения высокоэнергетических нанопорошков.

Технологии, по которым РФ или находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем:

- прямой синтез диметилдихлорсилана и на его основе базовых полупродуктов синтеза кремнийорганических полимеров с замкнутым циклом по хлору;
- прямой синтез алкоксисиланов из кремния и спирта;
- прямой синтез высокочистого трихлорсилана в качестве сырья для получения поликристаллического кремния «солнечной» и полупроводниковой чистоты;
- разработка нанотехнологического оборудования и нанотехнологий;
- разработка технологий получения керамообразующих полимеров и олигомеров;
- создание производств композиционных материалов типа SiC/C и C/C и изделий из них для тяжело нагруженных и высокотермостойких изделий ракетно-космической и авиационной техники и атомной промышленности.
- биомедицинские нанотехнологии для диагностики и лечения широкого круга социально значимых заболеваний (кардиология, онкология, нейродегенеративные заболевания, ВИЧ и другие вирусные инфекции).

Для обеспечения технологической и оборонной безопасности России необходимо реализовать следующий сценарий восстановления и развития кремний- и элементоорганических производств:

- совершенствование технологии получения гидрида алюминия, бороводородов и высокоэнергетических нанопорошков;
- разработка технологии и организация производства производных бороводородов,
- разработка методов получения и освоение выпуска ультрадисперсных, в т.ч. нанодисперсных порошков бора, полиборидов магния и алюминия.
- разработка производства карборанов и полимерных связующих для высокотеплостойких (до 700°C) покрытий, клеев и конструкционных материалов;

- разработка высокоэффективных энергоёмких полимеров и пластификаторов для приоритетных ракетных комплексов различного назначения;
- создание малотоннажных производств новых перспективных компонентов спецхимии и восстановление утраченных технологий в т.ч. универсальных модульных установок;
- восстановление утраченных технологий, их усовершенствование и создание производств специальной кремний- и элементоорганической продукции для обеспечения потребности предприятий оборонно-промышленного комплекса;
- восстановление и усовершенствование технологий с целью создания современных высокоэффективных экологически чистых производств кремнийорганических продуктов для удовлетворения потребностей развивающихся гражданских отраслей промышленности;
- разработка рецептуры и технологии получения современных кремний- и элементоорганических материалов нового поколения с эксплуатационными характеристиками, отвечающих уровню развития современной техники для создания материалов работающих в экстремальных условиях от -90 до 450°C;
- разработка технологий и создание производств алюминийорганических материалов, используемых в качестве компонентов топливных систем и зажигательных средств, а также компонентов катализаторов производства органических полимеров (полиэтилена, полипропилена, синтетических каучуков),  $\alpha$ -олефинов, высших жирных спиртов.

### **3.2. Современные проблемы химии материалов, включая наноматериалы.**

Важнейшее направление, ибо из химических материалов «сделан» весь материальный мир. Во всех развитых странах развитию материаловедения уделяется огромное внимание; как государственные, так и частные инвестиции исчисляются сотнями миллиардов долларов. Примером могут служить многочисленные крупные программы по нанотехнологиям.

В России имеются крупные научные школы, работающие на мировом уровне, однако финансовая поддержка этих работ, особенно со стороны частных компаний, не сопоставима с мировым уровнем. В РАН исследования по этой теме планируется сосредоточить на разработке теории пластичности, прочности и формообразовании металлических, аморфных, нанокристаллических, полимерных, композиционных и др. материалов; выяснению связи их электронной структуры со всем комплексом свойств; синтезу фотопроводящих, фотохромных оптических материалов и материалов для оптоэлектронных устройств и др.; изучению процессов самоорганизации наноструктурированных материалов.

Из последних достижений российских материаловедов можно отметить:

разработку новой азотсодержащей стали с уникальным сочетанием высокой прочности и коррозионной стойкости;

получение данных о влиянии нейтронного облучения на вязкость разрушения сталей;

разработаны стабильные во времени фоторефрактивные полимерные композиты для записи динамических голограмм, усиления информационных лазерных лучей и видеоизображений, которые перспективны для использования в системах оптической связи и лазерной инфракрасной медицинской диагностики;

выявлены тонкие особенности формирования кристаллической структуры молекулярных магнетиков на основе оксалатов переходных металлов с различными органическими катионами, на основе которых впервые созданы полифункциональные соединения, объединяющие несколько функций в одной кристаллической решетке;

сформулирован универсальный подход к молекулярному конструированию светочувствительных и светоизлучающих химических систем с заданными свойствами;

на основе изучения физико-химических процессов высокотемпературной кристаллизации создан комплекс для выращивания крупногабаритных монокристаллов лейкосапфира. Комплекс позволяет снизить в два раза себестоимость крупногабаритных монокристаллов

лейкосапфира, потребность в которых определяется прогрессом в области солнечной энергетики, микроэлектроники и конструкционного материаловедения; на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза разработаны новые процессы получения композиционных и наноразмерных керамических материалов для авиакосмической промышленности и машиностроения; разработана технология производства стеклянных волоконных световодов с низким уровнем оптических потерь, которые используются для создания элементов волоконно-оптических систем связи, волоконных лазеров, волоконно-оптических датчиков. Существенные результаты получены в области нанотехнологий и наноматериалов. Следует подчеркнуть, что в этой области в отечественной науке и прежде был значительный задел, особенно в коллоидной химии, катализе, в области так называемых ультрадисперсных материалов. Получены данные о положительном влиянии сверхмалых добавок углеродных наноматериалов на физико-механические свойства полимерных матриц и композитов. Разработан комплекс методов («нанолaborатория»), позволяющих создавать, модифицировать, разрушать и изучать строение и физико-химические свойства единичных наночастиц полупроводников и диэлектриков. Возможности «нанолaborатории» проверены на оксидах платины, вольфрама и алюминия. Обнаруженные при этом эффекты могут быть положены в основу нового метода структурного анализа диэлектрических пленок. Найдены различия в структуре и электронном строении наноразмерных частиц и макроскопического упорядоченного графита, что позволяет управлять процессами создания новых магнитов

### **3.2.1. Разработка эффективных технологических процессов получения высокочистых материалов**

#### *1. Мировые тенденции развития отрасли*

Высокочистые и особо чистые вещества и материалы, чистые химические реактивы – материальный базис для многих наукоемких отраслей промышленности, разработок новой техники и сами являются наукоемкой продукцией. В развитых странах особо чистую продукцию устойчиво производят более 100 фирм, покрывающие почти все запросы потребителей по номенклатуре и качеству. Запрос на продукцию нового типа и более высокого качества формируется разработчиками новой техники, новых технологий. Выдвигаются требования по повышению степени чистоты части традиционных материалов, получению их в новых агрегатных формах, в виде образцов новых типоразмеров и геометрии и т.п. Эти запросы удовлетворяются существующими фирмами-производителями через совершенствование существующих технологий, разработку и реализацию новых. Нередки ситуации, когда качество фирменной продукции недостаточно, и потребители, прежде всего из исследовательских организаций, осуществляют «доводку» материалов, чаще всего повышением степени чистоты.

#### *2. Состояние в России на текущий момент*

Благополучная (с позиций технологической безопасности государства) система обеспечения особо- и высокочистой продукцией предполагает наличие:

- современного производства реактивов, особо чистых веществ и материалов базовой номенклатуры, способного к быстрой организации выпуска новой продукции
- научных организаций, создающих научные основы методов получения, аттестации и технологии высокочистых веществ и материалов, пригодные для дальнейшей технологической реализации.
- научно-технических и проектных организаций, способных оформить и реализовать физико-химические основы получения и анализа высокочистых материалов в виде технологий и производства.

По ряду материалов оптимальной оказывается схема, когда эти все три компонента реализуются в одной организации. Примерно такая система обеспечения наукоемких отраслей производства и разработок новой техники существовала в СССР. В настоящее время в России от такой системы остались отдельные сегменты. Промышленное производство в наибольшей степени сохранилось в Росатоме, научные разработки – в РАН и отдельных вузах.

Номенклатура доступной из отечественных источников особо чистой продукции значительно сузилась. Обеспечение запросов потребителей новыми фирмами, чаще всего посредническими, идет за счет распродажи остатков произведенной ранее продукции и заказа ее за рубежом. Качество поставляемых реактивов и материалов часто не соответствует прилагаемым сертификатам. Небольшие количества высоко- и особо чистых материалов выпускаются малыми предприятиями, возникшими на месте крупных производителей советского времени, или при научных учреждениях, и работающими в значительной мере на зарубежного заказчика. Уровень выполняемых научных исследований остается высоким.

### *3. Перспективные потребности в продукции*

Отмечается возрастание внутреннего спроса на особо чистую продукцию. Это обусловлено улучшением экономической ситуации в стране, что увеличило финансирование науки, образования на создание новой техники. Для обеспечения программы по развитию наноматериалов и нанотехнологий также необходимы материалы с достаточно высокой степенью чистоты, причем в форме порошков, т.е. наиболее неудобной для достижения и сохранения необходимой чистоты. Имеется спрос из-за рубежа по тем группам материалов, где уровень отечественных разработок был и остается высоким. Судя по обозначенным заявкам, требуются материалы, относящиеся практически ко всем классам.

### *4. Сценарий развития отрасли*

- Определение номенклатуры и объемов продукции, востребованных отраслями-потребителями, в том числе с выделением группы стратегически важных материалов.
- Установление имеющихся производителей продукции. Составление номенклатуры производимых материалов и веществ, оценка (независимая сертификация) качества производимой продукции.
- Установление дефицита в особо чистой продукции в части номенклатуры и объемов выпуска.
- Определение вариантов покрытия дефицита из отечественных источников через систему госзаказов созданием новых и усилением существующих производств, за счет импорта, кооперации и т.п.
- Определение перспективных и принципиально новых высокочистых материалов, проведение необходимых фундаментальных и технологических разработок с достаточным материально-техническим и финансовым обеспечением.
- Создание в министерстве промышленности или какой-либо гос. корпорации подразделения (группы), координирующего функционирование и развитие отрасли.
- Целесообразно предусмотреть организационные и экономические действия на ближайший, средний и более дальний промежуток времени.

### *5. Критические и прорывные технологии и материалы*

Сокращенный перечень основных групп высокочистых материалов и технологий, необходимых сейчас, в ближайшее время и до 2030гг., представлены ниже.

1. Высокочистые летучие вещества различных химических классов для технологий функциональных материалов (галогениды, гидриды, элементоорганические соединения, постоянные газы и др.)
2. Волоконные световоды на основе высокочистого кварцевого стекла для видимого и ближнего ИК диапазона спектра.
3. Высокочистые стеклообразные, кристаллические и композитные материалы для интегральной и нелинейной оптики (стекла, кристаллы, пленки из соединений тяжелых металлов).
4. Высокочистые наноматериалы.
5. Материалы для силовой электроники (карбид кремния и др.).
6. Высокочистые материалы для силовой и проходной оптики среднего ИК-диапазона (CVD-халькогениды цинка и др.).
7. Материалы на основе высокочистых изотопно-обогащенных и моноизотопных веществ.
8. Высокочистые тугоплавкие металлы и сплавы на их основе, углерод.
9. Технологии парофазного, химического осаждения различных функциональных материалов.
10. Технологии обработки поверхности оптических элементов, интерференционных и защитных покрытий.

**3.2.2. Перспективные направления химии материалов, включая наноматериалы предполагают активизацию исследований по супрамолекулярным и наноразмерным самоорганизующимся системам.**

Разработка эффективных подходов к формированию гибридных наносистем путем самосборки элементов структуры в единый рабочий модуль при минимальном количестве стадий позволяет реализовать принципиально новые технологические решения в создании двумерных материалов, миниатюрных сенсоров, каталитических поверхностей и других наноразмерных устройств. В последнее время интенсивно развиваются оптоэлектронные методы, которые реализуют новые технологии генерации, обработки и передачи информации при одновременном или последовательном воздействии на объект световой энергии и электрического поля.

До сих пор масштабные работы по формированию гибридных (металл/неметалл, металл-I/металл-II, металл/полупроводник) наноструктурированных поверхностей и пленок с латеральной локализацией функциональных элементов, задаваемой свойствами (геометрией, химией) иницирующей матрицы и условиями проведения динамического процесса, не проводились не только в РФ, но и за рубежом.

В то же время показано, что использование супрамолекулярных наноразмерных структур в органических светоизлучающих диодах позволяет получить узкие линии электролюминесценции, необходимые для разработки компьютерных дисплеев с максимально возможным количеством воспроизводимых цветов. Для использования в оптических компьютерах следует разработать электрохромные органические полимерные устройства, изменяющие пропускание в диапазоне 90 – 5% при включении электрического поля и характеризующиеся временем срабатывания ~ 0,05 с при цикличности более 1000000 без снижения характеристик.

Новые наноструктурированные гибридные материалы необходимы для создания элементной базы наноустройств (т.н. «пост-литографические» процессы), идущих на смену литографическому производству. Существенно уменьшится энергопотребление и сложность изготовления наноустройств при росте их «интеллектуальных» способностей.

Проблема разработки новых технологий сборки текстурированных планарных поверхностей важна и с точки зрения образовательного процесса в вузах и, что не менее важно, с позиций подготовки научно-технических кадров. При подготовке таких специалистов должны использоваться не только опыт и знания разработчиков новых

направлений и материалов, но и образцы материалов и изделий, полученных с привлечением передовых научно-технических решений. Важным является и тот факт, что, опираясь на достижения в области самосборки сетевых архитектур, инженеры и технологи получают объективные ориентиры для разработки на их базе технологий массового производства.

. Критические и прорывные технологии:

- разработка технологии получения нелинейно-оптических пленочных слоевых структур с временами срабатывания в субпикосекундном диапазоне.

- создание тонких фоторефрактивных слоев для усиления информационных лазерных лучей оптического и ближнего инфракрасного диапазона, что позволит создать оптический низкочастотный транзистор, в котором коэффициент усиления модулированных лазерных лучей возрастает при увеличении приложенного к слою электрического поля.

- синтез супрамолекулярных структур с повышенной восприимчивостью третьего порядка обеспечит более высокие коэффициенты усиления информационных лучей, необходимых для использования в качестве элементов оперативной и архивной памяти.

### **3.2.3. Разработка технологий получения органических материалов и изготовления на их основе устройств широкого спектра действий**

Лидирующие позиции в разработке новых электролюминесцентных органических материалов и создании на их основе устройств отображения информации гражданского и оборонного назначения занимают такие фирмы, как Sony, Du Pont, Samsung, Pioneer, Philips, Motorola, Dow Chemical, Hitachi, и др. В ведущих промышленно развитых странах созданы национальные программы исследований в этой области, рассчитанные на 5-10-20 лет. Транснациональные программы в этой сфере созданы в Европе и Юго-Восточной Азии. В США по инициативе Сената сформирована национальная целевая программа.

В России работы в области синтеза электролюминесцентных полимеров и их исследования ведутся в недопустимо ограниченном объеме и главным образом силами РАН. В настоящее время в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» проводится разработка нового поколения систем визуального отображения информации на основе органических электролюминесцентных материалов.

Наиболее близко к коммерциализации находятся электролюминесцентные устройства на основе фото-электро-активных полимеров. Два главных направления промышленного использования полимерных органических материалов – это плоские и гибкие дисплеи нового поколения и высокоэкономичные твердотельные источники освещения. На сегодня светоизлучение образцов на основе органических материалов достигло 100 лм/Вт, что существенно превышает светоотдачу ламп накаливания (15-20 лм/Вт). Срок службы – 30000 часов – более чем в 50 раз превышает срок службы современных ламп накаливания. По имеющимся оценкам экономия энергии при переходе на полупроводниковые источники света к 2020 г может составить до 50%.

По прогнозам, в случае замены существующих традиционных источников света на светоизлучающие диодные, в течение следующих 20 лет не будет необходимости в строительстве новых электростанций.

Критическими технологиями в данной сфере являются:

- разработка органических преобразователей световой энергии в электрическую;
- разработка органических транзисторов, нелинейно-оптических устройств, твердотельных электрохромных слоев, различных сенсоров (в особенности, химических и биологических наносенсоров) и средств химической, медицинской и биологической защиты.

### 3.2.4. Материалы для электрохромных полимерных гибких панелей.

Оценки зарубежных экспертов показывают, что использование электрохромного остекления в современных архитектурных конструкциях и транспортных средствах может привести к экономии до 40% затрат энергии, которая тратится на кондиционирование и освещение помещений. Кроме того, использование таких стекол позволяет увеличить производительность труда на 25% за счет создания комфортных условий в офисном помещении в жаркий солнечный день.

В настоящее время за рубежом в остеклении зданий используются электрохромные, «умные» окна, которые выпускают различные фирмы, в частности, «Sage Electrochromics, Inc.». Однако широкого распространения «умные» окна пока не имеют из-за высокой стоимости и ограниченного срока службы (2 – 2,5 года). Использование таких окон в остеклении транспортных средств, практически невозможно, так как требует радикального изменения конструкции остекления и его заделки. В мире широко ведутся работы по созданию более перспективных многослойных светорегулирующих энергосберегающих электрохромных панелей на основе гибких полимерных пленок, которые могут крепиться к остеклению, в том числе, существующему. Однако на данный момент нет сведений о производстве подобных конструкций.

На основе гибких полимерных пленок разрабатываются также адаптивные покрытия поверхности, которые позволяют менять видимую конфигурацию объекта. В 2006 г. на исследования в области разработки таких покрытий в США выделены средства в размере 30 млн. долларов с задачей разработать рабочие модели покрытий для различных образцов военной техники.

В России в последние годы также появились электрохромные окна на силикатной основе (фирма «ТГЕ»). Стоимость их составляет более 12000 руб/м<sup>2</sup> и срок службы ограничен 2,5 годами. Работы по исследованию функциональных слоев для пленочных электрохромных конструкций ведутся в коллективах РАН и ФГУП ВИАМ.

По предварительным оценкам стоимость гибких электрохромных конструкций, которые могут производиться на основании результатов данного проекта, не должна превышать 3000 руб/м<sup>2</sup>, что в 4 раза дешевле выпускаемых на данный момент в России электрохромных окон. Оптимальное соотношение цена-качество обеспечит спрос на данную продукцию, как в России, так и за рубежом. Кроме того, на базе электрохромных панелей могут быть созданы адаптивные покрытия поверхности, к которым проявляют интерес компании, занимающиеся разработкой перспективных образцов военной техники.

Для успешного решения проблемы создания высокоэффективных гибких электрохромных панелей необходимо объединить усилия разрозненных коллективов и провести ориентированные фундаментальные исследования, направленные на разработку функциональных элементов электрохромных многослойных конструкций. Пионерские разработки таких конструкций с участием ученых РАН и инженеров ВИАМ уже позволили найти принципиальные подходы к созданию гибких прозрачных проводящих полимерных пленок и выбору электрохромных систем.

Критические и прорывные технологии:

- технология создания электрохромных слоев на основе нанокомпозитов проводящих полимеров и оксидов переходных металлов;
- технология создания наноструктурированных прозрачных электропроводящих покрытий на поверхности полимерной пленки;
- технология создания гель-электролита на основе сверхразветвленных полимеров и функционализированных наночастиц.

### 3.2.5. Электрохимическое материаловедение.

В области электрохимического формирования материалов можно отметить два основных направления: синтез наноразмерных композиций, обладающих необходимыми функциональными свойствами, недостижимыми при использовании равновесных систем и использование прецизионной техники (туннельных и атомно-силовых сканирующих микроскопов) для формирования квантовых точек, наноструктурных систем электронной техники. Значительное внимание уделяется работам с использованием туннельной и атомно-силовой микроскопии с целью получения микросистем для электронной промышленности, формирования электродных систем для изучения механизмов собственно электрохимических реакций.

Начиная с девяностых годов, в России работы по первому направлению были существенно сокращены, что привело к значительному отставанию от мирового уровня. Работы по второму направлению развиваются единичными ячейками и требуют значительной финансовой поддержки.

Развитие фундаментальных исследований позволит разработать пути получения новых мезоматериалов, выяснить возможность создания микро-капсулированных систем с целью получения сверхпроводящих материалов.

Критические и прорывные технологии:

- создание монокристаллов металлов;

- туннельная сканирующая микроскопия, атомная силовая микроскопия; -создание металлических наночастиц определенного размера, создание мономолекулярных туннельных контактов.

Все эти технологии достаточно хорошо разработаны за рубежом и в той или иной степени существуют в России. Эти новые технологии могут возникнуть лишь на базе соответствующих фундаментальных и прикладных исследований.

### **3.2.6. Синтез полимерных и полимерных композиционных материалов, обладающих специальными функциональными свойствами.**

Полимеры, полимерные композиты и эластомеры широко используются в материалах, деталях и конструкциях ракетно-космической, авиационной и автомобильной технике, машиностроении, судостроении, медицинской технике, изделиях гражданского назначения, строительстве, пищевой и легкой промышленности, медицине и др., а также в качестве вспомогательных материалов в микроэлектронике, энергетике, при решении экологических проблем, например, создание конструкционных материалов для контейнеров и емкостей для утилизации техногенных отходов.

Очевидно, что технологическая, военно-политическая и социально-экономическая безопасность страны не могут быть гарантированными без организации стабильного обеспечения промышленности и населения всем комплексом полимерных материалов, потребности в которых с каждым годом увеличиваются. Ожидается увеличение мирового потребления пластмасс гражданского назначения со 180 млн. тонн в 2008 году до 260 млн. тонн в 2010 году, потребление трубного полиэтилена со 20 млн. тонн до 35 млн.тонн в 2015 году.

По потреблению полимеров и полимерных композитов Россия в настоящее время отстала от Западной Европы, США, Японии и Китая в 10 – 20 раз. Например, объем производства трубного полиэтилена составляет всего 350 тыс. тонн, а планируемый рост производства составляет всего лишь 5% в год. Особенно тревожно положение с производством олигомеров, полимеров и эластомеров специального назначения, необходимых для производства клеев, покрытий, связующих, герметиков и т.п. Правда в последние годы наметилась тенденция строительства новых производственных мощностей в Татарии и Западной Сибири по производству каучуков и полиолефинов.



Для широкого внедрения полимерных материалов в практику необходима организация государственных научно-технологических центров, ориентированных на выпуск опытных партий и серийной продукции достаточно широкого ассортимента. Важно повысить культуру производства некоторых промышленных крупнотоннажных полимеров, в первую очередь сверхвысокомолекулярного полиэтилена, организовать выпуск новых полимеров по специальным техническим условиям.

Следует сохранить в России производство фенолформальдегидных полимеров, несмотря на его экологическую сложность, поскольку по ряду показателей материалы, полученные на их основе, значительно превосходят материалы на основе импортных полимеров.

Наиболее перспективными представляются следующие направления развития науки о полимерах:

- молекулярный дизайн и синтез сополимеров с определенной структурой, обеспечивающей заданные физико-химические свойства и структуру сополимера;

- создание функциональных «управляемых» полимерных систем с контролируемыми электрооптическими и адсорбционными свойствами, а также проницаемостью, способных воспроизводимо изменять свою функцию в ответ на сигнал внешней среды: изменения температуры, освещенности, состава среды, напряженности электрического или магнитного поля;

- разработка совместимых с окружающей средой методов синтеза полимеров массового спроса (зеленая химия);

- синтез ароматических карбо- и гетероциклических полимеров.

В ближайшие годы вполне реально развитие этих работ для решения новых задач, выдвигаемых высокотехнологичными отраслями промышленности. Следует также ожидать начало работ по созданию экологически чистых способов синтеза подобных полимеров (сверхкритические среды, ионные жидкости и т.п.) и активации процессов физическими методами (плазма, СВЧ-излучение, ультразвук, кавитация и др.), которые развиваются в ряде зарубежных стран.

**Синтез полигетероариленов.** Полигетероарилены (ПГА) являются уникальным семейством полимеров, гарантирующих эксплуатацию изделий на их основе при температурах 300-600 °С как на воздухе, так и в агрессивных средах. Наибольшее значение они имеют для аэрокосмической отрасли, электроники и фотоэлектроники, электротехники, а в последнее время и для водородной энергетики. Эти полимеры являются продуктом высоких технологий. Их использование оправдано в тех областях техники, где другие полимерные материалы непригодны. Крупнотоннажное производство ПГА нецелесообразно вследствие их высокой стоимости. С другой стороны, пилотное производство таких полимеров (от килограммов до единиц тонн) не требует дорогостоящего технологического оборудования и позволяет в зависимости от потребности выпускать разнообразные типы полимеров.

Многие виды таких полимеров могут прогнозироваться для использования в долгосрочной перспективе (за пределами 2030 года). Однако спрос на них и организация производства соответствующих мономеров будут полностью зависеть от развития и поддержания химико-технологической базы России, которая в настоящее время находится в состоянии упадка и депрессии.

**Создание новых композиционных материалов, имеющих низкую теплопроводность, высокую термостойкость, механическую прочность и эрозионную устойчивость.** Значительные успехи по созданию подобных материалов на основе

кремний-карбидных, кремний-карбидоксидных, кремний-нитридных композиций достигнуты в Японии, США и Германии. Организовано производство кремний-карбидных волокон типа Nicolon, High Nicolon с термостойкостью выше 1200°C и высокими механическими показателями.

В нашей стране для решения подобных задач используют оликарбосиланы, полисилазаны, полиборэтоксисилоксаны с добавками тугоплавких нанодисперсных кислородных и бескислородных соединений. Для высоконагруженных отсеков ракетополетов 3 ступени и лопаток авиационных двигателей используют полимерные композиционные материалы на основе волокон углерода.

Технологии и производства кремний-карбидных и кремний-углеродных волокон в России нет. Имеется лишь несколько лабораторных установок. Для развития этого направления требуется проведение ориентированных фундаментальных и прикладных исследований.

**Трибологически ценные полимеры и материалы.** Это направление включает многочисленные классы полимеров, в том числе износостойкие и антифрикционные полимеры. Особенностью новых приоритетных разработок в этом направлении является относительно небольшой объем используемых полимеров. Так, в автомобилестроении на 1 тонну веса в среднем приходится всего 50÷100 гр. антифрикционных полимерных материалов, определяющих срок службы всего агрегата.

**Покрывания для авиационной техники, работающей в условиях Арктики.** Поиск новых подходов для предотвращения обледенения и загрязнения поверхностей летательных аппаратов считается актуальным с точки зрения мировых производителей авиационной техники. Одним из таких подходов является создание антиадгезионных покрытий на основе гидрофобных (в частности, фторорганических) полимерных композиционных материалов с использованием наночастиц, а также самоочищающихся «управляемых» покрытий на основе микромеханических или тепловых эффектов. Другой возможностью для предотвращения адгезии и формирования органических загрязнений на поверхности является формирование фотокаталитически активных слоев для окисления загрязнений под действием видимого и УФ излучений.

Такие работы планируются или уже ведутся в лабораториях крупнейших зарубежных авиационных концернов и научно-исследовательских центров.

В нашей стране развиты теория и принципы формирования антиадгезионных и самоочищающихся «управляемых» покрытий. Среди развитых подходов можно отметить гидрофобные материалы на основе фтор- и кремнийорганических соединений, включение нанотрубок в полимерную матрицу для увеличения износостойкости и сопротивления эрозии, методы формирования пористых слоев с контролируемой микроструктурой (золь-гель техника, литография, и др.), разложение загрязнений инсектного происхождения путем иммобилизации ферментов и включения фотокаталитических материалов.

Для решения этих проблем в промышленном масштабе необходима организация специализированных научно-технических центров, располагающих современной опытно-технологической базой.

Научные задачи, требующие первоочередного решения для успешного развития данной технологии:

- разработка методов формирования однородной по объему материала структуры и/или направленного ее изменения;
- накопление и анализ экспериментальных данных о структуре полимерных композиций, модифицированных наночастицами и нановолокнами различной природы;

- разработка моделей вычислительной механики и способов их реализации применительно к наполненным наночастицами и нановолокнами полимерным композициям;
- разработка технологии модифицирования наносиликатов и введение их в полимерные материалы;
- исследование процессов самоорганизации при формировании органо-неорганических гибридных материалов.

### **3.2.7. Модифицированные углеродными наноматериалами конструкционные углепластики.**

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к росту количества углепластиков, которые применяются в конструкциях современных транспортных средств. Так фирма «General motors» прогнозирует увеличение объема использования композиционных материалов в конструкции автомобиля к 2012 г. до 18% по весу, а объем применения углепластиков в конструкции планера ряда современных самолетов и вертолетов превышает в настоящее время уже 50% по весу. Данная тенденция совершенно логична. Уменьшение веса конструкций, повышение эксплуатационного ресурса при снижении материалоемкости позволяет улучшить динамические характеристики транспортных средств, добиться существенной экономии топлива.

К факторам, которые сдерживают широкое применение углепластиков в изделиях, в частности, авиационной техники, следует отнести:

- прочностные характеристики используемых в настоящее время связующих не позволяют полностью реализовать физико-механические свойства углеволокон;
- недостаточная стабильность свойств углепластиков при воздействии эксплуатационных факторов (воздействие высоких температур и влажности);
- недостаточная стойкость композиционных материалов к воздействию ударных нагрузок.

Таким образом, проблема комплексного повышения физико-механических характеристик и эксплуатационной надежности углепластиков является крайне актуальной.

В настоящее время рынок конструкционных углепластиков в России составляет лишь 10-20 т/год. Однако амбициозные планы по развитию самолето- и вертолетостроения и появление на российском рынке частных компаний по производству автомобилей позволяют предположить быстрое развитие этого сектора экономики при условии создания углепластиков с существенно более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с существующими.

Конструкционные углепластики с повышенным комплексом эксплуатационных характеристик могут использоваться, в первую очередь, в производстве различных транспортных средств для замены металлических конструкций. Потребителями этих углепластиков будут выступать предприятия авиастроения, транспортного машиностроения и др. В перспективе потребности в этих материалах будут составлять тысячи тонн/год.

Развитие отрасли будет определяться темпами проведения научно-исследовательских, опытно-технологических и опытно-конструкторских разработок, обеспечением всех перечисленных этапов современным научным и технологическим оборудованием, а также благоприятной атмосферой для внедрения инновационных разработок.

. Критические и прорывные технологии:

- технология создания новых высокопрочных полимерных композитов с использованием различных, в том числе углеродных, наноматериалов;
- технология крупномасштабного производства высококачественных наноматериалов.

### **3.2.8. Жаропрочные материалы.**

Разработка высокоэффективных материалов, новейших технологий их получения и применения является важнейшим фактором развития конкурентоспособных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) с высоким уровнем тяги, весового и эксплуатационного совершенства. В настоящее время идёт конструкторская, технологическая и материаловедческая проработка газотурбинного двигателя VI поколения, обеспечивающего отношение создаваемой тяги к весу 20:1 (для сравнения: у двигателей предыдущего поколения этот показатель равен 10:1) при одновременном повышении ресурса в 2-3 раза. Необходимое для решения этой задачи повышение рабочей температуры газа до 2000–2200 К может быть достигнуто за счёт применения в газовой турбине монокристаллических лопаток из жаропрочных никелевых сплавов, легированных рением и рутением. Эти сплавы имеют рекордные показатели длительной прочности и высокую технологичность при направленной кристаллизации, что позволяет использовать их для получения монокристаллических турбинных лопаток с проникающим охлаждением. При этом долговечность таких лопаток может быть повышена за счет применения специально разработанных защитных покрытий и оборудования для их нанесения методом ионно-плазменного напыления в вакууме.

В ФГУП «ВИАМ» разработаны рений- рутенийсодержащие никелевые жаропрочные сплавы серии ВЖМ с показателями жаропрочности  $\sigma_{1000}^{1100^{\circ}} = 120-140$  МПа для отливки турбинных лопаток с монокристаллической структурой. Сплавы серии ВЖМ имеют более высокие рабочие характеристики, чем сплавы марок MC-NG (фирма ONERA) и MX4 (фирма General Electric) аналогичного назначения.

На смену современным сложнолегированным жаропрочным сплавам на основе никеля должны придти новые материалы с более тугоплавкой матрицей. Наиболее перспективными в этом отношении являются интерметаллиды, поликристаллические жаропрочные сплавы на ниобиевой основе, упрочненные силицидом ниобия, с плотностью и рабочей температурой до 1350°C и естественные композиты на их основе в виде направленных эвтектик, например, с ниобиевой матрицей, армированной протяженными интерметаллидными кремнийсодержащими фазами.

Анализ разработок в области жаропрочных никелевых сплавов для монокристаллических лопаток показал, что основные направления их дальнейшего совершенствования (повышение эксплуатационных характеристик и стабильности) включают:

- разработку специально легированных монокристаллических сплавов повышенной фазовой стабильности;
- легирование монокристаллических никелевых сплавов Re и Ru с целью повышения рабочих температур и ресурса;
- микролегирования монокристаллических никелевых сплавов PЗМ для упрочнения субструктурных дефектов и повышения сопротивления газовой коррозии;
- усовершенствование металлургии сплавов для монокристаллического литья с целью дополнительного рафинирования;
- применение при разработке новых сплавов методов компьютерного конструирования, позволяющих быстро, надёжно и экономично находить оптимальные составы сплавов с заданным уровнем служебных свойств;
- литье монокристаллических лопаток из жаропрочных рений-рутениеосодержащих никелевых сплавов методом высокоградиентной направленной кристаллизации;
- выбор режимов термообработки, которые позволят реализовать преимущества монокристаллических жаропрочных рений- и рутенийсодержащих никелевых сплавов и достичь максимального уровня свойств и др.

Предельная рабочая температура никелевых жаропрочных сплавов для лопаток газовых турбин составляет 1100-1150°C. Поэтому на смену современным сложнолегированным жаропрочным сплавам на основе никеля должны придти новые материалы с более тугоплавкой матрицей. Наиболее перспективными в этом отношении являются интерметаллиды, поликристаллические жаропрочные сплавы на ниобиевой основе,

упрочненные силицидом ниобия, с плотностью и рабочей температурой до 1350°C и естественные композиты на их основе в виде направленных эвтектик, например, с ниобиевой матрицей, армированной протяженными интерметаллидными кремнийсодержащими фазами. К преимуществам таких материалов относятся меньшая на ~20% (менее 8 г/см<sup>3</sup>) плотность по сравнению с традиционно применяемыми жаропрочными сплавами, отсутствие дефицитных легирующих элементов и более высокая температура плавления. Лопатки из подобного композита могут длительно работать при температурах на ~ 200°C более высоких, чем аналогичные детали из никелевых жаропрочных сплавов.

Научные задачи, требующие первоочередного решения для успешного развития данной технологии:

- разработка химического состава и металлургии многокомпонентных жаропрочных эвтектических ниобиевых сплавов,
- разработка материалов для керамических форм, длительно совместимых с расплавами жаропрочных эвтектических ниобиевых сплавов при температурах до 1800°C;
- разработка жаростойких покрытий для ниобиевых сплавов и технологии их нанесения.

### **3.2.9. Волоконно-оптические материалы**

Волоконно-оптические материалы – фундаментальная материальная основа волоконной оптики, которая является одной из наиболее быстро развивающихся направлений науки и техники. Основные применения волоконно-оптических материалов:

- волоконно-оптические системы связи и передачи информации. Во всех развитых странах, прежде всего в США, Японии, Англии, Франции, Италии, Германии волоконно-оптическая связь находит широчайшее применение. Огромные усилия предпринимает Китай, чтобы выйти на мировой уровень в волоконно-оптической связи;
- волоконные лазеры. Среди мощных лазеров волоконные лазеры являются самыми эффективными, компактными и надёжными устройствами. В настоящее время за рубежом разработаны и промышленно выпускаются непрерывные волоконные лазеры с выходной мощностью до 50 кВт. Волоконные лазеры находят широкое применение для обработки материалов (резка, сварка, сверление и т.д.) в автомобильной и авиакосмической промышленности, а так же для ряда специальных применений;
- волоконно-оптические датчики температуры, деформаций, давления, ионизирующих излучений. Важным преимуществом волоконных датчиков является их невосприимчивость к электро-магнитным помехам, возможность изготовления длинных (километры) распределённых датчиков, высокая чувствительность. В настоящее время в развитых странах распределённые волоконные датчики широко используются для контроля состояния таких объектов, как мосты, дамбы, здания, корпуса кораблей, самолётов и других важных объектов.

Уровень фундаментальных исследований в РАН в области волоконно-оптических материалов и волоконной оптики, лазерной физики, физики твёрдого тела достаточно высок, что бы осуществлять научное сопровождение создания современных технологий материалов для волоконной оптики и смежных областей. Разработанные в России технология стеклянных волоконных световодов с низкими оптическими потерями относится к числу критических и прорывных технологий.

В настоящее время в России проводятся широкие исследования по созданию нового поколения волоконно-оптических материалов и световодов на основе фотонных кристаллов, обладающих свойствами, которые позволят создать новое поколение волоконно-оптических систем различного назначения. Это требует проведения ориентированных фундаментальных и прикладных исследований.

Необходимо наращивание промышленных мощностей по выпуску волоконно-оптических материалов на основе отечественных разработок.

### **3. 2.10. Создание технологий и материалов с прочностными, упругими, коррозионными и другими свойствами**

В рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 8 «Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов» получен ряд новых результатов, важных как для развития теории наноматериалов, так и для их возможного практического использования в отраслях экономики, здравоохранении, социальной сфере, системах безопасности. Это относится практически ко всем классам металлических, керамических, полимерных и композиционных материалов. По существу проекты направлены на изучение прочностных, упругих, магнитных, тепловых и других свойств объемных металлических, керамических и полимерных материалов, пленок и порошков.

В настоящее время Россия располагает достаточным научным и кадровым потенциалом для целенаправленного развития работ в области наноиндустрии. Фундаментальные, поисковые исследования и разработку нанотехнологий осуществляют более 150 научных организаций численностью около 20 тыс. исследователей. Около 70 российских организаций производят и реализуют продукцию наноиндустрии в объеме 3,5-4 млрд. рублей в год.

По научно-техническому уровню разработок Российская Федерация и ведущие в этой области страны находятся фактически на одинаковых стартовых позициях.

. Перспективные потребности в продукциях отрасли:

- нанокпозиционные материалы со специальными механическими свойствами для сверхпрочных, сверхлегких конструкций и износостойкого обрабатывающего инструмента;
- нанокпозиционные и нанодисперсные материалы для высокоэффективной сепарации и избирательного катализа;
- нанокпозиционные материалы с особой устойчивостью к экстремальным факторам для термически-, химически- и радиационно-стойких конструкций;
- нанокпозиционные материалы, обладающие «интеллектуальными» свойствами, включая адаптивность, память;
- наноструктуры и нанокпозиции для электронных и фотонных информационных систем;
- нанокпозиционные материалы для генерации, преобразования и хранения энергии;
- специальные нанокпозиционные адаптивные материалы с заданным уровнем отражающей или поглощающей способности в СВЧ и оптическом диапазонах длин волн;
- нанокпозиционные биосовместимые материалы для замещения костных тканей и органов.

Нанотехнологии:

- машиностроительные нанотехнологии для механической и корпускулярной обработки с наноточностью;
- физико-химические нанотехнологии, основанные на атомно-молекулярной химической сборке и самосборке неорганических и органических веществ;
- биомедицинские нанотехнологии для сверхлокальной наноизбирательной диагностики, терапии, хирургии и генной инженерии.

Критические и прорывные технологии

Технологии, по которым Россия или находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем при условии проведения соответствующих прикладных исследований:

- высокопроизводительные технологии получения нанокристаллических твердых сплавов на основе карбида вольфрама;

- технологии получения нанокристаллических твердых сплавов на основе карбидов и нитридов титана.

Несуществующие технологии, но необходимые для реализации конкретных задач:

- высокопроизводительные технологии получения монодисперсных нанопорошков и консолидированных наноматериалов.

### **3.2.11. Коррозия металлов, ее прогнозирование и контроль**

Защита металлов, сплавов и других материалов от коррозии является важной научно-технической проблемой. По разным оценкам затраты на покрытие прямого ущерба от коррозии, в экономически развитых странах составляет 1.8 – 5.0% валового национального продукта (ВВП). Согласно экспертизе в США ежегодные прямые потери от коррозии в начале 2000-х г. достигали \$276 млрд. Департамент обороны США сообщал о ежегодных потерях \$20 млрд., из которых около 20% приходится на авиацию. Европейской Федерацией коррозии возможность уменьшения потерь от коррозии лучшими методами защиты оценивались в 15-25%. На долю атмосферной коррозии приходится до 70% ущерба от всех видов коррозии, поэтому проводятся широкие исследования по разработке методов и методик оценки коррозионного ущерба. С 1997 года работает Международная программа Европейской комиссии ООН по оценке воздействия загрязнений воздуха на материалы, включая исторические и культурные памятники.

К сожалению, в РФ не уделяется должного внимания этой проблеме (последние оценки потерь в нашей стране не проводились с конца 1970-х г.г.). По протяженности трубопроводов различного назначения РФ значительно превосходит другие страны. Их разрушение по причинам не только коррозии, но и коррозионного растрескивания часто имеют катастрофические последствия. При добыче, транспорте и переработке нефти коррозия является причиной 70% отказов. Для внутрипромысловых трубопроводов эта величина достигает 90%.

Важны не столько потери самого металла, сколько преждевременный выход из строя дорогостоящих узлов и сложных технических систем. Заслуживает особого внимания коррозия в таких отраслях промышленности, как электроника. Термин «нанокоррозия» не дань моде, а отражение реального явления, когда массопотери металла не определяют опасности возникновения коррозии. Так, в США до 20% отказов электроники в авиации обусловлено коррозией.

С коррозией, тесно связано и загрязнение окружающей среды. Ее продукты, вредные, а часто и ядовитые вещества, попадающие в воду, атмосферу, грунт в результате связанных с разрушением металла аварий; вышедшее из строя оборудование – наносят огромный урон экологии.

Уровень развития целых областей техники (металлургия, машиностроение, авиастроение и др.) и внедрение многих перспективных технологий сдерживается отсутствием коррозионно-стойких материалов для их конструктивного оформления или эффективных методов и средств подавления коррозии.

Важным направлением является создание баз и банков данных, информационных справочных систем, на основе которых развиваются методы моделирования и прогнозирования коррозионной стойкости металлов и сплавов на длительные периоды времени. Одним из практических результатов развития этого направления уже сейчас является картографирование территорий в разных географических масштабах. Например, по результатам картографирования Европейской территории РФ для никеля в условиях, имитирующих корпус прибора в естественно вентилируемом объеме, скорость коррозии в разных регионах может различаться на 3 порядка! Такие результаты важны, например, для выбора мест хранения вооружения, военной техники и других сложных технических систем.

Воссоздание сети коррозионных и климатических испытательных полигонов, поскольку ускоренные испытания в камерах искусственного климата не могут в полном объеме имитировать сложный комплекс суточных и сезонных изменений параметров атмосферы. Моделирование и картографирование атмосферной коррозии в РФ.

**Защита металлов летучими ингибиторами коррозии.** Летучие ингибиторы коррозии (ЛИК) выделяются среди других средств защиты металлов надежностью и экономичностью. Испаряясь, они в виде паров достигают металла, адсорбируются на нем и, взаимодействуя с поверхностью, предотвращают коррозию. Их применение оправдано почти всегда, при возможности герметизации защищаемого объема. Ранее ЛИК рассматривали как средство борьбы с атмосферной коррозией, но в последние годы снизились требования к герметичности защищаемых ЛИК систем и расширилось их применение на более агрессивные кислые газы, в качестве присадок к ЛКП, маслам и др.

В РФ достигнут значительный, опережающий мировой уровень прогресс в развитии теории действия и методов направленного модифицирования структуры ЛИК. Выявлены механизмы парообразования и ингибиторного действия широкого круга органических соединений; разработаны методы прогнозирования и направленного изменения функциональных и основных технологических свойств ЛИК; изучены механизмы защиты металлов и требования, предъявляемые к ЛИК в различных условиях взаимодействия защищаемого объема и окружающей среды; развиты научные принципы создания ЛИК для условий, традиционно считавшихся противопоказанием их использованию – интенсивная конденсация влаги, газовые среды высокой агрессивности и др.; создана методология целевой разработки смесевых ЛИК синергетического действия, компоненты которых не просто дополняют, а усиливают защитное действие друг друга. Это привело к разработке и организации промышленного производства на базе отечественного сырья нового поколения ЛИК и материалов на их основе.

### **3.3. Химические аспекты экологии и рационального природопользования.**

Важнейшей задачей является использование разработанных в РАН, а также разработка методов резкого сокращения образования промышленных и бытовых отходов, отходов сельского хозяйства и др. а также утилизация (повторное использование) имеющихся отвалов, свалок и т.п., очистка загрязненных территорий.

Результаты проведенных исследований позволяют создать комплексные безотходные производства по переработке и утилизации отходов с одновременным извлечением сырья для металлургии, химической промышленности, промышленности стройматериалов и других отраслей с одновременным получением энергии.. Отставание наших исследований обусловлено недостаточным спросом по сравнению с мировым уровнем и поэтому недостаточной организационной и финансовой поддержкой.

В России имеются отдельные группы, ведущие исследования мирового уровня по данной теме. К числу достижений этих групп можно отнести:

- на основе монотерпеновых соединений, являющихся доступными продуктами переработки лесохимического сырья, разработаны методы синтеза нового класса хиральных полигетероатомных ансамблей открытоцепной топологии, а также их производных замкнутой топологии. Полученные соединения являются перспективными хиральными реагентами для органической, биоорганической и неорганической химии, а также для применения в металлокомплексном катализе;
- разработан высокотехнологичный экологически безопасный способ получения хлорпарафинов, альтернативный промышленному, основанному на использовании газообразного хлора;



- предложена качественно новая аналитическая система для высокочувствительного экспрессного определения биологических веществ, основанная на применении капиллярного электрофореза на микрофлюидном чипе;
- на основе фундаментальных исследований механохимии природных полисахаридов-эфиров целлюлозы и крахмала-разработаны ресурсосберегающие методы синтеза жидких и наноструктурных биокмпозиционных функциональных материалов;
- предложены новые нефтewытесняющие системы на основе композиции поверхностно-активных веществ, карбамида, солей аммония и ферментов для гидролиза карбамида для увеличения нефтеотдачи пластов высоковязких нефтей.

В ближайшие годы предполагается сосредоточить усилия на:

- разработке методов прогнозирования и предотвращения крупных аварий и техногенных катастроф в химической и родственной отраслях промышленности. В том числе катастрофических взрывов и пожаров, а также методов локализации последствий таких аварий и террористических актов, создание, в том числе, химических методов, специальных реагентов и аппаратуры.
- разработке новых методов, приборов и сенсоров для химического контроля и регулирования состава атмосферы и качества природных вод и пищевых продуктов, разработке экологически безопасных и ресурсосберегающих методов переработки природного ископаемого сырья (нефть, газ, уголь и др.), обеспечивающих существенное повышение степени его использования, включая процессы комплексной переработки отходов горно-обогатительных производств; разработке методов конверсии биомассы и парниковых газов в товарные продукты.

Важнейшими направлениями для широкого практического использования и масштабного промышленного освоения представляются **биоразлагаемые полимерные материалы и производство и применение адсорбентов.**

В последние годы в развитых странах большое внимание уделяется разработке и производству биоразлагаемых полимерных материалов, включающих в себя две основные группы: биополимеры, композиционные материалы на основе синтетических и природных полимеров.

К природным биополимерам относятся: крахмал, целлюлоза, хитин, кератин, коллаген и др. Кроме того, с помощью биотехнологии, ферментативного катализа получают алифатические полиэфиры, полигидроксиалканоаты, включая полилактид (ПЛА), полигидроксibuтират (ПГБ), их аналоги и сополимеры. К новому перспективному направлению производства биопластиков относится поликонденсация природных аминокислот, например, аспарагиновой кислоты.

Привлекательность биополимеров связана как с решением экологических проблем, обостряющихся с каждым годом из-за накопления не разлагаемого полимерного мусора, так и переходом на возобновляемое сырье природного происхождения.

Несмотря на всё возрастающую потребность в биополимерах, их доля, в общем объеме выпускаемых в мире полимерных материалов, пока еще невелика (около 1%), тогда как основная масса приходится на высокомолекулярные соединения, получаемые из углеводородного сырья. Производство синтетических пластмасс в мире составляет 180 млн. тонн в год. При этом около половины пластиков расходуется на упаковку, большая часть которой попадает в бытовой мусор (около 40%) и не разлагается в течение 30-50 лет. Поэтому к числу ярко выраженных мировых тенденций относится придание биodeградируемых свойств синтетическим пластикам путем введения модифицирующих добавок и, в первую очередь, биополимеров. Многие иностранные фирмы выпускают полимерные композиты с нативным и модифицированным крахмалом (Novamont S.p.A, Италия). В Бельгии установлена высокая пошлина (до 300%) на неразлагаемые пакеты. Итальянским законодательством предусмотрено использование к 2010 году лишь биоразлагаемых пакетов.

В отличие от большинства развитых стран у промышленных предприятий России нет мотивации переходить на выпуск биоразлагаемых полимеров. Россия не производит в промышленном масштабе биоразлагаемые полимеры. Главная причина – отсутствие социального заказа и законодательных актов. В настоящий момент отсутствуют технологические разработки, хотя на лабораторном уровне работы активно проводятся.

Критические и прорывные технологии:

- разработка технологии создания биополимеров и биоразлагаемых полимерных композиций.
- разработка и реализация новых технологий по утилизации отходов кабельной, автомобильной, авиационной отраслей промышленности.

**Производство и применение адсорбентов.** Наиболее востребованными адсорбентами в настоящее время являются активные угли, силикагели, цеолиты, алюмогели, некоторые природные материалы на основе слоистых силикатов – глины (монтмориллониты, вермикули), природных цеолитов (клиноптилолит, натролит и др.), полимерные сорбенты на основе сверхсшитого полистирола (СПС).

В 1991 году в СССР производилось 37.3 тыс.т. углеродных адсорбентов в год. Для сравнения, США производили 96.0 тыс.т./год; Голландия – 40.0 тыс.т./год; ФРГ – 32.0 тыс.т./год. В настоящее время в России производится около 7 тыс.т. углеродных адсорбентов в год. Количество активных углей, закупаемых за рубежом для покрытия самых острых потребностей, составляет около 1 тыс.т/год.

Количество производимого силикагеля разных марок после 1991 года резко уменьшилось и составляет ориентировочно около 5 тыс.т./год.

После 1991 года месторождения монтмориллонита остались в основном за рубежом России. Поэтому этот минерал закупается за границей в объеме порядка 200 тыс.т./год. Для восполнения недостатка в монтмориллоните очевидно необходимы геологические изыскания.

Несмотря на то, что в РАН были разработаны оригинальные технологии получения сорбентов на основе СПС, в настоящее время в России производство этих сорбентов, предназначенных для существенного улучшения качества технологической воды на предприятиях микроэлектроники и атомной энергетики, обеспечения населения питьевой водой, организации рециклинга воды на большинстве предприятий, на основе СПС отсутствует. Вместе с тем, в настоящее время производство аналогичных сорбентов в Англии достигает многих тысяч тонн.

Основные области применения адсорбентов в настоящее время являются химическая промышленность, пищевая промышленность, металлургия, нефтяная и газоперерабатывающая отрасли промышленности, очистка питьевой воды, защита окружающей среды (очистка промышленных стоков, защита воздушного бассейна от промышленных газовых выбросов, медицины (энтро- и гемосорбция), фармацевтики.

Силикагели широко используются в химической, газовой, нефтеперерабатывающей, металлургической, электронной, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности.

Цеолиты используются в промышленности для молекулярно-ситового разделения веществ, глубокой осушки газов, приготовления катализаторов для нефтепереработки, в строительной промышленности для изготовления стеклопакетов и в качестве добавок в стиральные порошки. Наибольшие объемы цеолитов потребляют два последних направления. Использование цеолитов в нефтепереработке в последние 15 лет резко упало из-за сокращения объемов высокотехнологичной нефтепереработки. Производство цеолитов разных типов составляет ориентировочно около 5 тыс.т./год. Значительное количество цеолитов поставляется на экспорт.

Алюмогели широко используются как носители катализаторов для химической, газовой, нефтеперерабатывающей, металлургической, электронной и других отраслях промышленности.

Глины широко используются в металлургической промышленности для приготовления окатышей на горно-обогатительных комбинатах.

Сверхсшитые полистирольные сорбенты нашли широкое применение для обесцвечивания сахарных сиропов, обезвреживания промышленных стоков, в водоподготовке и тонкой очистке антибиотиков. На их основе можно организовать безреагентные процессы разделения концентрированных растворов минеральных солей, кислот и щелочей, столь актуальные в производстве титана, в переработке ценных металлов, электролизных производствах.

Подъем большинства отраслей промышленности, связанных с получением чистых веществ и новых материалов не возможен без производства необходимых объемов адсорбентов, обладающих широким спектром свойств.

Для успешной работы промышленности в условиях инновационной экономики и обеспечения независимости от зарубежных поставок необходимо увеличить производство углеродных адсорбентов до 100 тыс.т./год; силикагелей до 50 тыс.т./год; цеолитов и катализаторов 15 тыс.т./год; алюмогелей до 5 тыс.т./год; разведать и открыть месторождения слоистых силикатов – глин (монтмориллонитов) с объемом добычи около 1млн.т./год; природных цеолитов с объемом добычи около 1млн.т./год.

Россия может достичь зарубежный технологический уровень при условии проведения соответствующих фундаментальных и прикладных исследований по следующим направлениям:

- синтез ультрапористых молекулярных углеродных сит для разделения воздуха и газовых смесей;
- синтез сорбентов для очистки питьевой воды для озоно-сорбционной технологии;
- синтез сорбентов для аккумуляирования технически важных газов (водород, метан, кислород, инертные газы и др.);
- синтез высокопрочных сорбентов для адсорбционно-химического извлечения золота,
- синтез гемосорбентов и энтеросорбентов для детоксикации организма человека,
- синтез новых цеолитов, катализаторов, увеличивающих глубину переработки нефти;
- синтез новых ультрананопористых материалов для аккумуляирования водорода, метана, кислорода, инертных газов.

#### **3.4. Разработка новых технологий и средств утилизации радиоактивных отходов.**

Развитие радиохимии как научной основы атомной энергетики и атомной оборонной отрасли является в настоящее время актуальным и востребованным в связи с интенсивным строительством атомных электростанций в большинстве развитых стран мира. Поэтому создание современных технологий переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ) становится важнейшей фундаментальной и практической задачей. Эти технологии должны обеспечивать эффективное выделение и разделение урана и плутония для их возврата в топливный цикл, переработку всех видов отходов с их дезактивацией и перевод в формы, пригодные для долговременного безопасного хранения.

В России предполагается построить к 2030 году 20-30 новых АЭС. Россия является мировым лидером по быстрым реакторам, но в части развития неводных методов переработки облученного топлива имеет отставание, как в фундаментальных исследованиях, так и в прикладных, в том числе в создании коррозионно-стойких материалов для аппаратов растворения и очистки облученного металлического топлива в хлоридных расплавах.

Усовершенствование водно-экстракционных методов переработки облученного топлива для снижения количества отходов и извлечения не только плутония и урана, но и нептуния-237 для передела в плутоний-238; выделения трансплутониевых элементов, технеция и осколочных платиновых металлов; разработка методов переработки облученного топлива (нитриды, карбиды урана, плутония) от атомных реакторов будущего IV поколения; разработка неводных методов переработки облученного металлического топлива быстрых реакторов путем очистки экстракцией расплавами цветных металлов и катодного выделения актинидов; электрохимическое растворения топлива в хлоридных расплавах.

Завод с очисткой экстракцией расплавами цветных металлов и катодного выделения актинидов будет производить небольшой объем безводных высокоактивных отходов и размещаться на одной площадке с АЭС на быстрых нейтронах. Проект развит в США и считается наиболее перспективным для замены действующего Пурекс-процесса через 20-25 лет. Исследование целесообразности и возможности создания промышленных технологий переработки и рефабрикации облученного оксидного и металлического топлива с использованием жидкого  $\text{CO}_2$  или ионных жидкостей, позволяющих получать металлический уран и плутоний электролизом раствора при комнатной температуре. Несмотря на то, что исследования по жидкому  $\text{CO}_2$  и по ионным жидкостям проводятся за рубежом и в России более 10 лет, промышленная перспектива методов еще не определена.

Критические и прорывные технологии:

- водно-экстракционные методы переработки облученного топлива, неводные методы переработки облученного металлического топлива быстрых реакторов путем очистки экстракцией расплавами цветных металлов;

- синтез новых сорбционных материалов органической и неорганической природы для извлечения долгоживущих радионуклидов;

- создание фильтрующих мембран на основе наноматериалов для сепарации коллоидных форм радионуклидов;

создание ион-селективных мембран для выделения ионных форм различных радионуклидов из растворов.

### **3.5 Химические аспекты энергетики: создание новых химических источников тока, разработка технологий получения топлив из ненефтяного и возобновляемого сырья, высокоэнергетические вещества и материалы**

Это направление является сейчас важнейшей глобальной проблемой мировой экономики и экономической основой внешней политики России. Инвестиции в это направление в мире исчисляются триллионами долларов. Работы ведутся и финансируются как в рамках национальных и межнациональных программ, так и крупнейшими наднациональными корпорациями. Исследования сосредоточены на поиске новых технических решений для перехода на альтернативные виды энергии, разработку фундаментальных основ создания систем для получения, аккумулирования и хранения водорода, создании новых химических источников тока и разработку химических генераторов (*включая импульсные*) для энергетики больших мощностей, *специальных целей* и бытовых нужд, использовании фундаментальных принципов функционирования молекулярных и наносистем, как основы для создания альтернативных источников и преобразователей энергии.

В РАН разработаны научные основы, частично доведенные до уровня опытно-промышленных технологий и создания промышленной аппаратуры, процессов газификации и пиролиза твердых горючих: пиролиз, газификация гидрирование горючих смол и т.д., которые при комплексном использовании в сочетании с имеющимися методами преобразования энергии (двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины в парогазовом цикле и т.д.) позволяют поднять эффективные КПД получения электроэнергии минимум в 2 раза с одновременным снижением образования токсичных

продуктов сгорания, в том числе диоксинов, в 10-100 раз и использованием золы и шлака для производства стройматериалов.

Такого рода комплексное производство, наряду с использованием битумного угля, песка и торфа, позволяет использовать для энергетических целей низкокачественные и высокзолые угли, сланцы, сапропелиты, а также биотопливо из непищевых продуктов, промышленные и бытовые отходы и т.п. с одновременным получением электроэнергии, жидких топлив, стройматериалов.

### **3.5.1. Химические источники тока**

Высокая стоимость углеводородного топлива стимулирует изменение структуры потребления топлива и энергоресурсов, развитие малоэтажного строительства на значительных площадях способствует децентрализации систем энерго- и теплоснабжения, либерализации систем энергетики обуславливает обострение проблем надежности – все эти факторы должны привести к неизбежной смене технологических приёмов энергетики и, прежде всего, в области малых мощностей: 50 кВт-1000кВт.

В настоящее время ассортимент электрохимических источников тока достаточно широк и охватывает область от микроВт до единиц мегаватт, т.е. от питания портативных устройств до автономного энергоснабжения отдельных энергоемких объектов.

Основными тенденциями создания электрохимических аккумуляторов нового поколения является переход от классических жидкостных систем к Li-полимерным или гелевым с повышением безопасности и основных энергетических характеристик полученных устройств.

Новым перспективным и еще некомерциализированным направлением является создание нового поколения топливных элементов на основе кислородпроводящих керамических и протонпроводящих полимерных электролитов с заменой традиционных горючих в них на альтернативные топлива (водород, спирты, диэтиловый эфир и т.д.).

Особое внимание уделяется созданию источников энергии для портативной техники, транспорта и среднетемпературных энергетических установок (что особо актуально для России, где 10% населения проживают в отсутствие централизованной системы энергообеспечения).

В настоящее время доля малой энергетики в мире составляет 5%, а в России менее 1%. Интенсивные работы по щелочным топливным элементам проводились в России в 70-х годах двадцатого века, когда были разработаны системы с характеристиками, превышающие зарубежные аналоги. В настоящее время начинает развиваться производство топливных элементов для транспортных устройств, стационарных установок и портативных источников тока, однако коммерциализация их еще недостаточна.

Лимитирующими факторами для создания конкурентноспособных источников тока на основе топливных элементов является разработка и реализация новых технологий получения материалов, используемых в топливных элементах: материалов для электродов и наноразмерных электрокатализаторов, ионпроводящих мембран, биполярных контактных пластин.

Для создания твердооксидных топливных элементов в РАН разработаны новые катодные и анодные материалы, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками и предложены способы их коммутации с твердым электролитом. Ведется поиск новых кислородпроводящих твердых электролитов с повышенной химической стабильностью и высокой проводимостью при пониженных (до 400-600оС) температурах.

Лимитирующей стадией создания коммерчески конкурентноспособных низкотемпературных топливных элементов являются снижения стоимости и повышения химической стабильности катализаторов, протонообменных мембран и материалов биполярных пластин.

В РАН проводится разработка нового поколения катализаторов и их носителей. Среди наиболее перспективных можно выделить:

- получение и стабилизация наноразмерных кластеров платины и платина-углеродных композитных материалов (размер кластеров платины 1.5-2.5 нм) методами лазерного электродиспергирования и магнетронного напыления. Созданные технологии позволяют сократить расход платины в 5-10 раз по сравнению с существующими коммерческими катализаторами при сохранении каталитической активности,
- создание нового поколения композитных катализаторов на основе наноразмерной платины, нанесенной на наноструктурированные углеродные носители с повышенной каталитической активностью и химической стабильностью.
- создание би- и триметаллических систем с пониженным содержанием платины или заменой платины на другие благородные металлы.
- создание новых типов катализаторов на основе неуглеродных оксидных наноструктурированных носителей с повышенной химической стойкостью и долговечностью.

При создании новых протонообменных мембран основные усилия направлены на:

- создание влагонезависимых мембран с высокой проводимостью при отрицательных температурах на основе полимеров, допированных низкомолекулярными органическими сульфопроизводными или нанодиспергированными неорганическими соединениями.
- создание высокотемпературных протонообменных мембран (вплоть до 250-300°C) на основе фосфорилированных гетерополиариленов или неорганических мембран на основе сульфато-фосфатных систем.

В создании материалов для биполярных пластин основное внимание уделено получению углерод-полимерных и углерод-углеродных композиций с пониженной плотностью, повышенными химической и термической стойкостью и высокой электропроводностью.

Существенным достижением последних десятилетий было создание литий-ионных аккумуляторов. Эти аккумуляторы, обладают рекордными энергетическими характеристиками (200-250 Втч/кг против 40-50 Втч/кг для традиционных свинцовых и никель-кадмиевых аккумуляторов и 60-80 Втч/кг для современных металлгидридных аккумуляторов).

Дальнейшее совершенствование литий-ионных аккумуляторов возможно лишь при принципиально новых подходах к их конструкции и технологии. Переход к тонкопленочным конструкциям мог бы позволить кардинально повысить удельные мощностные характеристики аккумуляторов, например, сократив время заряда от 3-5 часов до нескольких минут. Повышение мощности аккумуляторов является неременным условием их использования на электротранспорте.

Особенностью развития электрохимической энергетики (особенно в области топливных элементов) является еще не сформированный мировой рынок, в котором Россия могла бы занять достойное место и отсутствие отставания (а в ряде случаев и значительное превосходство) разработок российских ученых над иностранными.

В последние 20 лет финансирование этих работ государством практически прекратилось, а финансирование их частными инвесторами является явно недостаточными. Однако новейшие разработки РАН в этой области до сих пор находятся на мировом уровне. Это указывает на возможность успешного формирования инновационного потенциала. Основная трудность сегодня – это отсутствие предприятий необходимого профиля, которые были бы не только заинтересованы, но и способны производить эти высокотехнологичные продукты.

. Критические и прорывные технологии:

- новые методы получения наноразмерной платины и способов ее стабилизации на поверхности углеродных носителей;

- синтез новых типов катализаторов с пониженным содержанием платины на основе би- и триметаллических сплавов и с повышенной коррозионной устойчивостью на основе платины, стабилизированной на наноструктурированных углеродных носителях;
- создание безуглеродных наноструктурированных носителей для катализаторов с повышенными эксплуатационными характеристиками;
- получение влагонезависимых протонообменных мембран с высокими транспортными свойствами при отрицательных температурах;
- создание новых типов неорганических и органических мембран с повышенной термостойкостью на основе органических полимеров или неорганических керамик;
- производство нового поколения углерод-полимерных материалов для биполярных пластин;
- вовлечение альтернативных горючих для использования в топливных элементах;
- получение новых катодных и анодных материалов и создание способов их коммутирования с электролитом для твердооксидных топливных элементов.

**3.5.2. До сих пор менее 5% объема мировой добычи природного газа (всего около 100 млрд. м<sup>3</sup>) используется в качестве сырья для производства нефтехимических продуктов или непосредственно в качестве моторного топлива, хотя использование природного газа в качестве химического сырья дает значительно более высокую экономическую отдачу. Следствием понимания возрастающей роли природного газа не только как энергоресурса, но и как нефтехимического сырья явился резкий всплеск в последние годы интереса к проблеме его химической переработки, особенно процессам превращения в жидкие углеводороды и моторное топливо, так называемым GTL (gas to liquid) технологиям.**

Рассматривается несколько технологий утилизации труднодоступных запасов газа, включая GTL процессы, к которым в первую очередь относят процессы получения синтетических жидких углеводородов (СЖУ) – процесс Фишера-Тропша – и метанола.

Среди современных модификаций получения СЖУ реализован процесс получения дизельных топлив Middle Distillate Synthesis фирмы «Shell» (Голландия) на основе природного газа (Малайзия, 700 тыс. м<sup>3</sup> год). Промышленный опыт имеет также фирма «Sasol» (ЮАР) – работают промышленные производства мощностью 6 млн. т/год. Несколько производств GTL мощностью 3 – 5 млн. тонн в год уже пущены в эксплуатацию и еще строятся в Катаре (фирмы Sasol, Shell, Exxon Mobil). Так, компания Shell завершает создание производства GTL мощностью 140 000 баррелей в сутки (около 6 млн. тонн в год), капитальные затраты – 6 млрд. долларов, потребление газа 45.3 млн.куб.м в сутки.

Перспективы развития газохимии в России наиболее благоприятны. Располагая 2,8% населения и 12,8% территории мира, Россия имеет всего 5% мировых разведанных запасов нефти, в то время как разведанные запасы природного газа в России составляют 47 трлн. м<sup>3</sup>. Это более трети достоверных мировых запасов. Если отечественная нефтяная промышленность уже вступила в режим падающей добычи, то достижение пика добычи газа в России (~830 млрд. м<sup>3</sup>) прогнозируется только на 2030 г. Россия обладает также огромным ресурсом попутных нефтяных газов – более 1.5 трлн. м<sup>3</sup>.

В тоже время газовое углеводородное сырье в России в значительной степени не используется, а зачастую просто сжигается в факелах, создавая значительные экологические проблемы. Поэтому должен быть выполнен комплекс исследований, направленных на решение проблем утилизации легкоуглеводородного газового сырья – попутных и нефтезаводских газов, локальных ресурсов небольших месторождений, снижения выбросов в атмосферу продуктов сжигания в факелах.

Важнейшей задачей является разработка технологий, позволяющих вовлечь в переработку эти обширные запасы углеводородных газов и решить проблему их экономически эффективного использования.

Особенностью исследовательских работ российских ученых является создание научных основ и внедрение современных технологий газохимии предполагающих использование газового сырья удаленных от конечных потребителей месторождений. Таких технологий, которые позволили бы обеспечить постепенную замену истощающегося нефтяного сырья и решить проблему транспортировки газовых ресурсов из удаленных регионов газодобычи.

Важнейшим продуктом переработки природного газа является метанол. Это удобный энергоноситель, который может использоваться в качестве моторного, котельного и газотурбинного топлива, как источник водорода для топливных элементов. На его основе можно получать заменяющие мазут спиртово-угольные суспензии, то есть превращать в жидкое котельное топливо угольные отходы. Метанол служит сырьем для производства формальдегида, уксусной кислоты, МТБЭ и других химических продуктов. В настоящее время мировое производство метанола составляет около 40 млн т/г. В перспективе потенциальный мировой рынок метанола может в 20 раз превысить существующий объем его производства. Около 600 млн т метанола потребуется при базировании на нем только 10% мирового производства вторичной энергии. В транспортном секторе потребуется 150 млн т/г при переводе 25% мирового парка автомобилей на топливные элементы, питаемые водородом, получаемым из метанола непосредственно на борту автомобиля. Примерно 55 млн т/г метанола потребуется, если 25% дизельного топлива будет содержать 15%-ную добавку диметилового эфира.

В настоящее время производство СЖУ в России отсутствует. В перспективе для замены трети вырабатываемых в России моторных топлив на СЖК должны быть созданы не менее 15-20 производств мощностью около 2 млн т/г каждое.

Производство метанола в России составляет около 3 млн т/г. При переориентировании транспорта на топливные элементы или на использование спиртовых добавок к моторным топливам потребность в метаноле в России может возрасти более чем в 10 раз.

В составе запасов природного газа в России имеется большое число месторождений, расположенных в отдаленных районах, вследствие чего традиционный способ «подключения» таких месторождений к источникам потребления посредством традиционных газопроводов технически, либо экономически нецелесообразен. Технологии конверсии природного газа в СЖУ (технологии GTL) и в метанол позволят вовлечь в переработку газы подобных месторождений. Эти технологии могут также использоваться при эксплуатации относительно небольших, забалансовых месторождений, находящихся в отдаленных, но промышленно развивающихся районах, куда приходится завозить дорогие дальнепривозные нефтепродукты и моторные топлива. Для этого потребуется проведение комплекса ориентированных фундаментальных и прикладных исследований по следующим направлениям:

- создание и изучение механизма действия нового поколения катализаторов получения СЖУ;
- решение проблем моделирования и дизайна реакторов синтеза СЖУ; разработка новых технологических решений осуществления процесса.
- создание научных основ процессов селективного дегидрирования, окислительного дегидрирования и дегидроциклизации легкоуглеводородного газового сырья прямой конверсии метана в ароматику и олефины;
- разработка научных основ технологии прямого газофазного окисления метана и его гомологов в оксигенаты;
- разработка перспективных процессов конверсии метанола в ценные химические и нефтехимические продукты:
- катализаторы и процесс конверсии метанола в олефины – процесс МТО (Methanol To Olefins);
- конверсия метанола в углеводороды (Methanol To Hydrocarbons – МТН), пригодные для использования в качестве высокооктанового бензина.



- разработка технологии переработки попутных газов нефте(газо)добычи в высокоценные углеводороды;
- проектирование, строительство и эксплуатация не менее пяти опытных установок конверсии природных и попутных газов различного состава приведенными выше способами с целью получения данных для проектирования промышленного процесса;
- проектирование, строительство и пуск в эксплуатацию производства СЖУ мощностью около 2 млн. тонн на основе отечественной технологии; производств метанола прямым газофазным окислением метана и переработки метанола в нефтехимические продукты; производства олефинов и ароматики на основе легкоуглеводородного сырья;
- тиражирование указанных выше производств.

### **3.5.3. Разработка новых принципов переработки нефтехимического сырья**

Тяжелые высоковязкие нефти являются одним из главных ресурсов углеводородного сырья на ближайшие 50-100 лет. Так, запасы легких и средних по вязкости нефтей составляют 160-180 млрд. тонн, природного газа – 100-105 млрд. тонн в нефтяном эквиваленте, а тяжелых высоковязких нефтей 800-810 млрд. тонн. При этом добыча в год нефтей малой и средней вязкости и природного газа составляет в сумме 6,0-6,5 млрд. тонн, а тяжелых высоковязких нефтей 0,4-0,5 млрд. тонн, т.е. в 15 раз меньше при 3-4 раза больших ресурсах. Именно поэтому во всем мире ведутся чрезвычайно интенсивные исследования, направленные на создание фундаментальных основ химической технологии переработки тяжелых нефтей. Вместе с тем созданные на данный момент процессы обладают высокой капиталоемкостью и не позволяют осуществить конкурентное производство нефтепродуктов и сырья для нефтехимии.

Россия занимает по ресурсам тяжелых высоковязких нефтей 3-4 место в мире после Канады, Венесуэлы и, возможно, Ирана. При этом самостоятельная переработка тяжелых нефтей в нашей стране не осуществляется. Небольшая часть тяжелых нефтей (3-4% от общей массы всех нефтей) перерабатывается в смеси с легкими и средними нефтями. Имеются планы Республики Татарстан по созданию нового завода по переработке тяжелых высоковязких нефтей мощностью 6-7 млн. тонн в год по сырью.

Исследовательские работы по созданию научных основ химической технологии переработки тяжелых нефтей (гидроконверсии) осуществляются главным образом в РАН. Существующие в мире процессы переработки тяжелых высоковязких нефтей (процессы газификации, гидроконверсии в движущемся или кипящем слое и т.д.) характеризуются очень высокой капиталоемкостью. Достаточно только указать, что давление, необходимое для переработки тяжелых нефтей должно быть выше 15,0 Мпа.

Принципиальное отличие исследований ученых РФ от зарубежных заключается в применении мезо- и наноразмерных катализаторов, что позволяет резко увеличить производительность реакционного узла, снизить давление до 7,0-7,5 Мпа и, таким образом, существенно снизить капиталоемкость технологического процесса.

По расчетам для обеспечения заданного уровня потребления нефти к 2030 году должны быть созданы мощности по добыче и переработке тяжелых высоковязких нефтей в объеме 20-30 млн. тонн в год, то есть необходимо построить в разных регионах России 3-4 завода мощностью 7-8 млн. тонн в год по сырью.

Критические и прорывные технологии.

Требуется ускоренное проведение ориентированных фундаментальных и прикладных исследований по следующим направлениям:

- создание научных основ и разработка технологии формирования мезо- и наноразмерных катализаторов непосредственно в реакционной среде, содержащей конвертируемую тяжелую нефть;
- исследование механизма разрыва С-С связей и оптимизация процесса деструкции в тяжелых нефтях в присутствии наноразмерных частиц катализатора;

- разработка технологии глубокой переработки тяжелых нефтей и нефтяных фракций;
- разработка методов глубокой переработки природного газа, в том числе для азотной промышленности, синтеза метанола и др.;
- разработка технологии переработки попутных газов нефте(газо)добычи в высокоценные углеводороды и новые материалы;
- проектирование, строительство и эксплуатация пилотной установки мощностью 10-15 кг/сутки по исходной тяжелой нефти с целью получения данных для проектирования промышленного процесса;
- проектирование, строительство и пуск первого завода мощностью 6,0-7,0 млн. тонн тяжелой нефти в Татарстане на основе оригинальной отечественной технологии.

### **3.6. Химические проблемы создания фармакологически активных веществ нового поколения**

В России это направление является одной из базовых составляющей Национального приоритетного проекта «Здоровье». Во всех развитых странах работы по созданию новых лекарств занимают первостепенные позиции по уровню финансирования со стороны федеральных бюджетов и фармацевтических фирм. Термин «Медицинская химия» является общепринятым. Основным его содержанием являются работы по созданию новых лекарств, используя последние достижения биоинформатики, компьютерного моделирования, высокопроизводительного скрининга, постгеномной химии, органического и биокаталитического синтеза.

В России имеются научные школы, работающие на уровне мировых стандартов. Результаты научно-исследовательских работ этих школ публикуются в ведущих российских и международных научных журналах; практически значимые достижения патентуются в России и за рубежом; имеются препараты, находящиеся на различных стадиях клинических испытаний.

Фундаментальные исследования, которые предполагается выполнить в рамках данного направления, являются основой инновационных проектов и государственных программ, таких как: «Генотипирование населения России как основа индивидуальной медицины»; «Нейродегенеративные заболевания и средства защиты»; Антиоксидантные препараты в клинической практике и геронтологии; «Умные» полимеры и наноматериалы, как новое поколение средств доставки лекарственных препаратов.

Предусмотрено создание комплексного Центра по скринингу и доклиническим испытаниям новых оригинальных отечественных лекарственных препаратов, на основе разработок академических и других государственных институтов; разработка общей системы постгеномного анализа индивидуальных особенностей строения биомакромолекул человека и создание основ фармакогеномики и индивидуальной медицины; формирование фокусированных библиотек синтетических и природных биологически активных соединений; выявление на основе применения методов молекулярного моделирования, высокопроизводительного (HTS) и виртуального скрининга новых оригинальных лекарственных веществ; создание новых лекарственных препаратов и новых лекарственных форм для лечения онкологических, нейродегенеративных и кардиологических заболеваний.

Из достижений последних лет в этом направлении следует отметить: разработки противоопухолевых препаратов на основе доноров оксида азота из класса органических нитратов, металлокомплексов с лигандами, несущими функцию NO-доноров и др. Созданы противоопухолевые препараты – структурные аналоги природных “депо” NO – нитрозильных негемовых белков. Соединения проявляют высокий (до 96 % торможения роста опухолей) противоопухолевый эффект на опухолевых клетках человека различного генеза и перевиваемых экспериментальных опухолях животных. Доноры проявляют три

вида противоопухолевой активности. В доклинических испытаниях выявлены также их антиметастатическая активность и хемосенсибилизирующий эффект.

Создано и внедрено в медицинскую практику новое поколение регуляторов окислительных свободнорадикальных процессов антиоксидантной природы, которые блокируют развитие некоторых патологических состояний протекающих через образование свободных радикалов. Ряд разработанных препаратов включен Фармкомитетом РФ в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных антиоксидантов. Создание базисных физико-химических представлений о природе и механизме ферментативного катализа и каталитической эффективности ферментов. Синтез новых производных бегулоновой кислоты, обеспечивающих 90% ингибирование ВИЧ и эффективно защищающих клетки от вирус-индуцированного цитопатического действия. Осуществлен дизайн, направленный синтез, оптимизация структуры и исследование биологической активности соединений, перспективных в качестве нейропротекторов и стимуляторов памяти. Разработаны методы синтеза разнообразных элементоорганических соединений с широким спектром физиологической активности, например производные индолов с высокой противотуберкулезной активностью. Создан препарат инсулина для перорального, а не инъекционного введения в организм при лечении диабета.

**3.6.1. Основные задачи, связанные с развитием медицинской химии в России, вытекают из анализа сложившейся структуры и тенденций отечественного рынка фармакологических препаратов.** В 2007 г. объем фармацевтического рынка России в стоимостном выражении составил 298 млрд. руб. (или около 12 млрд. долларов; для сравнения, в США объем каждого из 10-ти наиболее продаваемых препаратов составляет более 10 млрд. долларов). Отечественный фармацевтический рынок продолжает оставаться импорт-ориентированным. Сегодня Россия импортирует до 70% потребляемых лекарств, как правило, это препараты-дженерики, т.е. лекарственные вещества, разработанных более 20-лет назад, на которые истек срок действия оригинального патента. Практически отсутствует производство субстанций, предприятия на 95-97% используют для производства готовых лекарственных средств импортные компоненты.

За последние годы в России не было зарегистрировано ни одно принципиально новое отечественное лекарство, а появление новых лекарственных средств связано с реализацией наработок прошлых лет. Такая огромная диспропорция в долях отечественных и зарубежных лекарственных средствах и возникшая зависимость обеспечения населения от импортных препаратов представляет реальную угрозу национальной безопасности, что явилось основанием для принятия в феврале 2008г. решения Совета Безопасности о кардинальном изменении политики в области создания отечественных лекарственных средств.

В соответствии с поручением Правительства от 6 марта 2008г. в настоящее время подготовлена концепция «Стратегии развития фармацевтической промышленности РФ до 2020 года», в соответствии, с которой основное внимание и значительные средства в ближайшие годы должны быть направлены на разработку оригинальных отечественных лекарственных препаратов, доля которых к 2020 году на Российском рынке должна составить не менее 50% (в количественном выражении – 200 инновационных препаратов).

Анализ разработанных в настоящее время лекарственных препаратов показал, что из 10 тысяч изначально синтезированных соединений только одно соединение доходит до клинических испытаний. А из 10-ти веществ, отобранных для клинических исследований, только один препарат выходит на рынок в виде лекарственного средства.

Важнейшим условием для успешной реализации указанных задач медицинской химии является:

- разработка методов направленного синтеза и повышение эффективности отбора потенциальных лекарственных кандидатов на основе привлечения широкого спектра современных методов скрининга и оптимизации структуры наиболее перспективных соединений;
- создание мощной информационной базы, обеспечивающей доступ специалистам к дорогостоящим международным базам данных по имеющимся и разрабатываемым лекарственным препаратам и возможным мишеням их действия, включая патентные базы данных;
- закупка и использование стандартных программ для обеспечения виртуального пре-скрининга массивов соединений, синтезируемых в институтах РАН;
- так как процесс внедрения нового лекарственного препарата от его синтеза до внедрения в клиническую практику занимает 8-12 лет, разработка специальных механизмов финансовой поддержки (на основе независимого конкурсного отбора) всей цепи исследований, включая дизайн, синтез, скрининг, доклинические, токсикологические и клинические испытания (долгосрочное долевое финансирование с участием государства, заинтересованных министерств и организаций).
- разработка специальных механизмов финансовой поддержки (долгосрочное финансирование, долевое финансирование с участием государства).

### **3.6.2. Материалы для медицинской техники**

В настоящее время в основном в США, Японии, странах Евросоюза и Китае ведутся работы как по созданию новых биоматериалов и материалов для медицинских инструментов, так и новых перспективных технологий получения из них имплантатов и инструментов. Традиционное развитие этой отрасли было связано с приспособлением материалов, разработанных для различных областей применения, к потребностям медицинской техники, прежде всего по критериям биотолерантности существующих материалов или разработки технологий, улучшающих эти характеристики.

На рубеже веков из-за возросшей потребности мирового рынка в качественных медицинских услугах, происходит определенная специализация, выражающаяся в разработке материалов определенного назначения и новых технологий, обеспечивающих наиболее полное проявление необходимого комплекса свойств материалов в готовых изделиях. В частности, для конструкционных биоматериалов наблюдается тенденция выхода на лидирующие позиции титановых сплавов, хотя частично сохраняется тенденция использования кобальтхроммолибденовых сплавов и нержавеющей стали. Дальнейшее расширение претерпевает группа конструкционных материалов с особыми свойствами (сплавы на основе никелида титана с «памятью формы», конструкционные керамики, металлокерамика, пористые материалы на основе титана и тантала и др.). Происходит интенсивное развитие функциональных материалов, таких как «сверхупругие» материалы на основе никелида титана, сталей и полимеров, износостойкие материалы на основе керамик, сверхвысокомолекулярный полиэтилен с поперечными связями и композиты на основе титана, стали, биоактивные материалы на основе гидроксиапатита и на основе керамик, бактериостатические материалы и др.

Продолжается поиск материалов для инструментов, в том числе износостойких сталей, титановых сплавов с повышенной износостойкостью и металл – полимерных композитов.

Наиболее интенсивно за рубежом развивается направление, связанное с созданием поверхностной структуры имплантатов и медицинских инструментов методами динамической мехобработки, вакуумной ионно-плазменной обработки, газоплазменным напылением, микродуговым оксидированием и т.д.

В России проводятся работы по всем перспективным направлениям создания биоматериалов. Фундаментальные исследования проводятся в ИМЕТ РАН, МГУ, ГНЦ «ВИАМ», ЦИТО и некоторых других организациях. Однако отсутствуют прикладные разработки, в том числе опытно-технологические и опытно-конструкторские работы, что

обусловлено недостаточным развитием в России отрасли по производству изделий медицинского назначения.

Потенциально рынок имплантатов и медицинских инструментов, а соответственно, материалов для их производства достаточно высок. В настоящее время российский рынок медицинской техники составляет 20-30% от потенциальной потребности. Причем до 90% - это импортная продукция. Поэтому дальнейшее развитие отечественного производства потребует значительное количество биоматериалов и материалов для медицинских инструментов. Перспективным также является экспорт материалов за рубеж.

Развитие отрасли по производству материалов для медицинской техники неразрывно связано с развитием отечественного производства имплантатов и медицинских инструментов и инфраструктуры клинической базы и медицинских технологий, а также с ориентацией на экспорт продукции.

Для обеспечения благоприятного развития отрасли необходимо сосредоточить усилия на решении ряда задач.

Во-первых, необходима координация и проблемная ориентация фундаментальных исследований в области материалов и технологий для медицинской техники. Во-вторых, создание инфраструктуры прикладных исследований (объединенные научно-технические центры, технопарки и центры трансферта инновационных технологий), позволяющей проводить не только научные исследования, но и осуществлять опробования новых материалов и технологий в условиях опытного и мелкосерийного производства. В-третьих, необходимо все созданные материалы и технологии подвергать сертификации в соответствие с международными стандартами, что повысит экспортный потенциал отрасли.

Научные и технологические задачи, которые необходимо решать для успешного развития отрасли:

- оптимизация химического состава и технологии производства биосовместимых конструкционных титановых сплавов и сталей, обеспечивающих уровень прочности не ниже 1000 МПа;
- оптимизация химического состава и технологии производства полуфабрикатов из конструкционных сплавов на основе никелида титана со свойствами памяти формы и сверхупругости;
- разработка функциональных биоматериалов на основе конструкционной керамики, биосовместимых и биоактивных керамик и технологии производства из них компонентов изделий медицинской техники;
- разработка композиционных материалов с особыми функциональными свойствами на основе полимеров;
- разработка инструментальных сталей и сплавов на основе титана и его интерметаллидов и технологии производства из них медицинских инструментов, включая нанотехнологии обработки поверхности для повышения коррозионно- и износостойкости;
- разработка нанотехнологии обработки поверхности имплантатов, обеспечивающих им высокий уровень специальных свойств, таких как биосовместимость, биотолерантность, биоактивность, стойкость к фреттинг-коррозии, износостойкость и др.

. Критические и прорывные технологии:

- биомедицинские и ветеринарные технологии жизнеобеспечения и защиты человека и животных;
- нанотехнологии и наноматериалы;
- технологии биоинженерии;
- технологии создания биосовместимых материалов;
- технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов;
- технологии создания и обработки кристаллических материалов;
- технологии создания и обработки полимеров и эластомеров.

### 3.7. Химия в интересах обороноспособности страны

Особое внимание следует обратить на роль химии и наук о материалах в укреплении оборонного потенциала страны. Учёные Академии вместе со своими коллегами из промышленности внесли выдающийся вклад в создание материалов для авиационной, ракетной, военно-морской, бронетанковой техники, создали новые компоненты высокоэнергетических веществ, на десятки лет опередившие достижения зарубежных специалистов. Сейчас общепризнано, что отечественная «Спецхимия», особенно в области создания уникальных компонентов твёрдого ракетного топлива, исследований процессов горения и детонации, не только соответствовала мировому уровню, но по сути дела и определяла его.

Наряду с традиционным путем совершенствования существующих систем вооружения за счет использования вновь синтезируемых энергоёмких компонент, особое значение приобретает создание принципиально новых типов оружия на основе современных достижений науки о горении и взрыве.

К ним следует отнести:

Разработки ракетных двигателей с управляемой тягой как для преодоления ПРО и ПВО, так и для систем ПРО и ПВО; гибридных и воздушных реактивных двигателей на твердом топливе; боеприпасов с тротильным эквивалентом больше 4; совершенствование и разработка новых методов метания (кинетическое оружие); разработка методов преобразования энергии взрыва в другие виды энергии (мощные импульсы электромагнитной энергии, СВЧ и оптического диапазона, генерация корпускулярных потоков) в сочетании с изучением их поражающего действия и разработкой средств защиты.

Создание нового поколения систем вооружения (сверхточных ракет, лазерного оружия, оружия на новых физических принципах и др.) требует адекватного ответа. В РАН ещё сохранились остатки уникальных научных школ, которые способны предложить новые оригинальные решения для сохранения паритета в этой области. Необходимо принять безотлагательные меры для поддержки этих работ. Без такой программы армия не только будет лишена возможности эффективно защищать страну, но и в близкой перспективе мы окажемся вытесненными с мирового рынка торговли оружием.

**В промышленно развитых странах проблемы спецхимии и энергонасыщенных материалов относят к области национальных приоритетов.** Исследования носят системный характер и проводятся в рамках долгосрочных государственных программ.

Мировые тенденции развития специальной технической химии характеризуются активным поиском методов и путей повышения энергобаллистической эффективности твердых топлив различного назначения на основе активных связующих, бесхлорных окислителей и мощных взрывчатых веществ, пиротехнических топлив, смесевых взрывчатых веществ для модернизируемых и перспективных образцов вооружения и военной техники.

Главные усилия ученых сосредоточены на разработке методов синтеза энергоёмких, малочувствительных компонентов (окислителей, полимеров, пластификаторов) и на создании топливных композиций на их основе. Поиск окислителей ведется по трем направлениям: полиазотистые гетероциклы, каркасные соединения, напряженные молекулы. К несомненным достижениям зарубежных ученых следует отнести синтез в 80-е годы новых продуктов CI-20 (гексанитрогексаазаизовюрцитан) и TNAZ (тринитропроизводное азетидина), которые по энергетическим показателям существенно превосходит октоген.

Кроме широко известных окислителей, таких, как аммоний динитратот AND (синтезирован и применен в СССР в 70-х годах), CI-20 TNAZ, проводятся разработки и исследования ряда новых эффективных окислителей. Среди них гетероциклические высокоазотистые соединения, обладающие высокой плотностью, физико-химической

стабильностью и обеспечивающие требуемые условия изготовления, хранения и эксплуатации твердотопливных зарядов.

В последние годы в США проявляется повышенный интерес к системам с NF – группами в сочетании с борсодержащими соединениями.

За рубежом в качестве перспективного полимерного связующего сме-севых топлив разрабатываются соединения: с азидогруппами (полиглицидилазиды, полиазидооксетаны), с  $\text{ONO}_2$  – группами (полиглицидилнитраты, полинитрометилоксетаны), а также фторированные полимеры, поливинилнитраты и др.

Среди энергоёмких полимеров особый интерес вызывают термоэласто-пласты на основе оксетанов для разработки термообратимых топлив. Созданы образцы новых термоэластопластичных СРТТ с высокой энергетикой, взрывобезопасностью, минимальным дымообразованием, стабильным горением, эксплуатационной надежностью в широком диапазоне температур.

Среди исследований современных термоэластопластичных СРТТ можно отметить также японские разработки топлив на основе высокоэнергетических термоэластопластов ВАМО/АММО, перхлората аммония, нитрамина, нитрата аммония. Показано, что механические, баллистические, взрывчатые свойства, термостабильность и энергетика этих топлив обеспечивают надежную эксплуатацию РДТТ, авиационных тактических ракет, космических объектов.

Проведенный анализ перспективных компонентов для разработки высокоимпульсных, термообратимых, бездымных, взрывобезопасных, малоуязвимых топлив и порохов с целью создания нового поколения наступательных и оборонительных систем вооружения свидетельствуют о том, что работы по созданию новых эффективных компонентов и СРТТ в России и за рубежом имеют практически одинаковую направленность.

Впервые синтезированный российскими учеными окислитель АДНА до настоящего времени остается наиболее энергоёмким промышленно освоенным окислителем ТРТ. Его применение обеспечивало в течение 30 лет приоритет отечественных разработок в области высокоэффективных топлив.

С применением гидроксида алюминия (ГА) в 1980-90г.г. в нашей стране были разработаны высокоэнергетические составы ракетных топлив, не имеющие до настоящего времени аналогов в мировой практике. Россия до настоящего времени остается монополистом в области разработки уникальной технологии получения ГА с бездефектными частицами правильной формы, что обеспечило его успешное применение для создания СРТТ.

В России ведутся широкие экспериментально-теоретические исследования по поиску перспективной компонентной базы и созданию ТРТ.

Следует ожидать, что к 2030 году значения энергомассовых характеристик перспективных отечественных и зарубежных высокоэнергетических СРТТ будут близки к прогнозируемому уровню.

Основными отличительными особенностями отрасли спецхимии являются:

- несопоставимость объемов поставок продукции в мирное и военное время;
- ограниченная возможность участия в рыночной экономике, т.к. основная продукция может лишь частично продаваться на внешнем рынке и для нее практически отсутствует внутренний рынок;
- постоянная проблема утилизации продукции и обновления запасов, т.к. срок жизни продукции составляет 20-25 лет.

Технологии спецхимии могут эффективно применяться в гражданском секторе экономики для создания и производства наукоемкой, конкурентоспособной и жизненно важной продукции. При этом базовые технологии и даже исходное сырье для продукции остаются практически неизменными. По оценкам специалистов более 70% созданных и разрабатываемых наукоемких технологий оборонного комплекса являются технологиями

двойного назначения, т.е. могут применяться как в оборонных, так и в гражданских отраслях промышленности.

На основе технологий двойного назначения разработан целый ряд инновационных проектов по производству конкурентоспособной на мировом рынке гражданской продукции, в том числе:

- разработаны новые эффективные противопожарные средства ингибирующего типа, нашедшие широкое применение на транспорте и в промышленности;
- разработаны рецептуры и технологии изготовления широкого спектра лекарственных препаратов, в том числе сердечно-сосудистого действия на основе нитроглицерина и его аналогов;
- созданы геофизические МГД-комплексы нового поколения для поиска полезных ископаемых на больших глубинах и морских шельфах, прогноза и предупреждения разрушительных землетрясений;
- разработаны технологии получения технических алмазов детонационным методом и инструмента на их основе для суперфинишной обработки различных материалов;
- разработаны рецептуры специальных керамических порошков и технологии их нанесения на горячую футеровку для ремонта высокотемпературных агрегатов и промышленных печей без их охлаждения;
- разработаны рецептуры и технологии синтетических красок и термопластиков на основе каучуков специального назначения.

Коммерциализация программ конверсии, развитие государственно-частного партнерства позволит увеличить масштаб использования в стране новых технологий, создать большое число высокооплачиваемых рабочих мест, установить новые кооперационные связи по разработке и внедрению перспективных технологий в гражданский сектор экономики.

В настоящее время при проведении разработок в области спецхимии необходимо предусматривать:

- создание новых технологических процессов изготовления твердотопливных зарядов с использованием модульного принципа, значительным снижением стоимости продукции и повышением технической и экологической безопасности.
- опережающее создание высокоэффективных материалов спецхимии;
- создание программных документов, определяющих задачи и порядок решения проблемных вопросов в области спецхимии, включая развитие компонентной базы и сырьевого обеспечения, в том числе производств малотоннажной химии.

. Критические и прорывные технологии

а) имеющиеся в России технологии:

- Технология производства ГА;
- Технология производства АДНА;

б) технологии, отсутствующие в России, но существующие в мире:

- Технология производства сверхкрупногабаритных (более 100 т) зарядов смесового ракетного топлива, непосредственно на космодроме.

в) технологии, по которым Россия или находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем:

- технология получения гексанитроазаизовюрцитана.
- технология производства активного связующего на основе полиазидо-оксетанов.

г) технологии, необходимые для реализации конкретных задач:

- разработка методов синтеза высокоэнтальпийных окислителей из класса соединений типа триоксид гексамина, дипентазола, азофурилена;
- разработка методов получения высокотеплотворных порошков бора и его соединений, в том числе нанодисперсного размера, удовлетворяющих требованиям по чистоте (не менее 98%), дисперсности и морфологии частиц;



- синтез неорганического полимера типа полифосфонитрида для использования в термостойких эпоксисаминных покрытиях в целях создания термостойкого, малодымного бронепокрывтия нового поколения.
- разработка высокоавтоматизированных технологических комплексов с дистанционным управлением и автоматическим контролем технологического процесса на всех стадиях производства: подготовки компонентов, смешения, заполнения, отверждения изделий, разработка нового или совершенствование существующего оборудования, средств контроля качества готовых изделий на базе современных компьютерных технологий с высокой разрешающей и пропускной способностью; обеспечение пожаро-, взрыво- и экологической безопасности производств.

Особое внимание следует обратить на своевременное и постоянное обновление приборного парка, который, позволяет обеспечить необходимую сегодня производительность и *эффективность* научного труда и без которого немислимо быстрое воплощение фундаментальных научных разработок в конкурентоспособные высокие технологии.

#### 4. Биотехнологии

Вступившая еще в 1993 г. в силу Конвенция ООН о биологическом разнообразии (UN Convention on Biological Diversity) определила биотехнологию (далее – БТ) как «любую технологию, использующую биологические системы, живые организмы или их производные для производства или модификации продуктов или процессов целевого назначения»

Взрывное развитие БТ сегодня обусловлено как яркими достижениями биологической науки, приведшими к расшифровке генома человека и формированию постгеномной БТ (включающей протеомику, метаболомику, фармакогеномику и этногеномику), так и прогрессом в нанотехнологиях, информационных технологиях и так называемой «зелёной» химии.

Современный мир переживает глобальный биотехнологический подъем в биотехнологии. Тридцатилетняя история успешной эволюции предопределила ее ключевую роль в экономике наступившего столетия., превратив из рядовой отрасли в системообразующий, ведущий фактор развития как экономики отдельных государств, так и мирового сообщества в целом.

Биотехнологии затрагивают все основные сферы жизни человека, в соответствии с ними в мире принята следующая «цветовая» классификация.

«**Красная**» биотехнология связана с обеспечением здоровья человека и потенциальной коррекцией его генома, а также с производством биофармацевтических препаратов (протеинов, ферментов, антител).

«**Зеленая**» биотехнология направлена на разработку и создание генетически модифицированных (ГМ) растений, устойчивых в биотическом и абиотическом стрессам, она определяет ведение современного сельского хозяйства.

«**Белая**», промышленная, биотехнология нацелена на получение биоматериалов, включая спирты, витамины, аминокислоты, антибиотики или ферменты, с использованием микроорганизмов различного целевого назначения. Она является технологической основой биогеотехнологии, производства биотоплив, охватывает область химической промышленности.

Сегодня из «Белой» биотехнологии уже вычлениют принадлежащие ей ранее технологии очистки и защиты окружающей среды, биоремедиации почв с использованием живых микроорганизмов-биодеструкторов, вторичную переработку отходов и остаточных материалов, относя все эти производства к «**Серой**» биотехнологии.

Последняя в этой цветовой гамме «**Синяя**» биотехнология связана в настоящее время с использованием морских организмов и сырьевых ресурсов.

Ежегодный прирост динамично развивающегося мирового рынка биотехнологической продукции составляет 7 – 10 %. За последние 5 лет объем продаж биотехнологической продукции в мире вырос в 3 раза, достигнув величины порядка 163 млрд. долларов. В настоящее время имеется более 5 тыс. биотехнологических компаний с рыночной капитализацией около 700 млрд. долл. и ежегодным оборотом в 75 млрд. долл. Согласно прогнозам, к 2010 г. рыночная стоимость секторов, связанных с биотехнологией (без сельского хозяйства), составит свыше 2 трлн. евро. Об этом свидетельствуют капиталовложения в эту отрасль, рост рынка биотехнологической продукции, совершенствование законодательной базы и т.д.

Многолетним лидером в биотехнологии являются США. Доходы их компаний, занимающих первые места на биотехнологическом рынке, уже в 2004 г. составили 35,9 млрд. долл. США, а расходы на научно-исследовательскую деятельность – 13,6 млрд. долл. США.

Следом за США с некоторым отставанием в области биотехнологии идут европейские и азиатские страны. В 2008 г. году в ЕС насчитывается более 2200 биотехнологических

компаний (*из более, чем 5 тыс. в мире*). Их общий годовой доход только в этом, 2008 году, достиг 21.5 млрд. евро, что сравнимо с таковым в США 4-мя годами ранее. Расходы на НИОКР, в которых заняты 44% всех биотехнологов, составили в ЕС 7,6 млрд. евро. ([www.cordis.europa.eu/fp7/get-support\\_en.html](http://www.cordis.europa.eu/fp7/get-support_en.html)).

В 2002 г. в своем важнейшем документе «Науки для жизни. Стратегия для Европы» Европейская Комиссия вынуждена была признать отставание Европы от США в области биотехнологии и необходимость восстановления лидерства. В документе говорится: «Одной из основных сильных сторон Европы является ее научная база; существуют центры, обладающие научным превосходством в специальных технологиях и служащие ядром региональных кластеров биотехнологических разработок. Однако по общему уровню инвестиций в НИОКР Европа отстает от Соединенных Штатов. Более того, Европа страдает фрагментированной общественной поддержкой исследований и низким уровнем межрегиональной кооперации в НИОКР среди компаний и учреждений различных регионов нескольких государств. Комиссия имеет целью восстановление лидерства Европы в науках о жизни и биотехнологических исследованиях. Главной целью должно быть обеспечение конкурентоспособности ЕС vis-a-vis с главными индустриальными странами, например Соединенными Штатами и Японией. Более того, на какую бы политику в отношении биотехнологии и наук о жизни ни решилась Европа, эта политика будет иметь важные международные последствия, в частности, для развивающихся стран».

Считается, что в связи с высокой рентабельностью биотехнология не нуждается в особом регулировании. Тем не менее, даже такая страна с рыночной экономикой, как США, также приняла долгосрочную программу по биотехнологии до 2025 года. Одной из ее конечных целей заявлено доведение уровня продукции химической промышленности из возобновляемого сырья до 25%.

В этом аспекте интересен также опыт Кубы, занимающей в настоящее время 7-е место в мировом биотехнологическом рейтинге и достигшая впечатляющих успехов благодаря тому, что в 1985 году Правительство приняло программу подъема национальной биотехнологии. В последние годы бурное развитие БТ отмечается в Китае, Индии, Бразилии, Малайзии, имеющих, соответственно, большой потенциал, целенаправленную государственную поддержку и национальные биотехнологические программы.

Для современной биотехнологии характерен комплексный подход, широкое использование достижений и методов не только молекулярной биологии и генной инженерии, но также и химии, физики, информатики, математических методов обработки результатов. В связи с этим в последнее время как отдельное направление исследований рассматривается создание единых технологических платформ для проведения широкого спектра исследований. Они объединяют транскриптомику, протеомику, метаболомику, высокопроизводительный скрининг, основанный на белок-белковых или белок-лиганд взаимодействиях, в целом, - системную биологию и биоинформатику как научную основу создания прорывных технологий, нацеленных на повышение качества жизни.

Во всех промышленно развитых странах научное обеспечение биотехнологии происходит в рамках государственных исследовательских программ с последующей коммерциализацией результатов частным сектором. В результате такой политики сформировалась система государственно-частного инновационного партнерства, при котором государственная власть и бизнес выступают как равноправные партнеры, взаимно дополняя друг друга. Государство, поддерживая проведение научно-исследовательских работ и систему образования, являющихся источниками инноваций, создает благоприятные условия и среду стимулирования предпринимательства, а бизнес берет на себя весь коммерческий риск работы на рынке инновационной продукции.

Характерной чертой организации биотехнологии развитых стран, обеспечивающей беспрецедентные экономические выгоды, является ее инфраструктура.

Все университеты, научно-исследовательские центры работают в тесном контакте с малыми предприятиями. Вместе они составляют необходимую среду по трансферу новейших технологий, по переносу и доведению этих технологий от науки к среднему и далее – к крупному бизнесу.

Потребности здравоохранения, сельского хозяйства и пищевой промышленности, необходимость решения проблем старения населения и защиты окружающей среды формируют устойчивый спрос на:

- биотехнологическую продукцию, востребованную в пищевой промышленности и сельском хозяйстве (с годовым объёмом продаж – около 45 млрд. долларов),
- семенной материал генно-модифицированных растений (с годовым объёмом продаж в 30 млрд. долларов),
- генно-инженерные фармпрепараты (с годовым объёмом продаж в 26 млрд. долларов) и лечебно-косметические средства из растительного и животного сырья (с годовым объёмом продаж около 40 млрд. долларов),
- биотопливо.

### **Современное состояние биотехнологии в России и прогноз развития до 2030 года**

Современное состояние биотехнологии в России оценивается экспертами неоднозначно. С одной стороны, положение в биотехнологии подвергается жесткой критике, с другой, отмечается потенциал страны, достаточный для восстановления лидерства в целом ряде областей биотехнологии.

По мнению критиков, биотехнологическая отрасль в России («белая биотехнология») разрознена, отсутствует межведомственная координация и государственная промышленная политика в этой сфере.

По всем направлениям биотехнологической промышленности Российская Федерация значительно отстает от уровня и темпов развитых стран. Если в 1990 г. СССР занимал второе место в мире по развитию микробиологической промышленности, уступая лишь США, то сейчас Россия находится далеко позади: ее вклад в общий объем мирового производства сократился с 3 – 5% до менее 1%. (Точнее, сегодня доля Российской Федерации в мировом объеме биотехнологической продукции не превышает 0,2% (четверть века назад – 5%).

Для сравнения: доля США – 42%, Евросоюза – 22%, Китая – 10%, Индии – 2%.

При этом в России практически прекратилось производство ряда ключевых продуктов: антибиотиков, стероидов, витаминов; производство ферментов упало в 6 раз, антибиотиков – в 12 раз, кормового белка — в 25 и т. д. На долю России приходится 0,02% мирового производства генно-инженерных препаратов для медицины. Импортозависимость России по важнейшим видам биотехнологической продукции исключительно велика: по инсулину – почти 100%, по антибиотикам – свыше 90% и др. Вместе с тем, согласно расчетам, в мире к 2025 году ожидается перевод 25% всей химической промышленности на биотехнологические процессы.

Эксперты утверждают, что Россия пропустила волну биотехнологической революции («зеленую», связанную с агrobiотехнологией), недостаточно ярко участвовала в международном сотрудничестве по расшифровке генома человека. Даже по самому оптимистическому сценарию, к 2010 г. Россия будет производить лишь 0,25% мирового объема биотехнологической продукции.

Необходимо трезво оценивать то, что практически все российские лекарственные субстанции, полученных по отечественным биотехнологиям, скупаются зарубежом, в основном, Китаем и Индией. В Россию наша биотехнологическая продукция возвращается в виде потока произведенных готовых лекарственных форм (ГЛФ), исчисляемых в тоннах.

К причинам такого положения относят отсутствие четкой государственной стратегии, в том числе недостаточное финансирование научно-практических разработок в области

биотехнологии, а также отсутствие систематизированной перманентной подготовки кадров с учетом прогноза целевой профессиональной занятости специалистов в разных направлениях современной биотехнологии.

Согласно оптимистическому взгляду, биотехнология относится к кругу областей, где Россия по ряду фундаментальных направлений занимает лидирующие позиции, например, в области некоторых медицинских молекулярно-биологических исследований. В Российской Федерации освоено производство ряда генно-инженерных препаратов и ДНК-диагностик.

В настоящее время в сфере российских биотехнологий путь от разработки нового продукта до начала его промышленного производства занимает 10-15 лет. При оптимальной организации этого процесса, в том числе при условии достаточного финансирования, данный срок можно сократить до 2-х—3-х лет.

Ёмкость рынка биотехнологической продукции на внутреннем российском рынке, по оценке экспертов, составляет в настоящее время 140-150 млрд. руб., из них около 60% приходится на лекарственные средства.

В последние годы в России, как и во всем мире, интенсивно развивается биоинформатика, позволяющая анализировать массивы геномной и протеомной информации, а также исследования в области системной биологии. Среди них можно выделить создание генных сетей, моделирование структуры и функций биологических макромолекул и их комплексов, фармакогеномику и фармакогенетику, компьютерное конструирование лекарств, что позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на создание новых лекарств, и финансовые затраты на их клинические испытания.

Сохранению российского научного потенциала в биотехнологии способствовала реализация в течение почти 2-х десятилетий Федеральной целевой научно-технической программы, последняя версия которой, выполняемая в рамках Роснауки, называется Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы». В области фундаментальных исследований особенно успешно в последние годы развиваются биоинформационные технологии. Здесь Россия вполне конкурентоспособна, так как исследования требуют высококвалифицированных специалистов.

#### **4.1. Мировые тенденции развития «красной» биотехнологии**

Во всемирном здравоохранении имеется огромная потребность в новых и инновационных подходах, соответствующих запросам стареющих популяций и населения беднейших стран. До сих пор еще неизвестны лекарственные средства от половины известных заболеваний. В ряде случаев уже имеющиеся лечебные препараты (например, антибиотики) становятся менее эффективными вследствие возникновения у больных лекарственной устойчивости.

Тем не менее, «Красная» биотехнология год за годом предоставляет миру все новые возможности для получения растущего числа традиционных и новых лекарственных средств и медицинских услуг, более дешевых, безопасных и этически приемлемых. Среди них - инсулин человека и вакцины против гепатита В и бешенства, эритропоэтин, гормон роста человека (применение без риска заболевания губчатым энцефалитом Крейцфельда-Якоба); лечение гемофилии с использованием неограниченных источников факторов свертывания крови, не содержащих вирусов СПИДа и гепатита С;

Биотехнология предопределяет изменение парадигмы ведения больных в сторону персонализации лечения и усиления профилактики на основе знания генетической предрасположенности человека к болезням и точной диагностики, целенаправленного скрининга и использования новейших лечебных средств. Поддержкой этим радикальным изменениям служит фармакогеномика. Исследования стволовых клеток и ксенотрансплантации открывают перспективы замещения тканей и органов при лечении

дегенеративных заболеваний и поражений при параличе, болезнях Альцгеймера и Паркинсона, травмах спинного мозга и ожогов.

Развитие «красной» биотехнологии изменит лицо медицины.

В 2030 г медицина будет превентивной (диагностика станет настолько совершенной, что лечение будет начато до появления симптомов у больного); профилактической (будут известны генетические предрасположенности каждого человека), индивидуальной, учитывающей особенности каждого человека и позволяющей на этой основе установить правильное, «функциональное» питание.

Будет освоена генотерапия и заместительная терапия (создание тканей и органов из стволовых клеток). Средняя продолжительность жизни в развитых странах может достичь 90-100 лет.

Согласно прогнозу Института альтернативного будущего (США), к 2030 году человечество сможет воспользоваться следующими достижениями «красной» биотехнологии:

- в целях открытия новых биологических феноменов, понимания заболеваний и разработки новых лекарств. будут созданы и станут применяться сложные системы, органоиды, – искусственно выращенные части тела или органы человека или клеточные группы. Конструирование органоидов из ткани пациентов решит проблему индивидуализированной медицины, позволит выявить биомедицинские различия между разными группами больных. В создании и функционировании органоидов могут быть использованы наноструктуры. По оценкам, первые прикладные разработки появятся в следующие 10-15 лет;

- через 5 лет возможна разработка «карт» генетической информации пациентов, однако их эффективное использование и анализ реальны лишь спустя 15-25 лет;

- будут разработаны имплантируемые устройства для доставки лекарств, созданы прототипы биологических систем, вживляемых в человека в целях распознавания болезни, синтеза вещества для ее излечения и доставки к пораженному участку организма. На первых этапах подобные функции будет выполнять новое поколение микроэлектромеханических систем (MEMS). Сенсоры для определения и корректировки уровня медикаментов в организме могут быть разработаны в течение 5-10 лет (предполагается участие врача и внешних систем контроля за дозой медикаментов);

- появление систем, фиксирующих реакцию организма на введенные препараты и способных корректировать их дозу и концентрацию, технологически станет возможным через 15-20 лет.

Внедрение подобных систем потребует изменения бизнес-моделей и регулирования в биомедицинской сфере. В аспекте разработки бизнес-модели перспективным на первых этапах представляется появление специальных приборов для диабетиков (оценка уровня сахара в крови, определение инсулина) и онкобольных, для подавления воспалений и хронических заболеваний, а также в лечении дорогостоящими лекарствами в малых дозах.

Технически сложными остаются две проблемы:

- а) получение энергии (разработка новых батарей, а в будущем, через 25 лет, прогнозируется использование энергии химических реакций организма человека);

- б) создание лекарств пролонгированного действия, эффективных в сверхмалых (т.е. оптимальных для имплантируемых систем) дозах.

Будет обеспечено появление индивидуализированной медицины – с освоением диагностической визуализации объектов и процессов в организме (новое поколение аппаратов магнитно-резонансного сканирования), с разработкой биомаркеров, решающих проблему предотвращения заболеваний.

Перспективной областью развития биотехнологии является «клеточная» биотехнология, использующая стволовые клетки и иные клеточные продукты в заместительной клеточной терапии (регенеративной медицине). За рубежом большое применение в

клинике получил клеточный эквивалент кожи, применяемый для лечения ожогов, травм, трофических язв и др. Нарастает использование, в большинстве случаев в экспериментальном порядке, аутологических стволовых клеток мезенхимного происхождения из костного мозга и стромальных клеток жировой ткани для восстановления поврежденных функций сердечной и скелетной мышц, мозга, печени, поджелудочной железы, стимуляции роста кровеносных сосудов. Оборот финансов в коммерческой сфере оставляет сотни миллионов долларов.

Наиболее перспективным в будущем представляется получение трансплантационного материала на основе эмбриональных стволовых клеток человека и, так называемых, «индуцибельных плюрипотентных» клеток (клеток, обладающих эмбриональными свойствами, полученных путем репрограммирования дифференцированных соматических клеток). В этой области финансирование за счет различных источников (бюджетных и частных) достигает миллиарда долларов., вместе с тем устойчивая коммерциализация в настоящее время отсутствует.

#### **Эволюция системной биологии.**

Развитие дисциплины позволит делать надежные прогнозы для молекулярных процессов в организме, многих ключевых клеточных процессов, некоторых систем организма. Менее надежным и адекватным будут прогностические модели для здоровья семьи, сообществ, нации, экологии, которые возможно будет создавать в 2020-х гг. Возможно, будут разработаны виртуальные модели сердца. Что касается виртуальных моделей иных систем организма, то менее вероятно, что они будут созданы, и, скорее всего, они будут менее широко использоваться. Возможно, хотя и маловероятно, что в последующие 25 лет появятся виртуальные модели клеток и протеинов. На интеграцию же *in silico* систем в своего рода «виртуального пациента» потребует более, чем 25 лет.

#### **Российские перспективы в области «красной» биотехнологии.**

В сфере биотехнологии для медицины развитие генной инженерии в 80-х годах обеспечило хороший задел России в создании генно-инженерных штаммов микроорганизмов с целью получения штаммов-продуцентов с заданными свойствами, в разработке генно-инженерных методов реконструирования генетического материала вирусов, получения продуцентов биологически-активных веществ, в том числе и с использованием компьютерного моделирования.

В настоящее время доля России в мировом производстве биотехнологической продукции составляет менее 1% или примерно 20-25 млрд. руб. Из них около 70% приходится на производство фармацевтических средств.

До стадии производства доведены рекомбинантный интерферон и различные лекарственные формы на его основе для медицины и ветеринарии, интерлейкин ( $\beta$ -лейкин), эритропоэтин. Инсулин человека также входит в этот перечень. Сегодня отечественный инсулин производится в количестве, достаточном для больных диабетом г. Москвы. Потребность российского рынка в генно-инженерном инсулине удовлетворяется, в основном, импортными поставками. Несмотря на растущий спрос на высокоочищенные препараты, отечественное производство иммуноглобулинов, альбумина, плазмала обеспечивает лишь 20% потребностей внутреннего рынка.

Активно ведутся исследования по разработке вакцин для профилактики и лечения гепатитов, СПИДа и ряда других заболеваний, а также конъюгированных вакцин нового поколения против наиболее социально значимых инфекций. Полимер-субъединичные вакцины нового поколения состоят из высокоочищенных протективных антигенов различной природы и носителя – иммуностимулятора полиоксидония, обеспечивающего повышенный уровень специфического иммунного ответа. Прививки против подавляющего большинства известных инфекций Россия могла бы обеспечить на базе собственного иммунологического производства. Полностью отсутствует только производство вакцины против краснухи.

Разрабатываются диагностические системы, основанные на анализе тотальных изменений в экспрессии генов при заболеваниях. Методы полногеномного сравнения начинают использовать в идентификации возбудителей инфекций, установлении биологических загрязнений окружающей среды, в судебной медицине и в сельском хозяйстве.

Успешно развивается ДНК-диагностика как в плане совершенствования методологии, так и в аспекте расширения спектра медицинских анализов. Отечественные коммерческие фирмы, в основном малые предприятия, активно осваивают выпуск нового оборудования и наборов реагентов для ДНК-диагностики. По уровню применения ДНК-диагностики в медицинской практике Россия не только не отстает от развитых стран, но и опережает их. Молекулярная диагностика – это та область, где Россия может конкурировать на мировом рынке с аналогичными продуктами в лице как российских, так и совместных предприятий. Наряду с традиционными тест-системами, это, прежде всего, ДНК-диагностикумы на наследственные и инфекционные (бактериальные и вирусные) заболевания. Тест-системы для иммунодиагностики на основе антител выпускаются рядом предприятий в объемах, практически удовлетворяющих потребности клиник. Самыми распространёнными являются тест-системы для иммуноферментного анализа, в первую очередь для диагностики ВИЧ 1 и 2 типа и гепатитов В и С.

Диагностические системы на основе биосенсоров и биочипов пока ещё мало используются в практических целях. Главной чертой таких технологий является высокая специфичность взаимодействия тестерных молекул с диагностируемым соединением, что позволяет анализировать практически неочищенные многокомпонентные смеси. Биочипы позволяют вести параллельный многопараметрический анализ. Впервые идея матричных биочипов была выдвинута российским ученым академиком А.Д. Мирзабековым. В настоящее время в организованном им центре по производству биочипов при Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта налажен выпуск опытных партий биочипов для диагностики туберкулеза. Успешно ведутся работы по созданию биочипов для детекции биотоксинов белковой природы, идентификации возбудителей опасных и особо опасных инфекций вирусной и бактериальной природы.

Имеются и другие области биотехнологии, где отечественные разработки конкурентоспособны, например, получение биологически активных пептидов, в том числе нейропептидов.

Актуальной является разработка белковой системы доставки липидов на основе протективного антигена и ассоциативного домена летального фактора сибиреязвенного экзотоксина. Эта система может быть использована при конструировании иммуномодулирующих пептидных препаратов для специфической иммунотерапии различных онкозаболеваний, гепатитов, хламидиоза, сифилиса.

**Новейшие биотехнологии, основанные на применении стволовых клеток.** К настоящему времени в стране уже разработана методика «выращивания» эпидермального трансплантата для лечения обширных ожогов и других травм кожного покрова на основе стволовых клеток кожи пациента, успешно ведутся работы по «выращиванию» сосудов.

В России уровень работ с использованием аутологических стволовых клеток соответствует мировому, в области же эмбриональных стволовых клеток он значительно ниже. Наблюдается зачастую научно не оправданная и сомнительная коммерциализация использования стволовых клеток. Возникают не получающие должной сертификации частные институты и лаборатории стволовых клеток, банки пуповинной крови; форсируется необоснованное применение в клинике скороспелых рискованных клеточных технологий.

Потребности в трансплантационном материале для лечения различных тяжелых заболеваний и, в более отдаленном будущем, переход от трансплантации донорских органов к трансплантации тканей, созданных на основе клеточных технологий, могут охватывать запросы миллионов пациентов и исчисляться многомиллиардными оборотами средств.



Сценарий развития отечественной «клеточной биотехнологии» представляется следующим:

Рынок сравнительно простых клеточных продуктов на основе аутологических стволовых клеток получит значительное развитие в самое ближайшее время.

У России, по мнению экспертов, есть возможность обеспечить себе лидирующее положение по-крайней мере в некоторых направлениях этой области.

Несомненно, будет расти число банков пуповинной крови и других клеток человека, направленных на персонализацию клеточной терапии.

Прорыв можно ожидать при разработке методов создания многокомпозиционных трехмерных структур (тканевых аналогов) из биосовместимого материала и различных типов клеток.

Другая прорывная технология состоит в имитации условий эмбриогенеза *in vitro* за счет создания специфической ниши, соответствующей микроокружению для каждого типа клеток, образующих нативные органы. В этом контексте наиболее перспективным, безусловно, являются и эмбриональные и индуцированные плюрипотентные стволовые клетки. Однако, создание искусственных органов из этих клеток следует рассматривать как дальнюю перспективу, по крайней мере до 2030 года проблема вряд ли будет решена.

Одно из перспективных направлений в онкологии – разработка подходов для конструирования на основе мини-антительных фрагментов соединений для клинического использования, например, получение бифункциональных производных на основе противоопухолевых мини-антител против ракового маркера. Получены антитела к антибиотикам для мониторинга содержания антибиотиков в крови у людей и животных с целью контроля эффективности лечения.

Актуальным направлением является получение и производство ферментов медицинского назначения, в т.ч. препаратов для лечения сердечнососудистых и онкологических заболеваний, пищеварительных ферментов, ферментных препаратов для агропромышленного комплекса.

Одним из перспективных для России направлений «красной» биотехнологии является разработка новых технологий производства лекарственных препаратов из природного сырья, ферментов, биохимических реагентов, питательных сред, сывороток. Отечественные разработки по культивированию *in vitro* клеток и тканей растений позволяют получать препараты с различным фармакологическим спектром действия (антимикробные, антимуtagenные, адаптогенные, радиопротекторные). В последние годы наблюдается увеличение производства лекарственной и лечебно-косметической продукции с использованием биотехнологий и натурального сырья, при этом потребности данного сегмента рынка удовлетворяются чуть более чем наполовину.

Производство медицинских иммунобиологических препаратов представляет стратегический интерес для развития биотехнологии. Научно-технический потенциал отрасли представлен более 60 предприятиями и НИИ различных форм собственности и ведомственной принадлежности, производящих около 600 наименований иммунопрепаратов: вакцины, анатоксины, иммуноглобулины, лечебные сыворотки, бактериофаги, интерфероны, препараты нормофлоры, аллергены. Производственные мощности предприятий рассчитаны на обеспечение заявочной потребности по основной номенклатуре данных средств. Однако эти предприятия не соответствуют требованиям GMP, не налажена система доклинических испытаний препаратов в соответствии с требованиями GLP.

Объем рынка медицинских иммунобиологических препаратов в настоящее время оценивается в 13 – 15 млрд. руб. Годовой объем отечественного иммунобиологического производства для медицины составляет около 5 млрд. руб. При этом отечественные препараты обычно как минимум в два, а часто и в 10-20 раз дешевле зарубежных аналогов.

Развиваются, хотя и не столь быстрыми темпами, технологии получения моноклональных и рекомбинантных антител. Разработаны способы получения каталитических антител (абзимов) к различным вредным для организма человека низкомолекулярным соединениям, например, фосфонатам, фосфоэфирам с целью разрушения их следовых количеств в организме человека, белкам, сверхпродукция которых критична для жизни пациента, патогенам, специфичным для инфекционных заболеваний.

В число ведущих секторов биотехнологии для медицины к настоящему времени входит производство генно-инженерных лекарств. Большинство видов этой продукции невозможно получить из природных источников или методом химического синтеза в количествах, достаточных для практических нужд. Для промышленного производства этих препаратов не нужно больших производственных площадей, однако, требуется высокая технологическая культура. Диагностические средства *in vitro* представлены иммунологическими и ДНК-диагностикумами. Рынок ДНК-диагностики в последние 2-3 года динамично растет за счёт новых видов ДНК-диагностики - макро и микроматриц. Отечественные системы ДНК-диагностики не уступают зарубежным по качеству, но в 5-10 раз дешевле. В дальнейшем прогнозируется изменение структуры сектора генно-инженерных лекарств за счёт увеличения доли рынка ДНК-диагностики над рынком средств иммунодиагностики.

Производство субстанций антибиотиков до 90-х годов базировалось на штаммах отечественной селекции, и потребность в субстанциях обеспечивалась полностью. Под влиянием макроэкономических факторов производство отечественных субстанций антибиотиков на основе микробного синтеза стало нерентабельным, что привело к прекращению производства. Сегодня ни один из отечественных заводов не производит товарных субстанций антибиотиков. Сотни установленных на этих заводах ферментеров и других аппаратов, используемых при биосинтезе, выделении и очистке антибиотиков, уже ни морально, ни технически не пригодны для проведения современных технологических процессов. Полностью прекратился экспорт российских фармацевтических субстанций, как в ближнее, так и в дальнее зарубежье.

Потребность в субстанциях удовлетворяется, в основном, за счёт импорта.

#### **4.2. Мировые тенденции развития «зеленой» биотехнологии.**

В области сельского хозяйства и производства продовольствия БТ обладает потенциалом, позволяющим повысить качество продовольствия и оказать благотворное действие на окружающую среду благодаря использованию усовершенствованных сельскохозяйственных культур.

Примером активного внедрения биотехнологических растений в экономику являются США, осуществившие фактически полный переход фермерского сельского хозяйства на генномодифицированные сорта кукурузы, соевых бобов и хлопка..

Согласно данным FDA, Министерства сельского хозяйства США, в 2006 году 73 % кукурузы, 87% хлопка и 91% соевых бобов, выращенных на территории США, были генетически модифицированными растениями так называемого первого поколения (то есть содержащими один ген и стохастически внедренный признак).

Агентство IPS-news отмечает, что, несмотря на неутрачивающие споры о потенциальных рисках ГМО, четыре страны продолжают выращивать 99% всех ГМ-культур в мире. В США, где находится штаб-квартира биотехнологической корпорации «Монсанто», выращивается 55% ГМ-культур, остальные произрастают в Аргентине, Канаде и Китае.

По мнению американских экспертов, будущее - за тремя направлениями развития «зеленой» биотехнологии, в том числе:

- внедрение совокупности признаков в коммерчески важные сорта растений;
- разработка сортов растений с новыми свойствами (признаками).

-распространение генной инженерии на новые сорта растений и внедрение их в новые отрасли промышленности (наиболее яркий пример – так называемое «биотопливо» из генетически модифицированных быстрорастущих деревьев и масличных культур).

В этой связи возникают вопросы о возможных препятствиях реализации данной стратегии и о мерах по их преодолению.

Условием развития «зеленой» биотехнологии является прогресс в геномике – совокупности технологий анализа и манипулирования генетическим материалом. По мнению экспертов, по темпам развития геномика растений значительно отстает пока от геномики человека и животных. К настоящему времени на фоне расшифровки генома человека полностью прочитан геном некоторых животных (слон, броненосец, опоссум, землеройка, утконос и др. экзотические и обычные животные).

Среди растений к 2007 г. была определена полная последовательность генома всего только трех видов растений (размер генома указан в миллионах пар оснований):

2000 – резушка Таля (*Arabidopsis thaliana*) – 115

2002 – рис (*Oryza sativa*) – 420

2007 – люцерна усеченная (*Medicago truncatulata*) – 250

Из трех перечисленных растений один рис имеет промышленно-экономическое значение.

Не определена до сих пор полная последовательность генома пшеницы, кукурузы, хлопка, картофеля, ржи, сорго, сои – фактической основы жизнеобеспечения мирового населения.

Это вызвано несколькими причинами организационного, научного и социального характера. Даже в США на геномику растений не хватает фондов. Другим препятствием является сложное строение генома растений. Молекулярные биологи считают, что до выяснения полной последовательности генома у многих растений предстоит еще долгий путь. Прогнозируют, что имеющий сейчас место социополитический конфликт (например, устойчивая оппозиция со стороны «Зеленых» в Европе в отношении рисков и отдаленных последствий использования ГМ растений, продуктов питания или кормов на их основе), очевидно, будет разрешен в ближайшие годы, т.к. он носит в значительной мере политический и экономический характер.

В 2005 г. Всемирная организация здравоохранения опубликовала отчет «Современная пищевая биотехнология, здоровье и развитие человека». В нем приведены результаты изучения влияния ГМО на здоровье человека и еще раз сделаны выводы о безопасности разрешенных к коммерческому использованию трансгенных культур.

Внедрение «зеленой» биотехнологии в современную агробиологию может быть проиллюстрировано следующими фактами из ряда зарубежных экспертных обзоров, в том числе, из ежегодного обзора независимой Международной службы по мониторингу за применением агробиотехнологий (ISAA\*) и возглавляемой известным экспертом Клайвом Джеймсом:

За первые двенадцать лет коммерциализации общие площади посевов биотехнологических культур в мире увеличились более чем в 60 раз: с 1.7 млн га в 1996 г. до 102 млн га в 2006 г.

В 2004 агробиотехнология была внедрена в 17 странах, а в 2005 г. – уже в 21. В 2006 г. был достигнут новый рубеж – ГМ культуры стали выращивать в 22 странах на площади 102 млн. га.

Начиная с 1996 г., ежегодный прирост площадей составлял более чем 11% (или 9 млн. га.) – это рекордный показатель внедрения для новой технологии. В 2006 г. ежегодный прирост площадей оценен в 12 млн. га, что приравнено уже к 13%.

В 2006 г. ГМО выращивают 10.3 млн фермеров в 22 странах (В 2005 г. насчитывали 8.5 млн человек в 21 стране). В 90% - это фермеры из развивающихся стран.

В 2006 г. ГМ культуры выращивали уже в 6 странах ЕС : Испания, Франция, Чехия, Португалия, Германия и Словакия. Общая площадь культивируемых ГМО в Европе увеличилась более, чем в 5 раз: в 2005 г. было освоено примерно 1 500 га, а в 2006 г. - 8 500 га.

В 2006 г. выращивание ГМ культур было разрешено в 22 странах (в порядке убывания площадей - США, Аргентина, Бразилия, Канада, Индия, Китай, Парагвай, ЮАР, Уругвай, Филиппины, Австралия, Румыния, Мексика, Испания, Колумбия, Франция, Иран, Гондурас, Чехия, Португалия, Германия, Словакия).

Необходимо отметить, что в этих 22 странах проживает более половины всего населения Земли (55% или 3.6 млрд человек). Кроме перечисленных государств, разрешение на импорт, пищевая и кормовая регистрация были осуществлены еще в 29 странах. Таким образом, в общей сложности разрешения на использование ГМО выдают в 51 стране мира.

По оценке Cropnosis, мировой рынок биотехнологических культур в 2006 г. оценивался в 6.15 млрд. долл. США, что составляет 16% от стоимости мирового рынка средств защиты растений (38.5 млрд. долл. США) и 21% - от стоимости мирового рынка семян ( $\approx$  30 млрд. долл. США).

Общую стоимость рынка биотехнологических культур можно представить, ориентируясь на следующие показатели:

- \$2.68 млрд. – соя (44% рынка биотехнологических культур);
- \$2.39 млрд. – кукуруза (39% рынка биотехнологических культур);
- \$0.87 млрд. – хлопчатник (14% рынка биотехнологических культур);
- \$0.21 млрд. – рапс (3% рынка биотехнологических культур).

Подсчитано, что в случае полного принятия биотехнологии, к концу периода 2006 – 2015 гг. прибыль всех стран в пересчете на ВВП вырастет на \$210 млрд. в год.

Выращивание биотехнологических культур имеет целый ряд преимуществ перед традиционными культурами.

1. Важнейший экологический эффект применения биотехнологических культур - сокращение обычно применяемых пестицидов. Так, в США в 2004 г. выращивание 11 биотехнологических культур позволило сократить объем вносимых на поля пестицидов на 62 млн. фунтов (млн. кг). В сравнении с 2003 г. использование пестицидов снизилось на 34% или 15.6 млн. фунтов.

Расчеты показывают, что использование 9 ГМ культур в Европе могло бы сократить объем вносимых на поля пестицидов на 14.4 млн. кг в год, по сравнению с практикой возделывания традиционных сортов.

2. Сокращение применяемых в земледелии объемов инсектицидов

Так, в Китае 3.5 млн. га сельскохозяйственных земель занято устойчивыми к насекомым ГМ сортами хлопчатника. В 2006 г. на полях было высеяно свыше 20 сортов этой культуры. Выращивание биотехнологического хлопчатника позволило производителям сократить внесение инсектицидов на свои поля на 50 000 тонн и получить экономический эффект около 2.1 млрд. долл. США.

За период 1996 – 2004 гг. общее сокращение объема пестицидов в мире составило 172 500 т действующего вещества, что может быть приравнено к сокращению на 14%

3. Положительный эффект воздействия ГМ растений на сохранение биоразнообразия.

Не менее значимым, по мнению экспертов из разных стран, является благотворное влияние ГМ растений на сохранение мирового биологического разнообразия и сокращение числа механических обработок земли. Биотехнологические культуры могут увеличить урожайность сельскохозяйственных культур и ограничить самую большую угрозу генетическому разнообразию в природе – исчезновению среды обитания.

4. Сокращение эрозии почв

Наблюдения, проводимые с начала применения в сельском хозяйстве устойчивых к гербицидам сельскохозяйственных культур, убедительно доказывают, что оно приводит к широкому внедрению технологии консервирующей обработки почвы, что в свою очередь, ведет к сокращению почвенной эрозии, снижению уровня углекислого газа и уменьшению потери воды.

5. Влияние «зеленой» биотехнологии на развивающиеся страны

Как показывает практика, применение биотехнологических культур способствует сохранению окружающей среды и решению некоторых вопросов здравоохранения, экологии и сельского хозяйства, особенно в развивающихся странах. Эти проблемы значительно труднее решить методами обычной сельхозпрактики. Несмотря на культурные и политические различия, лежащие в основе разногласий стран во взгляде на ГМ растения, их использование имеет огромный потенциал для значительного улучшения питания и здравоохранения беднейшего населения планеты.

Дискуссионным для мирового сообщества вопросом является **оценка безопасности** использования биотехнологических культур.

Не рассматривая имеющиеся многочисленные аналогичные сведения, можно отметить, что даже только в одном из мировых источников – отчете авторитетного общества AGBIOS “Essential Biosafety (<http://www.essentialbiosafety.info>) содержится более 1000 ссылок на исследования, доказывающие, что пища и корма, полученные из биотехнологических культур, настолько же безопасны, насколько безопасны и традиционные продукты.

До настоящего момента в мире нет ни одного доказанного случая токсичности или неблагоприятного влияния биотехнологических культур как источников пищи или кормов, нет ни одного отчета о неблагоприятном экологическом влиянии биотехнологических растений.

Британская Медицинская Ассоциация опубликовала свою позицию по ГМО, согласно которой «существует очень малая вероятность того, что биотехнологические культуры как источники пищи причиняют вред здоровью», и что «многое из того, что беспокоит людей в отношении ГМ «новых» продуктов питания, в такой же степени относится и к традиционной пище».

Одним из компромиссных для общества агробιологических подходов, разработанных ОЭСР и одобренных во многих странах Европы и Америки, является сосуществование культивирования биотехнологических растений с традиционным и органическим земледелием, требующее посевов культур на определенном расстоянии друг от друга, определяемом генетическими особенностями видов.

По прогнозу, согласно Кельнскому документу (2007 г), к 2030 г. отношение у ГМО изменится в сторону одобрения их использования. Мировое сообщество примет ГМ растения со всеми их преимуществами и рисками, свойственными любой технологии. Это произойдет благодаря приходу в мир нового, более образованного и сведущего в науке поколения, а также – под гнетом угрозы недостатка продовольствия в мировом масштабе.

#### **Российские перспективы в области «зеленой» биотехнологии**

Среди российских приоритетов в области «зеленой» биотехнологии следует выделить:

- создание отечественных трансгенных сортов растений, обладающих повышенной продуктивностью и устойчивостью к основным фитопатогенам, получение трансгенных сортов картофеля, устойчивых к вирусным заболеваниям, плодовых и ягодных растений, обладающих устойчивостью к ряду заболеваний.
- разработку средств защиты растений на основе биологически активных веществ, обладающих антибиотическими и антагонистическими свойствами в отношении широкого круга фитопатогенов;
- разработку технологий биосинтеза новых кормовых и ветеринарных антибиотиков, ферментов, ветеринарных иммунобиологических препаратов;

Генетически модифицированные культуры сегодня в мире занимают площадь более 100 млн. га (102 млн. га в 2006 г), а их продажи ежегодно растут на 20%. На этом рынке Россия пока не представлена. Тем не менее, впервые в России прошли государственную регистрацию и внесены в государственный реестр созданные в Центре «Биоинженерия» РАН 2 сорта генетически-модифицированного картофеля («Елизавета 2904/kgs» и «Луговской 1210 амк» отечественной селекции. Роспотребнадзор разрешает

использование трансгенного картофеля в пищевой промышленности и реализацию его населению на территории Российской Федерации.

Однако до настоящего времени нет ни одного побега ГМ растения, выращенного на территории Российской Федерации. Это связано, в первую очередь, с протестным, не основанным на научном знании движением.

В области □локкулирующего□нной и пищевой биотехнологии Россия сотрудничает с Евросоюзом. Целый ряд совместных проектов, в том числе в ходе выполнения 6-ой и 7-ой рамочных программ ЕС (например, проект Co-extra), посвящен изучению генетически модифицированных культур, их идентификации, безопасности пищевых продуктов с учетом аллергических и иных возможных последствий, улучшению качества пищи, новым методам в ветеринарии (применение бактериофагов) и др.

Прогнозируемые темпы роста агrobiотехнологического рынка определяются политической ситуацией, приятием или неприятием обществом и руководством стран-импортёров продукции из генно-модифицированных источников

Рынок биотехнологической продукции для агропромышленного комплекса и пищевой промышленности представлен, в первую очередь, пищевыми и кормовыми добавками, кормовыми антибиотиками, микробиологическими средствами защиты растений и факторами роста, ферментами для пищевой и лёгкой промышленности, производства моющих средств. Совокупный объём рынка пищевых и кормовых добавок, кормовых антибиотиков оценивается приблизительно в 5 млрд. руб. Степень удовлетворения потребностей рынка по пищевым добавкам – около 40%, до 27% по кормовым добавкам и 22-23% по кормовым антибиотикам. Доля отечественной продукции на рынке 25-30%.

В России производится около 300 наименований иммунобиологических препаратов, применяемых в животноводстве и ветеринарии: вакцины против ящура, сибирской язвы, бешенства и других заболеваний, иммунодиагностикумы на туберкулёз крупного рогатого скота.

Микробиологические средства защиты растений: инсектициды, фунгициды, феромоны, регуляторы роста, регуляторы репродуктивной функции достаточно конкурентоспособны, чтобы считать данный сегмент рынка чрезвычайно перспективным. С позиций защиты окружающей среды биопрепараты не нарушают экологическую безопасность в отличие от химических средств защиты растений. Объём рынка микробиологических средств защиты растений в 2004 г., по оценке аналитиков, составляет около 220 млн. руб., из них 32% - препараты российского производства. Рынок биоудобрений оценивается в 500 млн. руб.

#### **4.3. Мировые тенденции развития «белой» биотехнологии.**

Сегодня бесспорным представляется тот факт, что «белая» биотехнология останется ключевой составляющей промышленных процессов, основанных на возобновляемых ресурсах, по производству биоматериалов, химических веществ и энергии. Ее качественным отличием от биотехнологии начального периода развития является тандем самой передовой науки и технологий, обеспечивающий оптимизацию производственных процессов с целью получения чистой продукции и одновременного сохранения глобальной окружающей среды. Развитие «белой биотехнологии» сегодня направлено, прежде всего, на интенсификацию промышленных процессов и утилизации отходов.

Изначально продукция промышленной биотехнологии – это антибиотики для медицины и сельского хозяйства, аминокислоты, витамины, гормоны и белки, ферменты для пищевой и легкой промышленности, биологические средства защиты растений, тест-системы для экспертизы качества продуктов питания, напитков, косметики, препараты для производства моющих средств.

В настоящее время трудно себе представить, например, работу нефтедобывающей отрасли без использования биопродуктов; особенно важна их роль во время экологических катастроф (разливы нефти). В последнее десятилетие в США и странах Западной Европы

наблюдался настоящий биотехнологический бум. Десятки компаний были созданы за это время. В развивающуюся отрасль инвестируются миллиардные субсидии. Прибыли некоторых биотехнологических компаний составляют до 1—1,5 тыс. % годовых. В настоящее время рыночная стоимость акций ряда биотехнологических компаний превысила 1 млрд долл. США.

Согласно расчетам, в мире к 2015 г. ожидается перевод 25% всей химической промышленности на биотехнологические процессы.

На протяжении нескольких десятилетий США являются лидирующим производителем и экспортёром биотехнологической продукции. Роль лидера обусловлена прежде всего высокими ассигнованиями государственного и частного секторов на фундаментальные и прикладные исследования, количеством занятых в НИОКР биотехнологических фирм и крупных промышленных компаний, в основе технологической мощи которых лежат собственные исследования и разработки. В финансировании фундаментальных и прикладных работ по биотехнологии основную роль осуществляет Национальный научный фонд, Министерства здравоохранения и социального обеспечения, сельского хозяйства, энергетики, химической и пищевой промышленности, обороны, НАСА, внутренних дел и др. Ассигнования выделяются по программно-целевому принципу, т. е. субсидируются и заключаются контракты на исследовательские проекты, которые выполняют внешние (по отношению к финансирующим инстанциям) организации. Это, прежде всего, университеты, научные центры, колледжи. Среди основных американских компаний, работающих в области биотехнологии - «Майкоген», «Калгене», «Эсгроу», «Сиба Сидс», «Монсанто», «Генентек», «Эмерикен Бридерс Сервис» и другие.

Наряду с США, крупнейшими в мире производителями биотехнологической продукции являются Китай, Индия, Южная Корея и Мексика. В поисках нового пути развития экономики в XXI веке ряд стран, в том числе Сингапур, постепенно уступающей себе мировое лидерство в производстве электроники, избирает формирование индустрии биотехнологий.

Мировой рынок биотехнологической продукции постоянно расширяется: если в 2004 году он составил около 40 млрд. долларов, то, по расчетам, к 2010 году эта цифра достигнет 100 млрд., а с включением сюда продукции, произведенной в других отраслях с использованием биотехнологических методов, превысит 2 трлн. евро.

Более долгосрочные прогнозы также подтверждают тенденции роста биотехнологической отрасли – биоиндустрии для создания рентабельных и качественных продуктов: от малых молекул до биополимеров и биопластиков.

В настоящее время можно назвать несколько перспективных направлений в биотехнологии, уже реализуемых или близких к реализации:

- применение микроорганизмов для повышения выхода нефти и выщелачивания цветных и редкоземельных металлов;
- конструирование бактериальных штаммов, способных заменить дорогостоящие неорганические катализаторы и изменить условия биосинтеза для получения принципиально новых соединений;
- применение бактериальных стимуляторов роста растений;
- направленный биосинтез новых биологически активных препаратов – аминокислот, ферментов пищевого и технического назначения, в том числе рекомбинантных, витаминов, антибиотиков, различных пищевых добавок и других продуктов;
- направленный биосинтез новых биологически активных препаратов – аминокислот, ферментов, витаминов, антибиотиков, различных пищевых добавок и других продуктов,
- создание биокатализаторов и модифицированных микроорганизмов для интенсификации промышленных процессов,
- разработка биосистем для решения экологических и энергетических проблем.

За последние годы наметился процесс активизации инвестирования биотехнологического сектора. Сегодня глобальный рынок биотехнологической продукции достигает объема свыше 170 млрд. долларов. В ближайшие годы прогнозируется ежегодный прирост мирового объема биотехнологической продукции на уровне 7-8 %. Среди его сегментов - полуфабрикаты для пищевой промышленности, препараты для фармацевтики и фармакологии, препараты для эффективных моющих средств.

Одним из наиболее стабильных и быстроразвивающихся является рынок ферментных препаратов. Основным потребителем рынка промышленной биотехнологии в сфере производства ферментов является фармацевтическая и пищевая промышленности.

Особенно быстро в последнее время развивается производство топливных спиртов из биомассы. Лидерами в этом секторе рынка являются США, Франция и Канада.

К 2030 году футурологи ожидают устойчивое развитие всех основных направлений промышленной микробиологии. Помимо уже ставших традиционными областей, таких как производство первичных и вторичных метаболитов, рекомбинантных белков для медицины, полисахаридов, ферментов, все большее значение будет приобретать промышленное использование микроорганизмов для получения биотоплив, биodeградируемых пластиков (получаемых из молочной кислоты, полигидроксиалконатов), тонких химических соединений. Интересны и новые подходы к практическому использованию микробов и продуктов их жизнедеятельности – создание «живых биосенсоров» для мониторинга загрязнения окружающей среды и поиска новых лекарств из «комбинаторных» химических библиотек, получение наноструктурированных биоматериалов для нанобиотехнологии и микроэлектроники (магнитных наночастиц, фотосинтетических реакционных центров, S-слоев и т.п.).

Основной вектор развития практической микробиологии в биотехнологии будет направлен на решение проблем глобальной экономики 21 века – истощения запасов природных энергоресурсов и загрязнения окружающей среды, изменения климата. Для решения стоящих задач необходимо будет как совершенствование имеющейся инфраструктуры работы с микроорганизмами, так и широкое использование современных достижений постгеномной биологии – геномики, протеомики, биоинформатики, системной биологии.

Важной составляющей «белой» биотехнологии останется производство малых молекул (ферменты, аминокислоты, стероиды и т.д.), а также предоставление обществу биоматериалов, включая биополимеры и биопластики. Ожидается, восстанавливаемая с помощью биотехнологических подходов пластмасса уже в 2010 г. займет 10% мирового рынка пластмассы, а к 2020-25 гг. – его 20% .

Примером экономической динамики в этой сфере может служить также интенсификация производства биопластики на Toyota: к 2020 г предполагается получение 20 млн. тонн продукции на сумму 40 млрд долларов.

Можно предполагать также большой прогресс в производстве биокатализаторов: использование обновляющихся технологий секвенирования ДНК, выявление экспрессии генов значительно упростит задачу поиска генов нужных биокатализаторов в образцах ДНК, выделенных напрямую из природных источников.

Важнейшим направлением применения биотехнологий для промышленного производства будет создание экономически эффективных технологий для переработки биомассы в отдельные составные части и для создания продукции из биомассы, допускающей повторную переработку, например, биотоплива или биопластика из возобновляемого исходного сырья – зерна, древесины.

В целом, к 2030 году продукция промышленной биотехнологии будет оценена в 300 млрд евро.



### **Российские перспективы в области «белой», промышленной, биотехнологии.**

В России имеются необходимые условия для развития собственного производства: значительное количество перспективных разработок, производственный потенциал, интенсивно растущий спрос на внутреннем рынке. Сейчас доля России в мировом производстве биотехнологической продукции составляет менее одного процента. При этом более половины приходится на производство лекарственных средств. С учетом импортных поступлений ежегодный объем потребления биотехнологической продукции в России составляет около 60 млрд. руб., что составляет менее половины потенциальной емкости рынка.

К наиболее значимым российским достижениям следует отнести разработку технологии биосинтеза полиоксиалканоатов – экологически чистых, термопластичных биополимеров, которые могут быть использованы для получения биоразлагаемых композитных пластиков, упаковки и изделий одноразового пользования; в сельском хозяйстве – систем медленного высвобождения удобрений и агрохимикатов; в медицине – лекарств пролонгированного действия, рассасывающих шовные нити, эндопротезов, плёнок для покрытия ран.

В настоящее время наиболее актуальным для России является решение одной из сложнейших стратегических задач промышленной политики в биотехнологии – повышение конкурентоспособности продукции. По мере ее решения будут формироваться и соответствующие условия выхода на желаемые целевые ориентиры: динамичное развитие конечного спроса на биотехнологическую продукцию при снижении импортозависимости внутреннего рынка и рационализации структуры экспорта и импорта; снижение затратности экономики производства.

Повышение конкурентоспособности тесно связано с активизацией инновационных процессов – внедрением инновационных технологий в производство, в том числе ресурсосберегающих, и расширением выпуска инновационной продукции, обладающей лучшими потребительскими свойствами и способной успешно конкурировать на внутреннем и внешнем рынке с зарубежными аналогами.

В первую очередь это касается таких групп препаратов, как иммуномодуляторы и иммунокорректоры, вакцины и сыворотки, биополимеры, пробиотики, биологические удобрения и препараты для очистки и биоремедиации загрязнённых почв и воды, для утилизации отходов нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплекса.

В Институте биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН и в Институте молекулярной генетики РАН созданы оригинальные лекарственные препараты пептидной природы: иммуностимулятор Ликопид, антистрессовый препарат Дельтаран, нейротропный препарат Семакс, противоопухолевый миелопептид-2 (Бивален) и противобактериальный миелопептид-4 (Серамил). Начата разработка нового класса препаратов направленного действия с условным названием бинарные иммунотоксины.

Препараты, разработанные институтами Уральского отделения РАН – Аллапинин (антиаритмик), Пефлоксацин (антибиотик) и Лизомустин (противоопухолевый), разрешены для медицинского применения. Доклинические и клинические испытания проходит Левофлоксацин – антибиотик для лечения туберкулёза.

В Тихоокеанском институте биоорганической химии Дальневосточного отделения РАН разработаны и производятся следующие препараты: Гистохром (антиаритмический) и Коллагеназа (ранозаживляющий).

Важным для отечественной медицины является получение генно-инженерного человеческого инсулина – Инсурана (Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН) и перорального инсулина (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева).

В области импортозамещения перспективы связаны с развитием отечественного производства биодженериков – воспроизводства оригинальных препаратов, срок патентной защиты которых истёк.

Изменяется ситуация на рынке биотехнологической продукции для пищевой промышленности. Этот сектор экономики развивается вполне успешно, переходя на передовые технологии, и все более нуждается в современной биотехнологической продукции (заквасках для йогуртов и других кисломолочных продуктов, чистых ферментных препаратов для подготовки суслу в пивоваренной промышленности и др.). Российские производители могут обеспечить потребности рынка лишь частично, в результате наблюдается активная экспансия на него зарубежных биотехнологических гигантов, таких как фирмы «Нова-Нордиск», «Эрманн», «Данон».

Фактором, отрицательно сказывающимся на позициях отечественных производителей на российском биотехнологическом рынке, является патентная экспансия иностранных компаний. Количество биотехнологических патентов, выдаваемых российским заявителям, лишь незначительно превышает аналогичный показатель для иностранных заявителей. Патентная экспансия предшествует, как правило, экспансии продуктов и технологий и служит целям завоевания рынка или сдерживания российских разработок в наиболее конкурентных областях.

Кроме того, она служит индикатором интереса иностранных компаний к быстрорастущему российскому рынку.

В соответствии с прогнозом, ёмкость российского рынка биотехнологической продукции должна увеличиться в 1,5 раза, при этом объёмы производства возрастут в 2,5 раза, объём поставок по импорту в 1,25 раза. Для реализации прогноза необходимо привлечение инвестиций в производство биотехнологической продукции в объёме 45 млрд. руб.

Ёмкость российского рынка ферментов для пищевой и лёгкой промышленности и производства моющих средств составляет около 4 млрд. руб., из них около 25% занимает продукция отечественных производителей. Степень удовлетворения потребностей рынка – примерно 40%.

Совокупный объём рынка пищевых и кормовых добавок, кормовых антибиотиков оценивается приблизительно в 5 млрд. руб. Степень удовлетворения потребностей рынка по пищевым добавкам – около 40%, до 27% по кормовым добавкам и 22-23% по кормовым антибиотикам. Доля отечественной продукции на рынке составляет 25-30%.

Основными видами продукции микробиологической и гидролизной промышленности являются: белок кормовой микробиологический, спирт и спиртосодержащая продукция из непищевого сырья, ферментные препараты, средства защиты растений, фурфурол, спирт фурфуроловый, кормовые антибиотики, кормовой лизин. Сырьём для производства продукции служат отходы лесоперерабатывающих предприятий, древесное крахмалосодержащее и сахаросодержащее сырьё.

В последние годы рядом предприятий микробиологической промышленности, наряду с традиционной продукцией, освоены новые, конкурентоспособные виды продукции, например, мультиэнзимные композиции. Коммерческий интерес к белку кормовому микробиологическому может быть восстановлен при использовании технологий его производства из целлюлозосодержащих материалов, молочной сыворотки и других промышленных отходов.

Гидролизная промышленность существует только в России. Используемые методы переработки лигноцеллюлозы, т.е. древесины, соломы, початков кукурузы и т.д. в сахара (кислотный гидролиз) экономически не выгодны. Создание технологии экономически оправданной переработки лигноцеллюлозы остаётся актуальной проблемой биотехнологии. Уже сегодня технический (топливный) спирт производится в количестве 15 млн. т. (Бразилия, США) по цене 400 \$ за тонну на базе пищевого сырья (сахар, кукурузный крахмал). Для России переход на сахара из лигноцеллюлозы откроет возможность производить более дешёвый спирт и растворители: ацетон, бутанол и др.

Био- и фоторазлагаемые полимерные материалы на основе различных крахмалов и крахмалосодержащих продуктов, технических лигнинов и белков, биопластмассы на основе полигидробутирата и полигидроксивалерата, акриламида, фурфурола,

фурфуролавого спирта и фурановых соединений для тонкого химического синтеза также являются продукцией микробиологической промышленности. Объем данного сегмента рынка, называемого «зелёная химия», составляет более 500 млн. руб., причём почти половина объёма рынка приходится на высоко конкурентоспособную продукцию отечественных производителей. Потребности рынка в продукции «зелёной химии» удовлетворяются примерно на треть.

Биогеотехнологии, основанные на использовании различных групп микроорганизмов, находят всё большее применение при очистке объектов окружающей среды от нефтяного загрязнения, используются для снижения концентрации метана в атмосфере угольных шахт, что является весьма актуальной проблемой, так как метан-воздушные смеси легко взрываются, что приводит к гибели людей, работающих в шахте, и к огромным материальным потерям.

Для России – страны, живущей преимущественно за счет продажи не возобновляемых ресурсов (нефти, газа, угля), особенно актуальными оказываются проводимые ИНИИ РАН исследования в области биогидрометаллургии – технологии бактериально-химического выщелачивания золота и цветных металлов из упорных руд, а также из отвалов горно-обогатительных предприятий.

На Олимпиадинской золотодобывающей фабрике организовано первое биотехнологическое производство и получено несколько тонн золота.

Проводятся исследования, направленные на создание комплекса биотехнологий для защиты окружающей среды – очистки почв от тяжелых металлов и пестицидов, переработки промышленных отходов и нефтяных шламов, очистки промышленных стоков и выбросов.

Потребности в продукции биогеотехнологии в настоящее время удовлетворены примерно на 35%, причём доля отечественной продукции превышает 50%.

В последние годы крупный и средний бизнес начал проявлять интерес к биотехнологии, прежде всего, к производству генно-инженерных лекарственных препаратов. В качестве примера можно привести строительство в Московской области высокотехнологичного комплекса по производству новых лекарственных форм и иммунобиологических препаратов на основе генно-инженерных субстанций, в инвестировании которого на долевой основе участвует ряд крупных компаний. Этот же консорциум финансирует и необходимые научные разработки, проводимые НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Габричевского, Государственным научным центром прикладной биотехнологии. Фирмой «Биокад» построено современное (в соответствии с GMP-стандартами) производство генно-инженерных дженериков медицинского назначения. Созданы производства отечественного рекомбинантного инсулина на базе ИБХ РАН и ОАО «Национальные биотехнологии» (г. Оболенск).

В настоящее время иностранные инвестиции в биотехнологию направлены в основном на создание современных научно-исследовательских центров. Примерами таких центров являются научно-исследовательское российско-японское предприятие «Агри», созданное на базе ГНЦ ГНИИГенетика с целью создания генно-инженерных штаммов микроорганизмов – продуцентов аминокислот, кормовых добавок и ООО «ХимРар», работающее в области ранних стадий разработки новых лекарственных препаратов.

Создание в России международных научно-исследовательских центров позволяет сохранить в стране высококвалифицированные научные кадры и научный потенциал. Однако, для реализации всех заложенных в таком сотрудничестве возможностей необходимо создание условий, способствующих формированию отечественных инновационных структур, способных использовать технологии этих научных центров для организации современных отечественных производств.

К числу основных барьеров развития современных биотехнологических производств в России следует отнести:

-отсутствие механизма трансфера технологий от лабораторного стола к малым фирмам;

- относительную неразвитость инновационной инфраструктуры и механизмов коммерциализации технологий, механизмов реализации эффективных программ развития производственных кластеров на региональном и местном уровне;
- неразвитость системы сбора статистической и маркетинговой информации об отечественном рынке биотехнологий, препятствующую росту спроса на продукцию российских предприятий и сдерживающую процесс привлечения прямых инвестиций;
- неразвитость отраслевых бизнес-ассоциаций, препятствующую эффективной самоорганизации отрасли;
- недостаточность рыночных знаний и навыков у большинства предприятий, выпускающих биотехнологическую продукцию, при низкой эффективности существующих государственных программ и институтов поддержки экспорта;
- ограничения, связанные с недостатками государственной системы профильного профессионального образования по количеству и качеству подготовленных кадров;
- ограничения, связанные с низкой эффективностью механизмов госзакупок в сфере фармацевтики;
- ограничения, связанные с нерешенными проблемами нормативно-правового регулирования.

Необходимость преодоления существующих ограничений в значительной степени определяет приоритеты государственной политики развития рынка биотехнологий в век биоэкономики, основанной на знаниях, в который, по мнению руководителей Общества биотехнологов России, наша страна уже вступила.

Сегодня Россия еще располагает всеми возможностями, чтобы не только включиться в глобальную биотехнологическую гонку, но и стремительно продвинуться по основным направлениям прорыва. Однако для реализации этих возможностей необходимо срочно предпринять ряд шагов.

Развитие биотехнологии должно быть признано приоритетом государственной политики со всеми вытекающими отсюда последствиями: адекватными формами организационной, финансовой и информационной поддержки как на федеральном, так и на региональном уровнях, законодательным обеспечением, стимулированием бизнеса и частно-государственного партнерства. Фактически, речь идет о национальном мегапроекте, в который должны быть интегрированы все ключевые структуры государства и общества. По своему масштабу и мобилизационному характеру его можно приравнять к ядерным и космическим программам недавнего прошлого.

Биотехнология как интегральная отрасль может стать базой для еще более успешного выполнения приоритетных национальных проектов.

Развитие сельского хозяйства в современных условиях немыслимо без агrobiотехнологии. Такая же востребованность - у отечественных лекарственных препаратов, не уступающих зарубежным аналогам. Это – прерогатива медицинской биотехнологии. Биоремедиация (очистка вод, грунтов и атмосферы с использованием потенциала биологических объектов), утилизация отходов и т.д – еще недавно далекие от общества проблемы, решаемые теперь в контексте экологического равновесия, - это признаки нарождающихся новых стандартов жизни человека, улучшения условий его существования.

В случае успешной реализации своего биотехнологического потенциала Россия через 10-15 лет сможет рассчитывать на:

1. Резкое ослабление зависимости от импорта жизненно важных медицинских препаратов
2. Обеспечение населения качественными продуктами питания отечественного производства
3. Прорыв в решении экологических проблем.
4. Развитие альтернативных источников энергии и сырья на основе возобновляемых биоресурсов

5. Существенное продвижение всей экономики по инновационному пути развития, создание новых рабочих мест и подъем экономически депрессивных регионов.

В целом, значение развития биотехнологий адекватно оценивается российским руководством. Об этом свидетельствует рост государственного участия в данном секторе, регулярное проведение конференций и форумов, посвященных данной тематике, наличие многолетней Федеральной целевой программы Роснауки и программ Российской академии наук и Российской академии медицинских наук. Перспективы развития биотехнологии в нашей стране предопределены наличием значительного российского научного потенциала, и возможностями агропромышленного комплекса.

#### 4.4. Биотопливо

Принципиально значимым и перспективным направлением мирового уровня является создание и применение **биотоплива**.

Энергетический кризис семидесятых годов привёл к возобновлению интереса к получению топлива и материалов из биоресурсов. В июле 2005 г обеспокоенность энергетическими и экологическими проблемами в связи с парниковым эффектом из-за выбросов и осознанием грозящей конечности запасов нефти была высказана в обращении академий наук ряда стран “Глобальная стратегия в ответ на изменение климата” к саммиту “Большой восьмёрки” в Глениглсе.

Историческим примером попыток получения нового вида топлива, синтетической нефти, являет собой Германия времен Второй мировой войны: к 1943 г. она довела долю синтетического топлива до 50% (36 млн барр. в год), а с учетом использования генераторного газа из древесины и бурого угля — до 61% в потреблении моторного топлива.

Анализируя ситуацию 2030 года, футурологи предсказывают, возрастание в топливном балансе доли неконвенционального жидкого топлива, в состав которого включают синтетическое топливо из угля и природного газа, тяжелую нефть, нефтяные пески и сланцы, а также биотопливо, доля которого в этом списке составит 16 %.

Международная энергетическая ассоциация (IEA) прогнозирует, что к 2030 г. мировое производство биотоплива увеличится до 150 млн т энергетического эквивалента нефти. Ежегодные темпы прироста производства составят 7-9%. В результате до 2030 г. доля биотоплива в общем объеме топлива в транспортной сфере достигнет 4-6%. Наибольшим будет прирост производства этанола, поскольку ожидается, что себестоимость его производства будет сокращаться быстрее себестоимости производства биодизеля.

Биотехнология предоставляет реальную возможность получения биотоплива путем использования возобновляемого сырья для производства биоэнергии и биоматериалов. Этим сырьем служит биомасса – мощный возобновляемый углеродно-нейтральный ресурс – сахар (глюкоза), крахмал (зерно, сахарный тростник) или целлюлоза (солома, опилки)

Биотопливо является ярким примером практического воплощения инновационных технологий в области альтернативной энергетики и представляет собой топливо, получаемое из биологической массы.

Согласно определению, утвержденному Директивой ЕС, биомасса – биологически разлагаемые компоненты продуктов и отходов сельского хозяйства (как растительного, так и животного происхождения), лесного хозяйства и связанных с ними производств, а также биологически разлагаемые компоненты промышленных и бытовых отходов

В самой простой интерпретации биотопливо — это топливо, получаемое в результате переработки стеблей сахарного тростника или семян рапса, кукурузы, сои. Возможно также получение биотоплива из целлюлозы и различного типа органических отходов. Эти технологии находятся в ранней стадии разработки или коммерциализации.

Различают жидкое биотопливо (для двигателей внутреннего сгорания, например, этанол, метанол, биодизель), твёрдое биотопливо (дрова, солома) и газообразное (биогаз, водород).

Биоэтанол в качестве биотоплива – это этиловый спирт, производимый из биомассы и/или биологически разлагаемых компонентов отходов.

Биодизель (дизельное биотопливо) представляет собой сложный метиловый эфир с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и используемый в качестве биотоплива.

Биодизель производится из любого растительного масла (или животного жира), которое можно закупать или производить из семян. Сырьём для производства биодизеля служат жирные, реже — эфирные масла различных растений или водорослей. В Европе — это рапс; в США — соя; в Канаде — канола (разновидность рапса); в Индонезии, на Филиппинах — пальмовое или кокосовое масла; в Индии — ятрофа; в Африке — соя, ятрофа; в Бразилии — касторовое масло. Также применяется отработанное растительное масло, рыбий жир и т. Уникальным преимуществом биоэтанола и биодизеля состоит в том, что их использование (как единственного вида возобновляемого жидкого топлива) в качестве добавки к автомобильному топливу не требует изменения конструкции двигателей.

Лидером освоения производства биотоплива выступили США. Департамент энергетики (DOE) поставил задачу заменить до 2025 г 30% используемого жидкого моторного топлива, получаемого из нефти, на биотопливо, а также заменить 25% промышленных химических органических продуктов на аналогичные химические продукты, получаемые из биомассы

В настоящее время в США около 2% потребляемого моторного топлива составляет биоэтанол, получаемый в основном из кукурузы; ещё ~0,01% приходится на биодизельное топливо.

В США принят закон «О сельском хозяйстве», где указано, что создание биоэтаноловых заводов – национальная задача, а государственные учреждения страны обязаны использовать биотопливо. Поддержкой обеспечиваются масштабные исследования по переработке биомассы в биоэтанол в партнерстве государственного и частного секторов. В августе 2005 г. президент США Дж. Буш подписал закон об энергетической политике («Energy Policy Act»), предусматривающий субсидии и налоговые льготы производителям этанола

Принятая в 2003 г. Европейским Союзом директива 2003/30/ЕС (“Директива о биотопливе”) поставила перед Европой задачу уже к 2005 г. перевести на биотопливо 2% транспорта на бензиновых и дизельных двигателях; к 2010 г. доля транспорта на биотопливе должна возрасти до 5,75%. Принятие этой директивы также было вызвано обеспокоенностью неустойчивостью поставок энергоресурсов и состоянием окружающей среды, а также необходимостью удовлетворения требованиям Киотского протокола.

В Европе принята программа доведения доли биотоплива до 5,75% к 2010 г. (1,4% в 2005 г.). К этому времени потребление в Европе автомобильного топлива из возобновляемого сырья (биоэтанол и биодизель) вырастет с 7 млн т до 15 млн т, при этом инвестиции на строительство 40 новых заводов биодизеля и 60 заводов биоэтанола до 2010 г. составят, по крайней мере, 4 млрд. долл.

В Германии 100% биодизель продают около 2000 заправок. Через 15 лет намерена полностью отказаться от нефти в пользу биоэнергетики Швеция, где уже сейчас каждая заправка, продающая более 4 млн л бензина в год, обязана иметь колонку топлива E85 (85% биоэтанола и 15% бензина).

Активное использование возобновляемых источников энергии из сельскохозяйственного сырья наблюдается в США, Японии, Бразилии, Китае, Индии, Канаде, странах ЕС. Во многих странах (даже в нефте- и газэкспортирующих) созданы специальные органы исполнительной власти, координирующие реализацию программ в области производства альтернативной энергии.

На территории бывшего СССР первый в странах СНГ завод топливного биоэтанола запущен в Казахстане в сентябре 2006 г., строятся еще несколько заводов, а правительство страны разрабатывает госпрограмму по биоэтанолю и биодизелю

На Украине действует закон, стимулирующий производство моторных бензинов с добавками биоэтанола (реформулированные бензины), при этом акциз на такие топлива в 2007 г. был снижен с 60 евро/т до 30 евро, а так же установлена нулевая ставка акцизного сбора на топливный биоэтанол, производимый на украинских заводах

Исторически «наступление» на биотопливо развивается неритмично, что обусловлено динамикой экономических оценок.

Первое поколение биотоплива получали из зерна.

Инициатором использования биоэтанола в США стала администрация Дж. Буша. Были приняты соответствующие законодательные акты. В результате определенная часть зерновых, в частности кукуруза, стала использоваться для производства топлива. По сравнению с 1944 г. площади кукурузы в США достигли своего максимума - около 40 млн га. За один только прошлый, 2007 г., они выросли на 15%.

Если установка Белого дома на то, чтобы производство этанола в США в 2008 г. удвоилась, а в перспективе до 40% выращиваемой кукурузы превратилось в топливо, то мир столкнется с серьезными продовольственными трудностями.

В мировом сообществе нарастает недовольство, т.к. трудно себе представить, как человечество может производить такое количество зерна, чтобы его хватило и на продовольствие.

В настоящее время численность населения Земли составляет 6 млрд человек. К 2030 г. человечеству потребуется продовольствия на 50% больше, чем сегодня.. Уже сейчас биотопливо из зерна вызывает резкий рост цен на продовольствие. Вместе с тем активный переход на биотоплива означает, что больше пахотных земель придется выделить на нужды «зеленой энергетики», а не на производство продовольствия.

Естественно, что биотопливо в ближайшей перспективе не сможет полностью заменить нефтяное топливо. Для производства биоэтанола в требуемом количестве просто не хватит зерна.

Вторым поколением становится биотопливо из целлюлозного этанола, сырьем для которого служат непищевые остатки (солома, трава и опилки). Производство биоэтанола из них не ставит под угрозу пищевой баланс: энергия биомассы (целлюлозы) высвобождается с помощью сконструированных ферментов, расщепляющих ее на простейшие сахара.

Учитывая постоянный избыток целлюлозы, полученный этанол вполне может обеспечивать энергию для мотора так же эффективно, как и бензин. В то же время себестоимость производства целлюлозного этанола остается выше себестоимости биоэтанола зернового.

Нарождающийся рынок биотоплива в России еще молод и не защищен. Тем не менее, в стране идет процесс формирования общественного мнения о биотопливе как о разумной и экологически чистой альтернативе традиционным видам топлива.

По целому ряду оснований Россия имеет большой потенциал в производстве биотоплива обоих видов.

Большая часть экспортированного Россией зерна идет на корм для животных или как раз на производство биоэтанола в Европе.

В настоящее время в России не используются 20 млн га продуктивной пашни. Это означает, что отечественное сельское хозяйство может легко поднять производство зерна на 20 млн т, что достаточно для производства 7 млн т биоэтанола.

По мнению аналитиков, после появления коммерчески привлекательных технологий производства биоэтанола из биомассы важную роль могли бы играть специальные

площади быстрорастущих растений (ива, тополь, мискантус), расположенные в теплом поясе России.

Сибирь с ее запасами биомассы станет важным, но не основным источником сырья для таких заводов, поскольку отсутствие инфраструктуры способно сильно удорожать стоимость продукции. Большим преимуществом России в получении биотоплива из целлюлозы является наличие огромных лесных массивов лесов на территории.

По мнению ряда экспертов, правильная, рациональная вырубка леса с целью его переработки в биотопливо, сопровождаемая мероприятиями по лесовосстановлению, не принесет серьезного экологического ущерба, т.к. старый лес таит в себе угрозу пожаров, грибковых инфекций и т.д.. Перестойный лес является слабым производителем кислорода. В целом, существенной проблемой остается действующий в нашей стране налог (акциз) на этанол в любом виде (в отличие от стран ЕС), что делает невозможным развитие внутреннего рынка.

Тем не менее, Россия сможет прочно занять место поставщика биомассы и продуктов ее переработки на мировой рынок, при этом плантации биоэнергетических культур (рапс, кукуруза, быстрорастущие культуры в качестве биомассы) могут занять ныне пустующие площади Нечерноземья.

По прогнозу, биотопливом третьего поколения станут топлива, полученные из водорослей.

В целом, по сравнению с Европейскими странами, Россия имеет ряд преимуществ в области создания биотоплива, благодаря наличию больших посевных площадей, возможности реализации на своей территории полного цикла производства биотоплива. Целенаправленное и научно обоснованное построение отечественной политики в данной области может предопределить энергетическую зависимость Европы не только от российской нефти и газа, но и от биотоплива. Это осуществимо только при своевременном обеспечении отечественных производителей в данной области и создания производственно-технологических цепочек с защищенной интеллектуальной собственностью.



## 5. Машиностроительные технологии

Для успешной модернизации и диверсификации промышленного потенциала принципиальное значение имеют развитие машиностроительных технологий.

В области общемашиностроительных технологий основными тенденциями мирового и отечественного развития на перспективу до 2020-2030 гг. являются:

- ориентация на выпуск конечной продукции – готовых изделий;
- отход от традиционной схемы технологического процесса «материал – заготовка – деталь» к совмещенным процессам получения материала с одновременным формированием детали и ее свойств, когда совмещаются функции технологии и материаловедения;
- совершенствование существующих и разработка новых технологий на основе использования высоких температур, давлений, различных рабочих сред, методов обработки и т.п.;
- совмещение технологических процессов во времени и пространстве (одновременная обработка на одном операционном поле).

В целом, по машиностроению ожидается:

- широкое применение малоотходных и безотходных технологических процессов, обеспечивающих снижение расхода материальных, трудовых, энергетических и других ресурсов;
- становление и развитие новых направлений в технологии: лучевых, импульсных, радиационных;
- формирование сектора нанотехнологий;
- быстрое развитие искусственного интеллекта технологии, позволяющего моделировать все особенности и характеристики технологических процессов резания, формообразования, литья, сварки, сборки, и др., включая процессы переработки многофазных (твердых и жидких) сред, гетерогенных материалов и ультрадисперсных (аморфных) порошков, а в будущем – изготовление деталей из многослойных материалов, а также материалов на основе однокристалльного волокна.

Это позволит разработать и реализовать новые принципы технологической наследственности материалов, деталей и конструкций в системе автоматизированного производства с гарантированным уровнем качества и надежности.

Дальнейшее совершенствование традиционных технологий приведет к интенсификации процессов обработки. Возрастет удельный вес электрохимических, электрофизических методов получения покрытий и пленок для размерной обработки. Ожидается широкое использование высокоскоростной прецизионной обработки деталей на станках, применение многооперационной обработки с использованием многофункциональных станков, освоение технологий газостатирования отливок из различных сплавов, промышленное производство ультрадисперсных порошков для создания новых материалов и покрытий.

Получит дальнейшее развитие моделирование тепловых процессов, использование экспериментальных стендов для обеспечения оптимизации режимов большого числа технологических процессов изготовления и испытаний конструкций и машин.

Развитие технологий машиностроения требует совершенствования сборки как заключительного и определяющего этапа производственного процесса, обеспечивающего технические характеристики изделий и их качество. Основным направлением прогресса современного сборочного производства является создание такой организационно-технической структуры производства, которая обеспечивала бы возможность быстрой ее перестройки на выпуск новых изделий. Этим требованиям отвечают производственные системы и интегрированные производственные комплексы, образованные сетевым соединением станков и приборов, отличающихся гибкостью, безопасностью и

эксплуатационными качествами и предусматривающие широкое использование IT-технологий.

В области электро-физико-химических и комбинированных методов обработки материалов наибольшее развитие получают электроэрозионный, электрохимический, ультразвуковой и лазерный виды обработки, которые обеспечат возможность:

- использования труднообрабатываемых материалов;
- обработки полостей и отверстий сложной конфигурации в труднодоступных местах;
- изготовления миниатюрных деталей с высокой точностью.

Анализ перспектив создания новых конструкционных материалов показывает, что для широкого применения полимерных, композитных и нано материалов, конструкционных и антифрикционных пластиков в изделиях массового производства необходимо:

- расширение ассортимента композитных материалов как по виду наполнителя, так и по его содержанию на базе различных отечественных крупнотоннажных термопластов и реакторопластов;
- создание негорючих, высокопрочных материалов, тепломорозостойких и других композитных материалов со специальными свойствами;
- создание композитных материалов, позволяющих осуществлять их переработку на обычном оборудовании для переработки пластмасс;
- организация выпуска композитных материалов и их переработки в крупногабаритные корпусные детали.

На основании проведенных исследований композитных материалов на металлической основе в качестве приоритетных разработок рекомендуются технологические процессы получения заготовок на основе алюминиевых и титановых сплавов.

Анализ показывает, что **в ряде областей проблем технологии машиностроения** отечественная наука находится на уровне или опережает зарубежные достижения в части теоретических разработок технологии машиностроения.

На уровне, опережающем зарубежные достижения, ведутся работы по созданию научных основ технологии формирования сложнопрофильных изделий без использования штамповой оснастки, по разработке наноматериалов и наноструктурированных материалов, по созданию методов и средств неразрушающего контроля и диагностики изделий машиностроения.

Разрабатываются новые принципы анализа сигналов акусто-эмиссионной и голографической диагностики, позволяющие существенно повысить информативность и создать средства диагностики, мониторинга и аварийной защиты превышающие по своим параметрам зарубежные аналоги.

Наметились положительные сдвиги в разработке методологии создания интегрированных ГПС металлообработки со сквозной автоматизацией технологической подготовки производства, обеспечивающей минимизацию себестоимости деталей за счет оптимизации параметров заготовки, режимов обработки, минимизации цикла производства и автоматизации проектирования.

Разрабатываются новые технологические процессы и аппаратура электроимпульсного получения порошковых материалов (в том числе, химически чистых веществ) с заданными физико-химическими свойствами в широком диапазоне дисперсности и требуемой структуры, что опережает зарубежный уровень.

Вместе с тем имеется ряд областей, где отечественная наука существенно отстает от зарубежной. Так, например, в Японии весьма интенсивно ведутся работы по созданию машин и механизмов, основанных на применении сплавов с эффектом запоминания формы, а также аморфных и мелкокристаллических сплавов, обладающих уникальным сочетанием различных свойств. Аналогичные работы в России проводятся недостаточными темпами, особенно в части прикладных исследований и промышленного использования полученных результатов.

Медленно развиваются работы в сфере научных основ создания деталей методами порошковой металлургии, практически отсутствуют работы по порошковым сплавам с высоким содержанием азота, обладающими высокой прочностью и стойкостью против окисления и коррозии. Мало уделяется внимания получению аморфных сплавов методом взрывного компактирования металлических порошков, обеспечивающих быстроту процесса консолидации без рекристаллизации материала (подобные работы ведутся в ФРГ).

В промышленно развитых странах мира продолжается бурное развитие работ в области новых керамик. Лидером признается Япония и несколько отстающие от нее США. Отставание России значительно и продолжает увеличиваться.

Отечественные исследования по проблемам технологии размерной обработки различными физико-химическими методами находятся на недостаточно высоком уровне. Низкими темпами ведутся исследования и разработки высокоэффективных технологий и оборудования для производства сборных машиностроительных конструкций, что приводит к отставанию в этом классе технологических процессов.

Отстают от зарубежных достижений работы по созданию технологии, материалов и оборудования для нанесения защитных и упрочняющих покрытий вакуумным и ионно-плазменным методом на детали машин, режущий инструмент и др. изделия.

В ведущих индустриальных странах большое развитие получил класс новых технологий, основанных на принципах обработки концентрированными потоками энергии.

В России наметилось отставание в разработке научных основ создания и внедрения промышленных технологий лазерного модифицирования рабочих поверхностей деталей машин.

В странах технологического ядра высок удельный вес интегрированных автоматизированных производств, включающих этапы конструкторско-технологической подготовки производства. В России автоматизация производства пока находится на стадии «островков автоматизации». По расчетам специалистов из США и Японии, для разработки и внедрения системы интегрированного автоматизированного производства фирме требуется 5-10 лет, и российским фирмам в этих условиях будет в скором времени трудно обеспечивать конкурентоспособность своей продукции на внешних и внутреннем рынках.

По имеющимся экспертным оценкам тематика отечественных научных исследований содержит практически все основные разделы машиностроительных технологий от теоретических фундаментальных основ технологии до практических вопросов автоматизации сборки узлов и машин. При этом основная масса тематических работ по научной направленности и поставленным задачам совпадает с проблемами, исследуемыми в передовых странах мира. Научный уровень выполняемых отечественных исследовательских работ в области фундаментальных проблем технологии машиностроения в основном соответствует уровню зарубежных достижений. Прикладные исследования и разработки отстают от мирового уровня.

Так, по данным организаций-исполнителей научно-исследовательских работ, из всего количества научных исследований 64% находятся на уровне мировых достижений, 10% отстают и 26% опережают его.

В связи с отмеченными тенденциями мирового развития общемашиностроительных технологий основные исследования в области проблем отечественных технологий целесообразно направить на:

- замену традиционной схемы технологического процесса «материал – заготовка – деталь» совмещенным процессом получения материала с одновременным формированием детали, иными словами, совмещение функций технологий и материаловедения и переход на новую схему «конструкция – материал – заготовка – технологический процесс – оборудование – деталь»;

- развитие существующих и разработку новых технологий с использованием высоких и криогенных температур, высоких и импульсных давлений, вакуумных, ионных и других рабочих сред, ультразвука, ионизирующих радиационных излучений (в том числе в условиях космоса), высоких скоростей обработки, электрохимических и электрофизических методов;
- широкое внедрение волновой и вибрационной технологий при производстве металлов и сплавов (рафинировании сталей, управлении процессами кристаллизации), обработке деталей (упрочнении, закалке, очистке, мойке, сушке).
- интенсивное применение износостойких и антифрикционных покрытий, наносимых вакуумным и ионно-плазменным методами, использование лазерной обработки и других производительных методов поверхностного упрочнения.
- широкое внедрение лазерной технологии для раскроя, термообработки и сварки металлов.
- создание и широкое внедрение мало- и безотходных технологий получения монокристаллических деталей, обеспечивающих снижение материальных, энергетических, трудовых и других ресурсов.
- Разработку и реализацию принципов технологической наследственности материалов и деталей машин с заранее заданными свойствами и гарантированным уровнем их качества и надежности.
- развитие фундаментальных исследований, прикладных разработок и специальных программ.

В отдельных областях технологии машиностроения должны быть решены следующие задачи.

В металлорезании: повышение концентрации технологического процесса за счет выполнения на одном станке разнохарактерных операций (точения, фрезерования, сверления, растачивания и др.), а также совмещенной обработки нескольких поверхностей детали одним шлифованным кругом; расширение области применения скоростного резания, скоростного чернового и чистого шлифования, непрерывного протягивания поверхности вместо фрезерования; широкое внедрение комбинированных процессов обработки, основанных на совмещении механического воздействия с тепловыми, химическими, электрическими видами обработки. Это потребует разработки металлообрабатывающих станков агрегатно-модульного типа для комбинированной обработки (лезвийной, абразивной, отделочно-упрочняющей, термической, электрохимической), обладающих иммунитетом против термической деформации.

В литье: широкое внедрение методов, основанных на использовании высококонцентрированных источников тепла (сжатая электрическая плазма, дуга, электронный луч, ток высокой частоты), вакуума и контролируемых сред, высокоинертных огнеупорных литейных форм; применение методов управления тепловыми и силовыми полями при формировании отливки (литье под давлением, направленным затвердеванием, центробежное с применением электромагнитных насосов) и эффекта вибрационного воздействия при кристаллизации на структуру и свойства сплава; повышение плотности и улучшение механических характеристик отливок за счет их обработки в газостатах.

В пластической деформации: расширение области применения магнитной штамповки, поковок и штамповки на стадии кристаллизации металла, прецизионного проката, а также методов, основанных на использовании энергии взрыва, высоковольтных разрядов в жидкости, импульсного нагружения и деформирования в состоянии пластичности.

В сварке: широкое применение таких методов обработки, как ультразвуковой, электронно-лучевой, плазменный, лазерный, обработка световым лучом и трением термопластичных материалов, контактная сварка и пайка. Исследования в области сварки будут направлены на улучшение свариваемости металлов, повышение прочности и

работоспособности сварных соединений, развития моделирования процессов сварки и резки металлов.

В материаловедении: создание широкого спектра композитных материалов на металлической и полимерной основе, благодаря которым происходит значительное снижение массы машин при обеспечении их высокой надежностью.

На основе проведенных исследований будут разработаны:

- теоретические основы получения новых конструкционных материалов и технологических процессов, включая материалы с заданными свойствами;
- системы управления процессами формирования биметаллических и многослойных отливок с применением внешних физико-химических воздействий, выбора оптимальных параметров малоотходной технологии непрерывного литья фасонных заготовок для машиностроения;
- теоретические модели и методы расчета поведения композиционных материалов при различных условиях эксплуатации, прогнозирования их работоспособности, автоматизации проектирования изделий и обеспечения их надежности;
- технология получения аморфных мелкодисперсных порошков, волокон и способы их переработки в изделия;
- керамические, полимерно-керамические и композиционные материалы на основе углеводородных волокон, тугоплавких литейных и высокотермостойких полимеров;
- расчетно-нормативная база, включающая программное обеспечение, технические регламенты, руководящие методические документы и средства контрольно-диагностического оборудования.

В разработках проблем машиностроения должны активно использоваться результаты создания и развития следующих критических технологий:

- Технологии биоинженерии.
- Технологии механотроники и создания микросистемной техники.
- Технологии производства программного обеспечения.
- Технологии создания и обработки полимеров и эластомеров.
- Технологии создания новых видов транспортных систем и управления ими.
- Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем.

**Следует отметить, что проводимые в России работы по оптимальному проектированию машин соответствуют мировому уровню в части теоретических исследований и разработки общих подходов.** Однако реализация их результатов сильно тормозится отсутствием вычислительных комплексов большой мощности с соответствующим программным обеспечением, необходимым для построения моделей и идентификации параметров в многокритериальной оптимизации, а также нехваткой современной контрольно-измерительной аппаратуры, в частности экспертных систем технической диагностики. Без наличия такой вычислительно-экспериментальной базы трудно рассчитывать на успехи в оптимальном проектировании машин.

Создание интегрированных автоматизированных производств тесно связано с разработкой теории и методов управления машинами и системами машин, механизмов и машин автоматического действия, в том числе с переменными параметрами и структурой, и методов их исследований, гибких автоматизированных систем машин, роботов и робототехнических комплексов, роторных и роторно-конвейерных линий. Основной тенденцией развития в этой области является создание производственных систем, образованных сетевым соединением станков и приборов, отличающихся гибкостью, безопасностью и высокими эксплуатационными качествами. Для таких систем, наряду с решением отдельных частных задач, актуальны разработка принципов и систем многоуровневого управления, создание современных методов и средств измерения,

контроля состояния технологических процессов и исполнительных механизмов, а также создание компьютерных сетей.

Отечественные работы по виброизоляции и защите от шума соответствуют мировому уровню, однако заметно уступают зарубежным в части реализации их результатов и совершенства экспериментально-вычислительной базы.

Следует отметить, что по научному уровню теоретические работы в области теории машин и систем машин, в основном, не уступают зарубежным достижениям. Из общего количества проводимых в нашей стране научных исследований 58% находятся на уровне мировых достижений, 20% - опережают и 20% отстают от них.

**Промышленная робототехника.** Несмотря на важность автоматизации, как магистрального направления повышения эффективности производства, темпы, **технический уровень и степень использования промышленной робототехники** не в полной мере удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к автоматизированным производствам. Переход от роботов с системами управления, выполняющими узкий диапазон функций, к роботам с универсальными системами управления и широким использованием вычислительной техники происходит крайне медленно.

Масштабы проводимых исследований не в полной мере соответствуют актуальности решаемых проблем. По ряду таких проблем, как эргономика, диагностика, вычислительные и управляющие процессы и другим, количество проводимых тематических работ недостаточно для их успешного решения.

По имеющимся оценкам временной лаг между фундаментальными исследованиями в области робототехники и внедрением их результатов в российское производство составляет около 8 лет, то есть является достаточно большим и не способствует ликвидации имеющегося отставания в такой динамичной области как промышленная робототехника.

Научный уровень проводимых теоретических исследований, в целом, не уступает зарубежным достижениям. Из общего объема тематических работ 60% не уступают зарубежным достижениям, 15% - отстают и 25% - опережают их. Более 90% работ по своим целям и задачам совпадают с аналогичными исследованиями в передовых странах, что свидетельствует об их высокой актуальности.

**Создание и функционирование макро- и микроробототехнических, мехатронных комплексов будет предусматривать:**

- разработку принципов создания робототехнических систем для выполнения работ в условиях вредных и опасных для человека или в условиях несовместимых с его пребыванием, в том числе для работы под землей, в условиях космоса и в условиях повышенной радиации;
- разработку научных основ и принципов построения робототехнических систем для обеспечения новых видов энергетических установок и для проведения поиска и аварийно-спасательных работ;
- создание новых высокоэффективных малогабаритных источников энергии для использования в робототехнических системах;
- разработка высокомоментных, низкоскоростных и малогабаритных приводов и систем управления приводами на база микропроцессоров, в том числе систем с переменной структурой;
- создание высокоинформационных датчиков о внешней среде с предобработкой в реальном времени и датчиков о состоянии самого робота (высоконадежных, малогабаритных, цифровых датчиков положения, ускорения, моментов); разработку новых принципов использования микропроцессоров для обработки информации с датчиков в робототехнических системах с одновременной организацией управления движением в реальном времени;

- разработку медицинского робота для выполнения техник массажа и мануальной терапии.

**Биомеханика и эргономика машин.** Интенсивные исследования в области **биомеханики** ведутся практически во всех развитых странах. В США, ФРГ, Японии, Канаде, Италии действуют специализированные научно-исследовательские институты. Существует также широкая сеть лабораторий биомеханики в большинстве ведущих университетов США и европейских стран, в крупных промышленных объединениях и клиниках. Активно функционируют Международные и Европейские общества биомехаников, ряд национальных обществ, объединяющих биомехаников более узкого профиля.

Некоторые из направлений биомеханических исследований развиваются за рубежом особенно интенсивно (в частности, эргономическая и медицинская биомеханика). В большой мере это связано с быстрой окупаемостью затрат на проведение результатов исследований вследствие увеличения производительности труда, снижения уровня производственных заболеваний и травм, повышения эффективности методов диагностики и лечения.

По имеющимся оценкам значительное количество тематических работ (90%), ведущихся в России, по целевой направленности совпадают с аналогичными исследованиями, проводимыми в других странах. Однако в настоящее время следует отметить отсутствие общей стратегии развития научных исследований по проблемам биомеханики на длительный период. Выявленная тенденция не может не отразиться на реализации результатов научных исследований.

Научный уровень отечественных теоретических исследований в области биомеханики в целом не уступает зарубежным, по заключениям экспертов, из общего количества тематических работ, на уровне мировых достижений находится 70%, отстает – 15% и опережает их – 15% работ.

Для успешного решения основных проблем биомеханики целесообразно предусмотреть расширение фронта работ в этой области на базе создания научно-исследовательской организации, объединяющей специалистов по важнейшим вопросам биомеханики и способствующей внедрению разработок в различные отрасли народного хозяйства.

Теоретические исследования и прикладные разработки до 2030 г. в области **биомеханики** будут развиваться нескольких направлениях.

Первое направление связано с изучением биомеханики движений человека и других живых организмов. Сюда, в частности, относятся:

- создание реологических моделей движения биологических жидкостей и газов с учетом физико-химических процессов;
- исследование моделей биомеханики процесса дыхания и системы кровообращения;
- исследование биомеханики искусственного сердца, искусственных полимерных аортальных клапанов и кровеносных сосудов;
- исследования механического поведения биологических тканей при силовом, электрическом, магнитном и других видах физического воздействия, а также механического поведения мягких и жестких биологических тканей при различных видах статического и динамического нагружения;
- разработка композитных материалов для замещения пораженных жестких биологических тканей;
- исследование двигательной активности биомеханических систем, биомеханика ходьбы, бега, ползания, полета, плавания и других движений живых организмов;
- разработка биомеханических аспектов протезирования, спортивная биомеханика;
- разработка математических методов описания биомеханических явлений.

Второе направление развития биомеханики связано с исследованиями в области эргономики, а также быстро развивающейся биомеханики систем «человек – машина –

среда». Исследования в рамках данного направления позволяют полнее учитывать биологические и биомеханические особенности организма человека при конструировании современных технических систем, многообразие и специфику факторов воздействия на него со стороны машины и окружающей среды, а также комплексные особенности функционирования названных систем. Представляется перспективным развитие работ по моделированию движений тела человека-оператора и разработке систем автоматизированного проектирования рабочих мест с учетом биомеханики движений тела человека. В ходе исследований изучаются и учитываются в устройствах виброзащиты биомеханические особенности тела человека-оператора в различных рабочих позах и условиях трудовой деятельности. Выработанные на основе результатов указанных исследований методические рекомендации позволят значительно улучшить существующие системы виброзащиты человека-оператора, повысить работоспособность, безопасность и комфортность труда оператора как «звена управления» в системе «человек-машина». Перспективными представляются:

- анализ биомеханических характеристик опорно-двигательного аппарата человека и животных, физиологических процессов, лежащих в основе управления произвольными и автоматизированными движениями, изучение роли вестибулярной, зрительной, слуховой и кинестетической информации в пространственной ориентации и обеспечении устойчивости;
- анализ и синтез виброзащитных схем в системах «человек – машина – среда», включая развитие методов синтеза нелинейных систем с многозвенными системами управления с учетом ограниченности источников энергии;
- исследования оптимальных рабочих режимов с учетом динамических свойств человека-оператора, поведения оператора при вибрационных помехах, влияния вибраций на точность ручного управления.

Более актуальными до 2030 г. следует считать исследования по изучению поведения сложных биологических систем и механизмов. В долгосрочной перспективе ожидается, что развитие теоретических основ биомеханики позволит начать разработку развивающихся структурных систем и самовоспроизводящихся и самоорганизующихся приспособлений вследствие объяснения биологических механизмов (например, гомеостатика и гомеодинамика, в том числе аутоцитотический контроль и внутриклеточные реакции). В дальнейшем это приведет к созданию и широкому использованию биопроизводств, представляющих собой технологию производства материалов и живых организмов, полезных человеку, в результате включения живых организмов или их строительных блоков в компоненты производственных процессов) в различных отраслях промышленности.

Также прогнозируется, что широкое применение биомеханики в промышленности на основе технологии изучения и имитации функций и механизмов, присущих живым организмам позволит создать синтетическим путем более совершенные системы.

Важнейшие исследования в области биомеханики будут направлены на решение следующих проблем:

- изучение характеристик движения человека в условиях трудовой деятельности;
- моделирование систем «человек-машина» в различных условиях, включая экстремальные;
- развитие теоретических основ биомеханики и методов оптимизации биомеханических систем;
- разработку современных методов и средств экспериментальных исследований в области биомеханики на основе последних достижений в приборостроении.

В прогнозах развития машиноведения и машиностроения до 2030 г. большое внимание будет уделено таким важным научным направлениям, как:

- создание реологических моделей движения биологических жидкостей и газов с учетом физико-химических процессов; исследование моделей биомеханики процесса



дыхания и системы кровообращения; исследование биомеханики искусственного сердца, искусственных полимерных аортальных клапанов и кровеносных сосудов;

- исследования механического поведения биологических тканей при силовом, электрическом, магнитном и других видах физического воздействия, а также механического поведения мягких и жестких биологических тканей при различных видах статического и динамического нагружения;

- разработка композитных материалов для замещения пораженных жестких биологических тканей;

- исследование структуры двигательной активности биомеханических систем, биомеханика ходьбы, бега, ползания, полета, плавания и других движений живых организмов;

- разработка биомеханических аспектов протезирования; спортивная биомеханика;

- разработка математических методов описания биомеханических явлений.

**Энергоемкость машин и машинных комплексов.** Энергоемкость объектов отечественного машиностроения в настоящее время на 10-15% уступает соответствующим показателям зарубежных машин и машинных комплексов.

В нашей стране ведутся разработки энергоаккумулирующих и энергосберегающих систем хранения небольшого объема, главным образом, для автотранспорта. Несмотря на практическую одновременность завершения фундаментальных исследований водородно-гидридных систем, объем ОКР и промышленных разработок за рубежом более значителен, чем в России.

Опытные образцы отечественных аккумуляторов водорода по своим характеристикам уступают лучшим серийным изделиям ведущих фирм США, ФРГ, Японии.

Наиболее эффективным и экономичным способом хранения водорода, кислорода, природного газа является перевод их в жидкое (криогенное) состояние. Это связано, в частности, с тем, что криогенные системы хранения наиболее приемлемы для транспортных средств и позволяют увеличить время работы между отдельными заправками.

Большое народнохозяйственное значение имеет вопрос использования водорода и природного газа в транспортных и стационарных энергоустановках, оснащенных тепловыми двигателями.

Интенсивные работы в области применения водорода в качестве моторного топлива, начатые в 70-х годах, к настоящему времени вышли на стадию экспериментальных и опытных образцов бензоводородных и водородных автомобилей. За рубежом передовые позиции в этой области занимают ФРГ и Япония, причем в ФРГ достигнуты наибольшие успехи, позволяющие начать широкомасштабное использование водорода уже в 1991-1995 гг. В этих странах указанные разработки ведут более 20 компаний и около 30 научно-исследовательских институтов. Между правительством ФРГ и известными автомобилестроительными фирмами подписаны многомиллионные соглашения о выполнении НИОКР по созданию ДВС с впрыском водорода в цилиндры.

В нашей была разработана техническая документация на переоборудование микроавтобусов для питания бензоводородной смесью. Опытная партия таких микроавтобусов к началу 90-х годов прошла опытную.

Наибольшие успехи в создании и использовании водородных энергоустановок получены в ракетно-космическом комплексе и авиационной

Для расширения сферы применения водорода в народном хозяйстве, требуется совершенствование энергосберегающих технологий его получения, хранения, переработки и создания высокоэффективных устройств для ее реализации.

Технические возможности термосорбционных теплоэнергетических установок, способ работы которых базируется на свойствах обратимых металлгидридов поглощать водород низкого давления и выделять его при нагреве под повышенным давлением, открывают

принципиально новый путь в технологии его очистки и активации, исключающий использование электрической и механической энергий.

Металлогидридная техника может коренным образом изменить структуру энергопотребления при энерготехнологической переработке водорода, что позволит вовлечь в сферу промышленного освоения вторичные энергоресурсы предприятий различных отраслей промышленности. Разработке отдельных аспектов указанной проблемы (физико-химических, термодинамических, теплофизических, технологических) уделяется значительное внимание во всех промышленно развитых странах (США, Японии, ФРГ, Франции, Голландии, Канаде и др.).

Отдельные образцы металлогидридной техники выпускаются малыми сериями. Сравнение технического уровня отечественных образцов с зарубежными аналогами показало, что по основным технико-экономическим характеристикам (затраты энергии на сжатие водорода, металлоемкость, удельный объем, чистота водорода) они соответствуют мировому уровню, а по универсальности даже превосходят его.

Принципиальным достижением отечественной науки в рассматриваемой области является установленная возможность генерации водорода в энергетически возбужденном состоянии, что открывает широкие перспективы в химической технологии, металлургии, радиоэлектронике и других системах.

В ближайшей перспективе возможно проведение НИР и ОКР по созданию металлогидридной техники целевого назначения для экологически чистых производств в рамках совместных предприятий.

Временной лаг между фундаментальными исследованиями и практической реализацией их результатов составит в среднем 10-15 лет. Даже учитывая новизну и сложность решаемых проблем, этот срок следует считать неприемлемым.

**Развитие механики и техники использования энергоаккумулирующих веществ и технологий** до 2030 будет направлено на удовлетворение общих растущих потребностей в энергии, снижение энергопотребления в производстве и жизнеобеспечении. Оно будет включать в себя исследования в области повышения эффективности использования традиционных видов энергоносителей, а также использование новых нетрадиционных ее источников, таких как энергия Солнца и ветра, тепловая энергия океана, термоядерная и геотермальная энергия, трансформацию отходов энергии и энергосодержащих веществ и процессов и т.д. Следует, однако, отметить, что ни один из известных нетрадиционных источников энергии пока и в перспективе до 2030 г. не может в полной мере заменить ископаемые виды топлива: некоторые из них способны вырабатывать энергию лишь периодически, другие удалены от потребителя, использование третьих связано с опасностью возникновения крупных промышленных аварий. При этом ни один вид энергии не может быть эффективно без потерь транспортирован. Поэтому современные исследования в области использования нетрадиционных видов энергии в основном будут сосредоточены на поиске промежуточных видов энергии, получаемой от нетрадиционных источников. В ближайшие годы до 2030 г. наиболее перспективным промежуточным носителем энергии, обладающим свойствами аккумуляирования и восстановления, являющимся экономичным в получении, доступным транспортировке и не загрязняющим окружающую среду, считается водород. Это, а также отсутствие у большинства промышленно развитых стран необходимых запасов природного углеводородного топлива, приведет к интенсивному развитию водородной энергетики.

Одной из важнейших проблем в водородной энергетике является разработка эффективных систем использования, хранения и транспортировки полученного водорода. Решение этой проблемы в мировой практике существенно зависит от обеспечения безопасности производств по получению водорода и его использованию в машинах и установках, а также от количества получаемого и используемого водорода. Для хранения большого количества перспективными будут подземные хранилища, расположенные в водоносных пластах, пустые резервуары из-под нефти и природного газа, объемы, образующиеся в

результате горных выработок и др. Для небольших количеств водорода применяют гидридные системы хранения, обладающие наиболее высокими удельными показателями. Такие системы будут использоваться, главным образом, для автотранспорта. Наиболее эффективным и экономичным способом хранения и использования водорода является перевод его в жидкое (криогенное) состояние. Это связано с тем, что криогенные системы хранения наиболее удобны для транспортных средств и позволяют увеличить время работы между отдельными заправками.

Важное промышленное значение имеет вопрос использования водорода в транспортных и стационарных энергоустановках, оснащенных тепловыми двигателями.

Для расширения сферы применения водорода в промышленном масштабе требуется совершенствование энергосберегающей технологии его переработки и создание высокоэффективных устройств для ее реализации.

Технические возможности термосорбционных теплоэнергетических установок, способ работы которых базируется на свойствах обратимых металлгидридов поглощать водород низкого давления и выделять его при нагреве под повышенным давлением, открывают в перспективе принципиально новый путь в технологии его очистки и активации, исключая использование электрической и механической энергий.

Металлогидридная техника может коренным образом изменить структуру энергопотребления при энерготехнологической переработке водорода, что позволит вовлечь в сферу промышленного освоения вторичные энергоресурсы предприятий различных отраслей промышленности. Разработке отдельных аспектов указанной проблемы (физико-химических, термодинамических, теплофизических, технологических) уделяется значительное внимание во всех промышленно развитых странах. Отдельные образцы металлогидридной техники выпускаются малыми сериями. Сравнение технического уровня отечественных образцов с зарубежными аналогами показало, что по основным технико-экономическим характеристикам (затраты энергии на сжатие водорода, металлоемкость, удельный объем, чистота водорода) они соответствуют мировому уровню, а по универсальности даже превосходят его.

Принципиальным достижением отечественной науки в рассматриваемой области является установленная возможность генерации водорода в энергетически возбужденном состоянии, что открывает широкие перспективы в химической технологии, металлургии, радиоэлектронике и других системах.

Принимая во внимание тенденции развития научных исследований за рубежом, а также учитывая имеющийся научно-технический задел российской науки в области водородной энергетики, необходимо на ближайшую перспективу сконцентрировать усилия на решении следующих основных теоретических и прикладных задач.

#### **Разработка эффективных процессов и аппаратов для получения водорода:**

- исследование путей создания нетрадиционных высокоэффективных методов получения водорода и водородосодержащих газов;
- создание научных основ и разработка автономной установки для получения водорода методом фотоэлектролиза воды;
- разработка научных основ и технологии получения новых многокомпонентных гидрореагирующих составов на основе алюминия и лития;
- создание научных основ активации алюминия для получения водорода из воды и использования активного оксида алюминия в качестве катализатора дегидрирования жидких углеводородов (циклогексан, метанол и др.);
- исследование кинетики реакций синтеза гидрореагирующих составов, разработка методов их активации и исследование механизма газогенерации;
- создание научных основ и исследование энерготехнологических показателей процесса получения водорода методами электроимпульсной технологии;
- исследование принципов создания автономных генераторов водорода;

- исследование возможностей утилизации водорода на действующих химических и коксохимических предприятиях, оценка ресурсов и технико-экономический анализ проблемы утилизации водорода;
- исследование и разработка принципиальной схемы и экспериментальная отработка методик переработки коксового газа.

## 2. Разработка и усовершенствование систем хранения и транспортировки водорода:

- исследование особенностей поведения водорода в металлах;
- разработка научных основ металлгидридной технологии хранения водорода;
- создание и испытание образцов металлгидридных систем хранения водорода транспортного и стационарного назначения для решения задач экологически чистой энергетики и безотходной технологии;
- разработка метода и исследование термодинамических процессов в системах хранения, анализ тепловых потоков;
- изучение влияния криогенных компонентов на конструкционные материалы;
- исследование металлических и композиционных материалов при создании системы хранения газообразного водорода;

### **Разработка и создание транспортных и стационарных энергоустановок, использующих водород в качестве топлива:**

- разработка научно-технических основ конвертации двигателей внутреннего сгорания на водород и водородосодержащие топлива в зависимости от их назначения и создание экспериментальных образцов двигателей;
- разработка систем обеспечения взрывобезопасности водорода;
- разработка научно-технических основ прямого преобразования теплоты в потенциальную энергию сжатого водорода;
- технико-экономический анализ и обоснование способов получения, накопления, транспортировки и использования водорода в стационарной энергетике.

К энергоаккумулирующим установкам широкого применения до 2030 г. будут относиться:

- установки для накопления тепловой солнечной энергии;
- электрогенераторные установки пиковых режимов работы;
- инерционно-кинетические энергоустановки на транспорте;
- электропаровые транспортные установки

### 3.6. Энергетика и энергетические технологии

По состоянию разработки Энергетической стратегии России на период до 2030 г. электроэнергетика должна развиваться достаточно интенсивно и производство электроэнергии оценивается на уровне 2030 г. в количестве около 2 трлн.кВтч, т.е. предусматривается увеличение производства за 20-22 года в два раза с учетом проведения серьезной энергосберегающей политики (ожидаемая экономия около 350-400 млрд.кВтч электроэнергии). С учетом динамики потребления электроэнергии различными отраслями экономики, выданной Министерством экономического развития и торговли, в Энергетической стратегии рассматривается 3 варианта роста электропотребления.

1-й вариант инновационно-ресурсный (пониженного электропотребления) – 1700 млрд.кВтч.

2-й вариант инновационный (повышенного электропотребления) – 2300 млрд.кВтч и промежуточный 3-й вариант развития электроэнергетики, принимаемый далее как базовый, – 2000 млрд.кВтч.

Структура генерирующих мощностей и производства электроэнергии в России к 2030 году изменится в сторону большего использования АЭС, ГЭС, угольных ТЭС и возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Установленная мощность электростанций страны в 2030 г. для базового сценария составит 410 ГВт, из них ТЭС – 253,4 ГВт, АЭС – 65,7 ГВт, ГЭС и ВИЭ – 90,9 ГВт, а выработка электроэнергии – ТЭС – 1270 млрд.кВтч, АЭС – 490 млрд.кВтч, ГЭС и ВИЭ – 320 млрд.кВтч.

Ввод новых, замещающих и реконструируемых мощностей составит в базовом сценарии 267,1 ГВт (АЭС – 48,7 ГВт, ГЭС и ВИЭ – 44,9 ГВт, ТЭС – 173,6 ГВт).

Что касается региональных особенностей, то в Европейской части страны электроэнергетика должна развиваться, главным образом, за счет строительства тепловых электростанций на газе с парогазовыми установками и атомных электростанций. Будет построен ряд ГАЭС для обеспечения покрытия переменной части графиков нагрузки, освоен в максимально возможной степени гидроэнергетический потенциал на Северном Кавказе и Северо-Западе Европейской части России, в максимально возможной степени должны быть использованы угли Печорского, Донецкого и Подмосковского угольных бассейнов, местные виды топлив, потенциал малой гидроэнергетики.

На Урале электроэнергетика будет развиваться, главным образом, за счет развития тепловых электростанций на газе и угле, как местном, так и привозном.

В Сибири и на Дальнем Востоке развитие электроэнергетики будет происходить, главным образом, за счет строительства новых ГЭС и ТЭС на угле и газе (по мере освоения газовых месторождений в этой части страны для смягчения экологической обстановки, прежде всего, в крупных городах).

В базовом сценарии развития электроэнергетики доля ТЭС в установленной мощности электростанций России снизится с 68,3% в 2005 году до 61,8% в 2030 г., а доля АЭС возрастет с 10,8% до 16,0%, доля ГЭС и ВИЭ – с 20,9% до 22,2%. Доля ТЭС в производстве электроэнергии (таблица 5.6) может снизиться с 66% в 2005 г. до 61,2% в 2030 г., доля ГЭС и ВИЭ – с 18,3% до 15,3%, а доля АЭС – возрастет с 15,7% до 23,5%.

Общая доля газа в расходе первичных энергоресурсов на электростанциях уменьшится с 49% в 2005 году до 35% в 2030 г., доля твердого топлива увеличится с 20% до 30%, а доля атомной энергетики в производстве электроэнергии возрастет с 16% до 24%.

Расход газа в 2030 г. на производство электроэнергии для базового сценария развития электроэнергетики страны составит 240 млн. т у.т. или 210 млрд.м<sup>3</sup>. Расход угля составит 210 млн. т у.т., мазута – 11,5 млн. т у.т.

Средняя стоимость производства электроэнергии в России в 2030 г. при реализации основных положений стратегии составит 5,5 – 6 цент/кВтч, а средний тариф по всем категориям потребителей – 9 – 10 цент/кВтч.

При этом важнейшим условием является изменение структуры тарифа в сторону ее приближения к практике, сложившейся в развитых странах (генерация – 65%; сети – 35%). Объем необходимых инвестиций в развитие электроэнергетики составит до 2030 г. 735 млрд. долл., из них в генерацию – 480 млрд. долл. и электрические сети – 255 млрд. долл. Развитие теплоэнергетики предполагается на основе высокоэффективных экологически чистых отечественных технологий производства энергии и тепла по нижеследующим направлениям.

За последние 30 лет в России произошла переориентация значительной части централизованного производства тепла и электроэнергии на использование природного газа. Так, в 2005 г. доля газа в топливном балансе электростанций энергосистем России составила 71,1%. Особенно интенсивно росло потребление газа в европейских районах, где его доля в суммарном расходе топлива ТЭС увеличилась до 84,6% традиционными паротурбинными энергоблоками путем простого вытеснения угля и мазута. Относительная дешевизна и доступность природного газа привели к массовому сжиганию его в топках обычных энергетических котлов, что в настоящее время расценивается как признак технической отсталости.

Неотложной задачей по обеспечению высокоэкономичного и надежного электроснабжения страны является ускоренный ввод новых энергетических мощностей на базе широкого внедрения газотурбинных и парогазовых технологий как при новом строительстве, так и при техническом перевооружении ТЭЦ и ГРЭС и, в первую очередь, при замене морально и физически изношенного оборудования, что создаст условия существенного повышения эффективности использования природного газа и предпосылки для перспективного, опережающего наращивания генерирующих мощностей, без которого невозможно прогрессивное, цивилизованное развитие государства.

В настоящее время ясны основные направления использования ГТУ и ПГУ в энергетике:

- бинарные ПГУ для нового строительства и технического перевооружения;
- двухпоточные схемы ПГУ (аналог параллельной схемы), прежде всего для технического перевооружения ТЭЦ и ГРЭС<sup>3</sup>;
- газотурбинные надстройки энергоблоков с достаточным остаточным ресурсом оборудования и использованием различных схем парогазового цикла;
- относительно небольшие ГТУ мощностью до 30 МВт для выработки электроэнергии, генерации пара и подогрева сетевой воды.

В ИНЭИ РАН с участием проектных организаций РАО «ЕЭС России» оценены темпы внедрения ГТУ в России.

Показатель	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Производство электроэнергии, млрд/(кВт . ч)	1 200	1 420	1 710
Установленная мощность ТЭЦ, МВт:			
общая	90 403	96 707	108 308
ПГУ	8 773	13 118	24 633
ГТУ	4 303	6 948	10 994
ПГУ – ГТУ	13 076	20 066	35 627 (33% общей)
Установленная мощность КЭС, МВт:			

общая	81 378	102 650/129 630	122 491/154 211
ПГУ	11 240	35 740/38 540	42 370/48 020
ГТУ	1 985	1 950/1 950	2 250/2 250
ПГУ – ГТУ	13 225	37 690/40 490	44 620 (36,5% общей/50 270
			(32,6% общей)
Итого:			
ТЭЦ + КЭС	26 301	57 756/60 556	80 247 (35% общей)/85 897
			(32,7% общей)
В числителе первый вариант, в знаменателе – второй			

Суммарная установленная мощность ГТУ + ПГУ для ТЭС страны к 2020 г. может достичь 80 – 86 млн. кВт, что составит 32 – 35% общей установленной мощности ТЭС.

Однако, вследствие многих причин российское энергомашиностроение, занимавшее в 70-х годах прошлого столетия передовые позиции в области энергетического газотурбостроения, в настоящее время не готово к коммерческим поставкам современных мощных конкурентоспособных отечественных энергетических ГТУ высокого технического уровня. Ввод газотурбинных и парогазовых технологий происходит крайне медленно, что не может не повлиять на прогрессирующий дефицит выработки электроэнергии и тепла в России.

До сих пор не завершено полное освоение производства комплектных лицензионных установок ГТЭ-160 (V94.2) мощностью 160 МВт (разработки Siemens) на совместном предприятии «Интертурбо» при ЛМЗ. Хотя технические характеристики этих всесторонне проверенных в длительной эксплуатации ГТУ уступают новым мощным ГТУ зарубежных фирм (в том числе и Siemens), до освоения производства новых мощных ГТУ они могли бы найти достаточный платежеспособный спрос на российском рынке, обеспечив в ближайшие годы энергетику России ПГУ с КПД 51 – 52%.

Вместе с тем, как уже указывалось выше, на мировом рынке широко представлены ПГУ с КПД 57 – 58%, что дает основание энергогенерирующим компаниям и РАО «ЕЭС России» заказывать более прогрессивное энергооборудование у зарубежных производителей. При этом в рыночных условиях и отсутствии единой технической политики заказывается газотурбинное оборудование у различных фирм, что существенно усложняет и удорожает эксплуатацию и ремонт.

Возможности широкого коммерческого использования в энергетике лицензионной ГТД-110 НПО «Сатурн» покажут результаты опыта эксплуатации головных образцов ГТД-110 и ПГУ на ее основе. Вместе с тем необходимо отметить, что, несмотря на то, что технические характеристики ГТД-110 в основном соответствуют уровню зарубежных ГТУ, освоенных в 80-х годах, в конструкцию ГТД-110 заложены прогрессивные решения, позволяющие не только применять ГТД-110 в составе экономичных базовых ПГУ мощностью 325 и 170 МВт, но и развивать ее как основу семейства энергетических ГТУ мощностью 60 – 160 МВт и соответствующего ряда ПГУ мощностью до 500 МВт и КПД 51 – 55%.

Создание и организация серийного производства современных высокотемпературных ГТУ большой мощности для парогазовых технологий является главной задачей отечественного российского энергомашиностроения начала XXI века. Успешное ее решение позволит теплоэнергетике России не только достичь мирового уровня, но и, прежде всего, обеспечить экономическую независимость от импорта оборудования.

Освоение комплектного производства как лицензионных ГТУ, в том числе серии 3А, так и высокоэкономичных перспективных отечественных ГТУ нового поколения потребует радикального и дорогостоящего дооборудования имеющихся производственных

мощностей ЛМЗ и ЗТЛ современными автоматическими станками и роботизированными линиями, позволяющими гарантировать высокое качество изготовления и сборки новейших газотурбинных агрегатов. Кроме того, необходима специальная переподготовка, том числе на зарубежных заводах, персонала газотурбинного производства ЛМЗ и ЗТЛ.

Решение проблемы реконструкции и переоснащения энергомашиностроения невозможно без государственной поддержки. Так, целесообразно вкладывать средства государственных фондов в российские акции, что значительно эффективнее, чем вложение их в акции за рубежом. При этом начинает действовать и важнейший для любой интеллектуальной страны цикл, начиная от НИИОКР, подготовки кадров и кончая производством и внедрением в энергетику.

Наряду с развитием серийного производства на ОАО ЛМЗ и НПО «Сатурн» лицензионных ГТУ необходимо незамедлительно начать разработку отечественных мощных ГТУ и ПГУ нового поколения для достижения КПД конденсационных ПГУ при работе на газе около 65% и не менее 46 – 50% при пиковом и полупиковом режимах работы ГТУ по простому циклу. При этом, наряду с применением новейших систем парового охлаждения ГТУ, необходимо рациональное усложнение схем ГТУ нового поколения с использованием отечественной теплотехнической науки, материаловедения и научно-технических достижений авиационной промышленности России по созданию установок с высокой степенью сжатия. Кроме того, нужно учитывать возможности развития кооперационных и технических связей с зарубежными фирмами.

Необходимо отметить, что реконструкция стационарного энергомашиностроения потребует не менее 3 – 4 лет с момента выделения средств.

Для обеспечения же надежности электро- и теплоснабжения в ближайшие 5 – 7 лет необходимо быстрое проведение модернизации выработавших свой ресурс действующих энергоблоков средней мощности и децентрализации энергообеспечения на основе небольших ГТУ мощностью 1 – 30 МВт (особенно на базе старых газовых котельных в городах и новых ГТУ-ТЭЦ в строящихся микрорайонах). При этом нет необходимости в существенном развитии сетевого хозяйства и тем более в отведении новых земель под них. И главное – в России имеется реальная возможность выпуска, монтажа и гарантированного обслуживания заводами авиационной промышленности модульных электростанций, создаваемых на основе малых ГТУ. Необходимое количество конвертированных ГТУ мощностью до 20 – 30 МВт достаточно высокого технического уровня обеспечит и модернизацию действующих и замещение выработавших свой ресурс работающих на газе теплофикационных и конденсационных энергоблоков мощностью до 100 – 200 МВт, а также для надстройки котельных отечественная сегодня авиационная промышленность уже может предложить пилотные проекты конденсационных ПГУ-ТЭС.

Мощность энергоблока МВт	Тип ГТУ	Пилотный проект, год ввода	Кол-во ГТУ	Тип паровой турбины	КПД электрический %
325*	ГТ-110	Ивановские ПГУ бл.1, 2007 г.	Дубльблок	К-110	51,7
		Сургутская ГРЭС-2			
400	ГТ-270	бл.7, ОГК-4, 2010 Шатурская ГРЭС,	Моноблок	К-140	57



		бл.7, ОГК-4, 2009			
800	ГТ-270	Нижневартовская ГРЭС, бл.3, ОГК-1 2010 г. Пермская ГРЭС, бл.4, ОГК-1, 2010 г.	Дубльблок	К-300	57

Пилотные проекты ПГУ теплофикационных газовых ТЭС

Мощность энергоблока МВт	Тип ПГУ	Пилотный проект, год ввода	Кол-во ГТ, валов ГТ	Тип паровой турбины	КПД электр. %	КИТ %
180	ГТ-65	Первомайская ТЭЦ бл.1, ОАО «ТГК-1», 2009 г.	Дубльблок двухвальный	Т-60	52	82 – 85
230	ТГ-160	Челябинская ТЭЦ-3, ТГК-10, бл.3, 2010 г.	Моноблок двухвальный	Т-70	51,2	82 – 85
400	ГТ-270	ТЭЦ-26, бл.8, ТГК-3 2009 г.	Моноблок двухвальный	Т-140	57	82 – 85
450	ГТ-160	ТЭЦ-27, бл.4, ТГК-3, 2008 г.	Дубльблок двухвальный	Т-150	51,7	82 – 85

Пилотные теплофикационные парогазовые ТЭЦ с поперечными связями (надстройки существующих ТЭЦ (90ата/500С и 130ата/550С)

Ед. мощн. ГТУ, МВт	Пилотный проект год ввода	Температура газов за ГТУ, °С	Паро-произв. КУ, т/ч	Схема	КПД ГТУ	КИТ
65	ТЭЦ-9, бл.8, ТГК-3, 2009	560	75 – 80	Пар в общий паровой коллектор, тип и кол-во ГТУ определяются по потребности пара	35	-82 – 85
110	-----	520	120 – 140		35	-82 – 85
160	Дягилевская ТЭЦ, ТГК-4 2010	540	160 – 180		35	-82 – 85
270	-----	585	290		38	-82 – 85

Надстройка имеющихся ТЭЦ газовыми турбинами с котлами утилизаторами даст возможность увеличить выработку электроэнергии комбинированным способом на сохранившемся рынке тепловой энергии с использованием имеющегося оборудования, сетей, площадей, квалифицированного персонала и производственной базы. Это дает возможность использования имеющихся лимитов газа с выводом в резерв или демонтажем газомазутных и угольных котлов.

Технологии, имеющиеся в России по производству электроэнергии на угле – обычный цикл Рэнкина с начальной температурой пара 580<sup>0</sup>С и давлением 240 атмосфер, является достаточно прогрессивным решением. Важной является технология создания паротурбинных установок и паровых котлов на начальные параметры 650–700–720<sup>0</sup>С и давление 350 атмосфер. Россия в 60-70 гг. 20-го столетия осуществила изготовление оборудования на параметры 650<sup>0</sup>С и давление 300 атмосфер, но к настоящему времени утратила эту технологию, которая существует на Западе и в Японии. В случае финансирования работ в размере около 1,5 млрд. рублей возможно воссоздание этой технологии.

В период 2020–2030 гг. намечено серийное производство (30-35 энергоблоков до конца периода) экологически чистых угольных конденсационных энергоблоков, имеющих КПД 43–46% при суперсверхкритических параметрах пара (  $T_p=600/620$ ,  $p_p=28$  Мпа), мощностью 350–800 МВт. Такие энергоблоки предназначены для нового строительства и замещения морально устаревших КЭС на угле. Это позволит ликвидировать техническое отставание в области повышения параметров пара в угольной энергетике и осуществить крупномасштабное оснащение строящихся угольных ТЭС современными эффективными отечественными энергоблоками ССКП.

Типовые угольные энергоблоки:

Мощность энергоблока МВт	Пилотный проект, год ввода	Вид угля	Технология сжигания	Параметры острого пара	КПД в конденс. режиме %
225	Харанорская ГРЭС, бл.3, ОГК-3, 2010 г.	Бурые угли	Пылевое	14 Мпа 565–585 <sup>0</sup> С	40,5
	Черепетская ГРЭС, бл.8, ОГК-3, 2010 г.	Кузнецкий, Марки Т	ЦКС		40
	Новомосковская ГРЭС, ТГК-4, 2010 г.	70% КА 30% подм.	ВИР		40,5
330	Новочеркасская ГРЭС, бл.9, ОГК-6, 2011 г.	АШ	ЦКС	25 Мпа 565–585 <sup>0</sup> С	41
660	Томь-Усинская ГРЭС, бл.3, ТГК-12, 2012 г.	Кузнецкий	Пылевое	28 Мпа 565 <sup>0</sup> С	45–46
	Березовская ГРЭС-1, бл.№4	Березовский	Пылевое	28 Мпа 565–585 <sup>0</sup> С	43–44

В период до 2030 г. должно быть преодолено технологическое отставание в области газификации угля, на основе которой будет осуществляться перспективное развитие отечественной высокоэффективной и экологически чистой угольной теплоэнергетики. В этой связи в период до 2020–2030 гг. будет освоено производство (до 10 установок за период) отечественных экологически чистых ПГУ мощностью 200–600 МВт с газификацией твердого топлива. Установки имеют КПД 50–52% и предназначены для нового строительства и замещения морально устаревших КЭС и ТЭЦ на угле.

В период 2025–2030 гг. намечено индивидуальное производство (2–3 за период до 2030 г.) экологически чистых угольных энергоблоков мощностью 500–1000 МВт на ультра суперкритических параметрах пара ( $T_p=700\text{--}750^\circ\text{C}$ ,  $p_p=35$  Мпа) и КПД 53–55%. Это позволит повысить технический уровень котло- и турбостроения, топочных процессов, а также обеспечить развитие смежных областей, в т.ч. создание новых материалов, систем автоматизации технологических процессов, систем защиты и управления.

В России отсутствуют технологии, позволяющие использовать бинарный цикл в случае работы электростанции на угле. Требуются серьезные усилия для создания специального технологического центра по разработке подобных технологий и других экологически чистых технологий использования угля в электроэнергетике, включая борьбу с выбросами  $\text{CO}_2$ . На создание такого центра и разработки технологий потребуются финансирование порядка 5–6 млрд. долл. В 2020–2030 гг. начнется производство соответствующих энергоблоков (2–3 за период).

Важным направлением, реализуемым в перспективном периоде, будет создание самых крупных в мире высокоэффективных экологически чистых гидроагрегатов с переменной скоростью вращения, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели и удешевление стоимости электроэнергии. В этой связи предусматривается ввод в эксплуатацию комплекса силового оборудования для гидроагрегатов Эвенкийской ГЭС с единичной мощностью 1000 МВт. Ввод ГЭС на полную мощность намечается осуществить в период 2015–2020 гг.

В этот же период намечается серийное производство комплекса высокоэффективного экологически чистого силового оборудования для обратимых гидроагрегатов ГАЭС с переменной скоростью вращения и единичной мощностью 300–350 МВт, позволяющих обеспечить высокую маневренность в генераторном и насосном режимах.

Крупномасштабное освоение российского потенциала энергии приливов и отливов требует создания типового отечественного силового гидрооборудования для приливных электростанций (ПЭС) и средства их сооружения с помощью наплавных блоков. Комплекс этого оборудования в период 2015–2020 гг. «выйдет» на стадию серийного производства.

С целью снижения стоимости электроэнергии, повышения экологической безопасности, маневренности и экологической безопасности работы электростанций до 2020 г. должны быть освоены технологии: производства водорода из воды с использованием электроэнергии (в т.ч. провальной) и реализации высокочистого водорода (в т.ч. жидкого) высокотехнологичным потребителям. В этот же период намечены к освоению технологии: создания универсальных высокотемпературных водородных парогенераторов и парогенераторов тепловой мощностью до 100 МВт; использования водородных систем для аккумулирования энергии и покрытия пиков неравномерной нагрузки мощности на АЭС, угольных ТЭС и энергоустановках с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Развитие водородной энергетики предъявляет повышенные требования к безопасности эксплуатации систем энергообеспечения. В рамках этого направления до 2020 г. будут реализованы инновационные решения по созданию безопасных и компактных металлгидридных систем очистки и хранения водорода в твердофазном, связанном состоянии для автономных систем энергообеспечения, а также систем охлаждения мощных турбогенераторов. Начиная примерно с 2020 г., войдут в эксплуатацию системы очистки и хранения водорода, интегрируемые с энергоустановками на основе

низкотемпературных топливных элементов мощностью от 5 кВт до 100 кВт, а также бортовые системы хранения водорода для транспортных установок.

Возобновляемая энергетика включает широкий спектр использования первичных источников энергии, в т.ч. солнечную, ветровую, геотермальную, энергию биомассы, малых водных потоков, приливов, природное и сбросное низконапорное тепло и др. В период до 2030 г. возобновляемые источники энергии (ВИЭ) будут использованы для решения социально-экономических задач сокращения завоза топлива в отдаленные и труднодоступные районы, повышение надежности энергоснабжения населения (особенно сельскохозяйственного) в дефицитных энергосистемах и тупиковых энергорайонах. Кроме того, ВИЭ найдут применение в пунктах со сложной экологической обстановкой, а также заповедниках, национальных парках, реакционных зонах и др.

В этой связи в направлении использования солнечной энергии поэтапно до 2030 г. на основе инновационных технологий должно быть налажено производство фотоэлектрических преобразователей энергии (ФЭП) с установленной мощностью к концу периода до 300 МВт/год, а также солнечных коллекторов для теплоснабжения тепловой мощностью и суммарной площадью соответственно 1000 МВт на 1600 м<sup>2</sup> в год. В области использования энергии ветра предусматривается освоение производства сетевых ветроустановок единичной мощностью до 5 МВт, а также поэтапный ввод в эксплуатацию в различных регионах страны ветровых электростанций суммарной установленной мощностью к 2030 г. не менее 30 ГВт. В этот же период на основе инновационных технологий должно быть налажено поэтапное производство типоразмерного ряда автономных ветроустановок единичной мощностью 100 МВт. Эти установки предназначены для электро- теплоснабжения автономных потребителей и систем аккумулирования энергии, в т.ч. с использованием водородных накопителей. В области использования геотермальной энергии на основе инновационных технологий будут поэтапно введены в эксплуатацию малые геотермальные электростанции в Камчатско-Курильском регионе и на Северном Кавказе суммарной установленной мощностью к 2030 г. не менее 1 ГВт. В этот же период на основе производства эффективного коррозионно-стойкого теплообменного оборудования будут освоены системы геотермального теплоснабжения населенных пунктов и предприятий в регионах страны (Камчатка, Северный Кавказ, Западная Сибирь, Калининградская обл. и др.) с достижением суммарной тепловой мощностью установок к 2030 г. не менее 10 ГВт. В области использования энергии биомассы получают развитие инновационные технологии производства новых видов топлива (топливные брикеты, биодизель, синтез газа, водород, этиловый спирт и др.) с применением их в энергоустановках и на транспорте. При этом суммарный объем производства новых видов топлива к 2030 г. предполагается довести до 50 млн. т.у.т.

С целью использования энергии малых рек будет налажено производство малых, мини и микро ГЭС суммарным объемом производства до 1 ГВт в год (до 2030 г.). Будет осуществлено строительство приливных электростанций в районах Северного и Охотского морей с достижением к 2030 г. суммарной электрической мощности ПЭС до 100 МВт. Для обеспечения электроснабжения морских и прибрежных областей до 2030 г. будет освоено производство волновых энергоустановок единичной мощностью до 100 кВт.

В электрической части электроэнергетики требуется по существу заново решать проблемы создания линий электропередач напряжением 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ – постоянного тока. Требуется также создание элементов, позволяющих управлять потоками мощности в электрических сетях: в первую очередь устройств продольной и поперечной компенсации, статкомов, фазоповоротных устройств и т.д. Здесь необходимы заказы на научные работы по расчету параметров этих устройств, их конструкций и технологии изготовления, а также мест их установки. Безусловно, прежде всего необходимы заказы на изготовление подобных устройств на заводах.

Технологии, по которым Россия пока превосходит мировой уровень по своим разработкам и их созданию – это энерготехнологии по переработке угля и сланца с получением товарных продуктов (жидкого топлива и высококалорийного газа). По этому направлению также требуются заказы на установки по переработке сланца и финансирование на доработку и строительство пилотных установок по переработке угля. Общая сумма финансирования на создание пилотных установок на угле – порядка 1,5 млрд. долл.

К технологиям, отсутствующим в России, но существующим в мире, следует отнести технологии по производству проводов 2<sup>го</sup> поколения с использованием явления высокотемпературной сверхпроводимости. Здесь следует или купить лицензию на производство, или создавать технологию самим на базе существующих в России научных центров. В случае приобретения лицензии потребуются строительство специальных производств и затраты могут составить до 2–3 млрд. долл.

Рассматривая развитие атомной энергетики в России сегодня важно определить приоритетные направления долгосрочной научно-технической политики атомного энергопромышленного комплекса с учетом требуемых масштабов и темпов развития атомной энергетики и сформулировать необходимые действия по реализации такого развития. К таковым относятся: формирование целостной структуры единого атомного энергопромышленного комплекса; гарантированное обеспечение наращиваемых мощностей ресурсами; формирование замкнутого топливного цикла атомной энергетики от добычи топлива до изоляции радиоактивных отходов; расширение областей применения атомной энергетики (ЭЭ, тепло, энергоносители); развитие материаловедения, машиностроительной, строительной и приборной инфраструктур; комплексное развитие научного потенциала атомной отрасли, обеспечивающего расширение фундаментальных и прикладных исследований, кадровое обеспечение, как в части промышленной инфраструктуры, так и в части управления и научного сопровождения; совершенствование механизма управления использованием атомной энергии, обеспечение надлежащего контроля и регулирования этой сферы производства энергии.

В настоящее время развитие атомной энергетики страны уже определено рядом федеральных документов. Подготавливается обновленная редакция Энергетической стратегии России на период до 2030 года, в которой рост мощностей атомной энергетики рассматривается до уровня около 100 ГВт (эл) к 2030 году.

Учитывая значительную капиталоемкость атомного энергопромышленного комплекса и время жизни его объектов, временной интервал прогнозирования в 20 лет для атомной энергетики является недостаточным и при разработке стратегии развития атомной энергетики России сейчас рассматривается более отдаленная перспектива на период до 2050 года. Такой подход позволяет обосновать наиболее важные направления научно-технической политики, длительность реализации программ которой в атомной отрасли занимает, как правило, десятилетия. Объекты атомной энергетики имеют длительное время жизни (60 и более лет), поэтому обеспеченность ее ресурсами топлива будет рассмотрена до конца текущего века.

Крупномасштабная атомная энергетика требует демонстрации нового, более высокого уровня безопасности, который должен быть воспринят обществом. Это требование относится ко всем элементам топливного цикла: атомная станция, реактор, отработавшее ядерное топливо, его хранение, транспортировка, переработка, изоляция РАО.

Безопасность элементов ядерного топливного цикла и, в первую очередь, производств по обращению с облученным ядерным топливом и радиоактивными отходами обоснована в меньшей степени, нежели для АЭС. Требуется приложить серьезные усилия, как в области фундаментальных и прикладных исследований, так и в области разработок технологий и их реализации, чтобы достичь в этих звеньях эквивалентного уровня безопасности.

При формировании стратегии страны приняты следующие этапы и направления развития атомной энергетики.

- Нарращивание атомных мощностей на основе усовершенствования освоенных технологий ВВЭР различной единичной мощности.

- Ввод в систему атомной энергетики быстрых реакторов с расширенным воспроизводством топлива и замкнутого топливного цикла.

Стратегическим направлением развития атомной энергетики Российской Федерации является замыкание ядерного топливного цикла. Создание замкнутого топливного цикла решает две основные задачи. Первая – обеспечение атомной энергетики надежной сырьевой базой за счет вовлечения в топливный цикл урана-238, а, в последствии, и тория-232. Вторая – решение проблемы выделения, минимизации объема и окончательной изоляции, не находящихся пока применения, радиоактивных продуктов, образующихся в процессе функционирования атомной энергетики. В результате замыкания цикла будет обеспечено наиболее полное использование природных ядерных ресурсов (уран, торий) и искусственных делящихся материалов, образующихся при работе ядерных реакторов (плутоний и др.) и минимизация РАО.

В качестве основных рассматриваются три реакторных технологии:

- корпусные реакторы с водяным теплоносителем типа ВВЭР и их модификации;
- быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем;
- высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем.

Развитие этих реакторных технологий разнесено во времени, что позволяет концентрировать ресурсы для достижения наибольшего эффекта на соответствующем этапе формирования ядерно-энергетической системы (ЯЭС).

На период до 2020 года наращивание мощностей атомной энергетики предусматривается осуществлять на основе последовательно усовершенствуемых проектов реакторов ВВЭР-1000 (АЭС-2006), путем модернизации их топливного цикла с переходом на более высокое выгорание топлива (около 60 Гвтсут/т) и пятикратные перегрузки топлива, что обеспечивает более экономный топливный цикл.

В 2012 году вводится в эксплуатацию реактор БН-800, который должен продемонстрировать замыкание топливного цикла на основе МОХ-топлива. С 2018–2020 года вводится в эксплуатацию малая серия реакторов БН, в которых последовательно модернизируется активная зона с таким расчетом, чтобы к 2026–2029 годам выйти на параметры перспективного реактора БР-S, обеспечивающего избыточную наработку на уровне 275 кгPu/ГВт год, достаточную для обеспечения топливом развивающейся многокомпонентной атомной энергетики. Выбор наиболее привлекательного инновационного проекта БР-S предполагается сделать на основе проработки нескольких вариантов быстрых реакторов. На этом же этапе на уровне технического проектирования целесообразно выполнить разработку ВТГР для целей электроэнергетики. Концепция модульных ВТГР хорошо дополняет мощностной ряд ядерных блоков в диапазоне 300–500 МВт, что согласуется с потребностями рынка. Более высокие термодинамические параметры теплоносителя в этих реакторах позволяют существенно увеличить термодинамический КПД и создают возможность их использования в регионах с дефицитом водных ресурсов для снятия конечного тепла.

Этап 2020–2030 годов характеризуется началом серийного строительства быстрых реакторов с параметрами, близкими к БР-S. НИОКР этого этапа преимущественно сконцентрированы на доработке технологии быстрых реакторов в части применения новых материалов, способных обеспечить более высокое выгорание топлива, и разработке проектов ВТГР, ориентированных на неэлектрическое использование атомной энергии. График работ по ВТГР следует организовать таким образом, чтобы к 2030 году выйти на серийное строительство этого типа реакторов в составе энергопромышленных комплексов, использующих высокопотенциальное тепло для неэлектрического применения, развитие водородной энергетики и т.д.

Таким образом, следует указать, что:

1) Интенсивное развитие энергетики России с увеличением уровня электропотребления к 2030 году на 70–100% требует не только модернизации основного парка ТЭС страны, но и резкого повышения энергоэффективности практически во всех отраслях жизни страны – от производства электроэнергии до жилищно-бытового хозяйства.

2) В электроэнергетике сохранится потребление природного газа как основного топлива и должны существенно развиваться атомная энергетика и эффективное сжигание угля.

3) Основными направлениями совершенствования и развития электроэнергетики России до 2030 года должны быть:

- модификация существующих ТЭС, работающих на природном газе и строительство новых переходом с паровых турбин на парогазовые установки;
- восстановление и развитие проектно-промышленной структуры атомной энергетики с постепенным переходом от усовершенствованных водяных тепловых реакторов к установкам замкнутого топливного цикла;
- освоение и развитие перспективных способов сжигания и газификации угля с переходом к суперкритическим параметрам пара;
- интенсивная замена децентрализованных котельных, работающих на газе, компактными модульными ГТУ–ТЭЦ;
- дальнейшее развитие гидроэнергетики, особенно массовой децентрализованной невысокой мощности.

4) Техническое перевооружение и реконструкция действующих ТЭС должны обеспечить:

- максимальное использование резервов повышения экономичности и мощности действующего оборудования;
- переход от паросиловых к парогазовым технологиям ТЭС на газе, а позже – и на угле на базе имеющихся ПГУ с КПД 52–58%, а затем организация производства в нашей стране энергооборудования на базе нового поколения ПГУ с КПД 58–60% и более;
- повышение КПД установок ПГУ сначала до 55%, а в перспективе и до 60%, что позволит существенно снизить прирост потребности ТЭС в топливе и сделать топливный баланс оптимальным;
- совершенствование тепловых схем энергоблоков, что позволит повысить их экономичность;
- совершенствование паротурбинных установок за счёт осуществления следующих мероприятий: реактивного облопачивания ЦВД турбины, применения радиально-осевого или тангенциального подвода пара в ЦВД, ЦСД, ЦНД турбины, применения цельнофрезерованных бандажей в ЦСД и ЦНД, ЦВД, меридиального профилирования в ЦВД и ЦСД, ЦНД, применения саблевидных (банановидных) лопаток.

5) В стране должно быть организовано создание на основе лучших мировых достижений:

- перспективного отечественного энергетического оборудования;
- ПГУ мощностью 400–900 МВт;
- ПГУ нового поколения с КПД 58–60%;
- перспективных энергоблоков с ПГУ на природном газе с повышением КПД до 63–65%;
- освоение ПГУ с КПД в конденсационном цикле 60% (на первом этапе – до 2020 г.) и 65–70% (в период до 2030 г.);
- создание и освоение угольных энергоблоков нового поколения с суперкритическими параметрами пара – 35 Мпа, 700–720°C;
- разработка и промышленное освоение ПГУ на угольных ТЭС с интегрированной системой газификации угля;
- создание и освоение производства энерготехнологических установок для переработки твёрдого топлива с получением искусственного жидкого топлива;
- разработка и создание, в более отдалённой перспективе (в конце 20-х и начале 30-х годов), опытных образцов гибридных установок с ГТУ и высокотемпературными

топливными элементами с КПД при работе на природном газе 65-70% и на угле (на ТЭС с интегрированной системой его газификации) – 60-65%.

б) Основными путями развития России как интеллектуальной страны при сохранении на должном уровне использования отечественного оборудования в электроэнергетике России в рыночных условиях является:

- реализация отечественными производителями технологического энергооборудования соответствующего современному мировому уровню по надёжности, экономичности, экологической чистоте, полной заводской готовности;
- удовлетворение отечественными энергомашиностроителями потребностей энергетических компаний в современном энергооборудовании в объёмах максимально возможного спроса;
- восстановление отечественного энергетического проектного и строительного комплексов, обеспечение их базой данных об отечественном энергетическом оборудовании, современных отечественных технологиях и разработках;
- Установление приоритетности использования отечественного энергооборудования при выборе оборудования в ходе проводимых тендеров при условии, что его технико-экономические показатели соответствуют показателям оборудования иностранных фирм.

И главное – необходимы:

- государственная поддержка отечественных машиностроителей – производителей энергетического оборудования в рыночных условиях путём принятия соответствующих законодательных актов в области налогового и таможенного права, формирования источников финансирования НИОКР для тепловой энергетики;

- обязательность разработки по заказу государства долгосрочных планов, схем развития ОЭС и ЕЭС, энергетики страны в целом с последующей корректировкой их по пятилеткам и годам, позволяющим отечественным машиностроителям планировать свой бизнес на долгосрочную перспективу;

- разработка и принятие государственной Программы вывода отечественного энергомашиностроения на новый технологический уровень, разработки и освоения производства перспективного оборудования для тепловой энергетики.



## **7. Науки о Земле и технологии рационального природопользования**

Несомненное нынешнее возрастание роли наук о Земле в обеспечении народно-хозяйственной деятельности государства, в реализации устойчивого и конкурентно-способного развития экономики, в развитии прорывных наукоемких и экологически безопасных технологий, а также в снижении рисков природного и техногенного характера очевидно приобретет еще более устойчивую тенденцию в долгосрочной (до 2030 г.) перспективе. При этом, оценивая возможные сценарии перспективного развития этого сегмента науки, следует иметь в виду, что в условиях ограниченности ресурсов, как у государства, так и у бизнеса, влияния кризисных явлений в мировой финансово-экономической системе, невозможно осуществлять научно-технологический прорыв широким фронтом, по всем потенциально выигрышным направлениям. Речь может идти только о селективной научно-технической и инновационной политике, о концентрации ресурсов на узких полях стратегического прорыва, где можно достичь значительного успеха, занять лидирующие позиции в обозримое время. С учетом этого, а также существующих приоритетов, закрепленных в Перечне критических технологий Российской Федерации (раздел «Рациональное природопользование»), наиболее перспективными и актуальными и одновременно высоко технологичными направлениями инновационного характера в науках о Земле могут быть следующие:

- Технологии углубленной и экологически безопасной добычи и обогащения минерального сырья;
- Технологии поиска и разведки месторождений полезных ископаемых;
- Технологии очистки отходов производства и захоронения химических и радиоактивных отходов;
- Технологии очистки воды;

### **7.1. Разработка новых технологий в области освоения природных и техногенных месторождений**

**Мировые тенденции развития отрасли.** Технологическое развитие извлечения из недр полезных ископаемых и их обогащения происходит под влиянием заметного роста как потребности в минеральном сырье, так и цен на основные его виды. За последние пять лет мировое потребление газа увеличилось на 20%, нефти – 8,5%, угля – 16%, чугуна – 6%, различных цветных металлов – на величину от 10 до 20%. Цены на минеральное сырье выросли в несколько раз: в период с середины 2000 г. стоимость 1 барреля нефти поднялась более чем в 3 раза. В последние годы стоимость золота увеличилась с 8 – 10 долл. за грамм до 25 – 30 долл., никеля в слитках – с 6 до 55 тыс. долл., а меди в слитках – с 2 до 8 тыс. долл. за тонну.

Среди причин роста потребности и цен помимо увеличения численности населения планеты следует назвать также общее постепенное исчерпание благоприятной для освоения минерально-сырьевой базы, ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации месторождений, снижение природного содержания полезных компонентов в извлекаемом сырье. В нем увеличивается также массовая доля трудно перерабатываемых разновидностей полезных ископаемых преимущественно из-за тонкой вкрапленности минеральных комплексов и близости технологических свойств полезных и других минералов, слагающих полезные ископаемые. На фоне этих тенденций к продукции горного производства со временем предъявляются все более высокие требования к качеству и экологической чистоте.

Повышение стоимости продукции, выпускаемой горнодобывающими предприятиями, открывает дополнительные экономические возможности для разработки и применения все более сложных технологий освоения месторождений в сравнении с технологиями традиционными.

Мировая практика **добычи полезных ископаемых** свидетельствует об отсутствии в целом каких-либо ограничений, обусловленных недостаточными возможностями техники. Применение оборудования большой единичной мощности, его комбинирование с поточными технологическими процессами, высокая степень автоматизации и широкое применение инструментальных методов как контроля состояния горного массива и производственных процессов, так и управления производством в целом позволяет успешно решать разнообразные горнотехнические проблемы. Поэтому совершенствование технической и технологической базы добычи полезных ископаемых преимущественно является уже делом инженерной практики. Ограничения возникают, главным образом, в связи с проблемами рентабельности, безопасности работ и экологической безопасности. Экономические затруднения разрешаются с использованием известных рыночных инструментов.

Повышение уровня безопасности горных работ обеспечивается при более глубоком изучении вещественного состава горных пород на различных масштабных уровнях, состояния горного массива и происходящих в нем физических и химических процессов, закономерностей изменения и состава, и состояния под воздействием технологических процессов и технических средств, применяемых в целях техногенного преобразования недр, при более широком и комплексном использовании наукоемких инструментальных автоматизированных способов контроля поведения массива и конструктивных элементов систем разработки, путем создания на базе установленных закономерностей новых методов избирательного воздействия на горный массив и целенаправленного изменения его свойств, соответствующих таким методам параметров горных технологий и горнотехнических систем в целом.

Научный базис экологической безопасности в связи с технологическим развитием в области освоения недр формируется в мире, преимущественно, развитием комплексного экологического автоматизированного мониторинга, а также соответствующих методов и аппаратных средств контроля техногенного изменения окружающей природной среды, результатами изучения кратко- и долговременного влияния на человека и биоту вредных в экологическом отношении факторов, среди них – новых веществ.

В области **обогащения** технологическое развитие отрасли науки предопределяется в мире, главным образом, развитием теоретических основ процессов разделения минералов, дезинтеграции тонкодисперсных минеральных комплексов и вскрытия микро- и наночастиц благородных металлов, созданием селективных реагентов-комплексобразователей, а также комбинированных химико-обогащительных и нетрадиционных процессов глубокой переработки труднообогатимого и техногенного сырья, раскрытием взаимосвязи закономерностей распределения компонентов в минеральном сырье и условий разделения по продуктам обогащения с целью повышения селективности и скорости разделения, его экономической эффективности и экологической безопасности. Важное значение приобретают радиометрические методы сортировки и сепарации, обеспечивающие уже на первой стадии предобогащения выделение в отвалы хвосты до 25 – 50% породы, что позволяет повысить среднее содержание полезных компонентов в рудах, направляемых в переработку, в 1,3 – 1,5 раза и снизить затраты на последующее обогащение сырья на 25 – 75%.

**Состояние отрасли науки и соответствующих технологий в России на текущий момент.** В рассматриваемой отрасли науки Россия развивается в целом в русле мировых тенденций с тем отличием, которое вносится невысоким качеством отечественной минерально-сырьевой базы, ее сложной структурой и диспропорциями развития. Страна испытывает значительный дефицит рентабельных запасов по ряду видов полезных ископаемых. В их числе, в частности, хромиты и марганец. Минерально-сырьевая база черных металлов обладает невысоким качеством руд, тем же недостатком обладает база некоторых видов легирующих и редких металлов. Значительная часть потребляемого свинца, глинозема, а также ниобия, тантала, молибдена и большинства редких металлов

удовлетворяется за счет импорта. Близка к исчерпанию база активных запасов россыпного золота и алмазов. Запасы большей части рентабельных запасов многих видов полезных ископаемых в районах действующих предприятий выработаны, равноценной замены им страна пока не имеет. Значительные минеральные ресурсы многих видов сосредоточены в отдаленных и труднодоступных географических районах.

Отчетливо проявляет себя общая долговременная устойчивая тенденция снижения природного качества минерально-сырьевой базы. За 20 лет содержание цветных металлов в рудах снизилось в 1,3 – 1,5, золота – в 1,2 раза. Доля труднообогатимых руд возросла с 15 до 40% от общей массы перерабатываемого сырья. По этой причине с 2000 года произошло снижение содержания меди в концентратах более чем на 3,5 %. В связи с этими обстоятельствами обращает на себя внимание невысокая полнота извлечения запасов полезных ископаемых из недр и полезных компонентов из минерального сырья. Так, сквозное извлечение полезных компонентов остается в течение многих лет практически на неизменном невысоком уровне. Оно составляет, например: для железа – 0,72, меди – 0,81, свинца – 0,85, цинка – 0,73, вольфрама – 0,80, молибдена – 0,70, олова – 0,72. Таким образом, не извлеченными (оставшимися в недрах и потерянными при переработке) остаются в среднем от 15%, а в отдельных случаях до 30% полезных компонентов. Характерно, что наибольшие потери приходятся на обогащение полезных ископаемых. Из поступающих на обогащение руд теряется до 10% меди, 20% - цинка, 30 – 35 % серы, более 50% железа, 20 – 50% золота, серебра и селена, 40% теллура, 20 – 60% висмута, молибдена, галлия, таллия, германия, 30 – 35% кобальта и сурьмы.

Существующие технологии освоения месторождений полезных ископаемых позволяют использовать лишь небольшую (около 2 – 8%) часть извлекаемой минеральной массы, а остальное – это отходы, которые по мере накопления и хранения становятся одним из мощных факторов антропогенных изменений окружающей среды. Из накопленных на территории России отходов три четверти (в виде вскрышных пород, хвостов обогащения и шламов) приходится на горнодобывающие отрасли. В последующее производство вовлекаются около 10% отходов обогащения и 40% шлаков и не более 20% ежегодно извлекаемых вскрышных пород. Наряду с этим практика показывает, что накопленные отходы горнопромышленного и металлургического производства несут в себе значительную ценность. Так, среднее содержание меди в хвостохранилищах Урала составляет 0,37%, цинка 0,39%, серы 21,9%, что выше бортового содержания на многих вовлекаемых в освоение месторождениях. Кроме твердых отходов горного и металлургического производства в пруды и водные бассейны сбрасываются сотни миллионов кубометров сточных вод. Дренажные воды отличаются высокой минерализацией и концентрацией взвешенных веществ и ионов тяжелых металлов. Содержания цветных и редких металлов зачастую близки к их содержаниям в традиционном гидроминеральном сырье – минерализованных водах и рассолах.

В целом, техногенное сырье все более утверждается в качестве важного компонента минерально-сырьевой базы. Отечественная практика указывает на устойчиво высокую эффективность получения качественной продукции из отходов прошлых лет. При этом сокращение капитальных и эксплуатационных удельных затрат может достигать 20 – 30 и более процентов. Это обстоятельство выдвигает на первый план задачу создания и широкой реализации более совершенных технологий освоения запасов минерального сырья техногенного происхождения.

Используемые в настоящее время в России горные технологии отличаются в худшую сторону от аналогичных применяемых за рубежом качеством оборудования, строительства производственных объектов и их эксплуатации, производительностью труда и удельными затратами на добычу полезных ископаемых и их обогащение. В контексте стоящих перед Россией острых и долгосрочных проблем отечественной минерально-сырьевой базы по многим компонентам технологическое обеспечение ее

рентабельного освоения должно получить опережающее развитие, причем как в отношении извлечения полезных ископаемых из недр, так и обогащения.

Минерально-сырьевая база России представлена исключительно большим разнообразием геологических, геолого-морфологических и геолого-промышленных типов месторождений, а также физико-географических условий их образования и местонахождения. Поэтому такому разнообразию соответствует весьма большое множество применяемых технологий извлечения из недр и переработки полезных ископаемых, причем каждая технология по своим параметрам разрабатывалась исключительно под каждое конкретное сочетание условий использования и производственных требований.

Многие из применяемых технологий соответствуют современным требованиям и их дальнейшее совершенствование должно производиться по инициативе и с преимущественным участием заинтересованных субъектов рынка минерально-сырьевой продукции и металлов. В целом же технологическое развитие России в рассматриваемой области должно быть направлено на преодоление влияния факторов, обусловленных снижающимся качеством минерально-сырьевой базы, усложнением ее структуры и условий эксплуатации, необходимостью удовлетворять растущий спрос на минеральное сырье в изменяющихся условиях внутреннего и внешнего рынков при соблюдении требований безопасности труда и экологической безопасности.

Исходя из этого, общими принципами технологического развития в области освоения недр в России являются следующие:

- повышение полноты геологической, технологической и экологической изученности природных и техногенных месторождений, полезных ископаемых, их компонентов, вещественного состава минерального сырья, а также свойств минералов и минеральных комплексов;
- комплексное освоение недр, комплексная и глубокая переработка полезных ископаемых;
- ресурсосбережение;
- ресурсовоспроизведение, как систематический процесс перевода потенциальных (неактивных) запасов и ресурсов полезных ископаемых в категорию активных с использованием соответствующих технологий;
- избирательное воздействие на горные породы, интергранулярное разрушение горных пород и вскрытие минеральных комплексов, повышение контрастности свойств минералов, селективная дезинтеграция по границам срастания минеральных зерен;
- интенсификация действующих и создание более производительных новых машин и аппаратов для извлечения полезных ископаемых из недр и полезных компонентов из природного минерального сырья и техногенных минеральных образований;
- комбинирование технологий и технологических процессов, действующих на различных принципах, в едином производственном цикле и технологическом пространстве;
- повышение селективности технологий извлечения полезных ископаемых из недр и обогатительных процессов, управление георесурсами различных видов при освоении недр.

Приоритетные направления совершенствования технологического обеспечения извлечения полезных ископаемых из недр и обогащения полезных ископаемых:

- создание геоинформационных систем горнодобывающего предприятия при формировании мегатехнологий освоения недр;
- совершенствование технологических методов управления геомеханическими, геодинамическими, гидродинамическими и газодинамическими процессами в изменяемых массивах горных пород; разработка методов и систем геомеханического мониторинга массива горных пород в районах интенсивной горнодобывающей промышленности для предотвращения масштабных нарушений земной поверхности и гидрогеологической обстановки;

- разработка технологических способов предупреждения (управления риском) чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф при освоении недр;
- обоснование безопасных и эффективных методов и технологий извлечения твердых полезных ископаемых из недр в аномально сложных горно-геологических и горнотехнических условиях;
- новые процессы комплексной и глубокой переработки природного и техногенного минерального сырья;
- комплексное освоение недр комбинированными физико-техническими и физико-химическими технологиями.

За последнее десятилетие российская наука достигла значительных успехов в области фундаментальных исследований и создания новых процессов извлечения полезных компонентов из минерального сырья. Как показывают международные конгрессы по обогащению полезных ископаемых, уровень полученных новых знаний и научно-технических российских разработок не уступает мировому. В то же время, в нашей стране в сравнении с развитыми зарубежными государствами заметно сильное отставание в развитии машиностроительной базы для производства обогащательного оборудования, повышения его качества, износостойкости, снижения металлоемкости и энергоемкости. В последние годы повышение эффективности процессов извлечения минеральных компонентов из руд достигается за счет использования комбинированных процессов, новых безреагентных методов повышения контрастности свойств разделяемых минералов, биопроцессов, энергетических методов управления механическими и физико-химическими свойствами минералов, кучного и подземного выщелачивания.

**Перспективные потребности в продукциях отрасли.** Долгосрочной государственной программой изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России, утвержденной Приказом МПР России 8 июня 2005 года № 160, предусматриваются следующие среднегодовые темпы роста (в %) добычи полезных ископаемых по периодам до 2010 г. и 2011 – 2020 гг.: уголь – 3,57 и 2,94; руды железа – 2,1 и 2,1; руды марганца – 19,3 и 19,0; руды титана – 73,0 и 33,0; руды хрома – 75,0 и 75,0; никель – 1,71 и 1,72; медь – 1,54 и 1,48; свинец – 33,35 и 33,35; цинк – 8,6 и 8,6; олово – 5,1 и 5,1; алюминий (бокситы) – 1,75 и 1,9; легирующие металлы – молибден – 11,5 и 11,5; вольфрам – 15,0 и 15,0; тантал – 8,9 и 7,5; ниобий – 26,9 и 4,9; алмазы – 2,8 и 2,1; золото коренное – 0,46 и 1,96; платиноиды – 2,5 и 3,6; апатиты – 9,6 и 9,6; калийные соли – 5,8 и 5,8; фосфориты – 30,0 и 30,0; магнезит – 14,0 и 0,0. Такой рост добычи может быть оценен в целом как высокий для большинства видов полезных ископаемых – марганца, титана, хрома, свинца, цинка, олова, молибдена, вольфрама, тантала, ниобия, апатитов, калийных солей, магнезита. Для сравнения: в мире среднегодовой рост потребления за период 2000 – 2050 гг., %, при высоком (низком) уровне рождаемости может составить: для Al – 1,1 (0,6); Cu – 1,2 (0,6); Fe – 1,1 (0,6); Ni – 1,1 (0,6); Pt – 1,4 (0,7); Zn – 1,1 (0,5). Достижение прогнозируемых показателей потребности в минеральном сырье и продуктах его переработки несомненно обусловлено технологическим обеспечением на требуемом научном уровне с использованием последних достижений в таких фундаментальных науках как физика твердого тела, физика высоких энергий, физическая и органическая химия, электрохимия и др.

**Сценарий развития горной отрасли науки.** Развитие данной отрасли науки должно осуществляться с целью сохранения и наращивания конкурентных преимуществ, которыми обладает Россия, с учетом существующего и изменяемого со временем ее минерально-ресурсного потенциала и состояния минерально-сырьевого комплекса (МСК) в целом. Следует создавать необходимые предпосылки не только для увеличения разнообразия и физических объемов добычи и переработки полезных ископаемых, как основы экономического роста МСК, но и, главным образом, для непрерывного инновационного, высокотехнологичного его развития на принципах комплексного освоения ресурсов недр и ресурсосбережения с обеспечением повышения как уровня

извлечения полезных компонентов, так и качества готовой продукции, высокой степени экологической безопасности.

В экологическом разделе рассматриваемой области знаний, принимая также во внимание отдаленный горизонт (до 2030 года) данного научно-технологического прогноза, необходимо расширить и форсировать исследования физического взаимодействия био- и техносферы в части, обусловленной освоением недр. Назначение такого рода исследований состоит в установлении закономерностей и тенденций, в силу которых для общества возникает все более острая необходимость соизмерять свое технологическое развитие с усиливающимися и расширяющимися природно-ресурсными ограничениями. Это обстоятельство привносит в экологический раздел рассматриваемой области знаний новое содержание, а именно ресурсовоспроизводство и ресурсосбережение в составе основных факторов экологической безопасности. Соответствующие показатели в этой связи должны приобрести значение целевых параметров при разработке и создании новых технических средств и новых технологий извлечения из недр и переработки твердых полезных ископаемых. Научная сторона такой проблемы предстает как создание научных основ количественного ресурсного анализа комплексного освоения недр и на этой базе – разработка соответствующих методов, технических средств и технологий.

**Критические и прорывные технологии.** Указанные ниже технологии в своей научной основе соответствуют Плану фундаментальных научных исследований РАН на 2008 – 2012 годы (направления исследований 60, 64, 65 и 66). Технологии формируют передовой фронт развития в рассматриваемой области, содержат высокий инновационный потенциал и тем самым открывают возможность существенного повышения в рассматриваемый период научно-технического уровня освоения месторождений твердых полезных ископаемых.

**Технологии, по которым Россия находится на зарубежном уровне или может достичь его в обозримом будущем при условии проведения соответствующих прикладных исследований:**

**Электрохимическая технология водоподготовки.** Разработаны промышленные технологии и аппараты электрохимического метода водоподготовки, позволяющие без использования химических реагентов, за счет протекания реакций разложения воды изменять цветность, окислительно-восстановительные свойства, ионный и газовый состав воды и тем самым усиливать контрастность свойств минералов. Результаты промышленных испытаний данной технологии водоподготовки на полиметаллических, шеелитовых, апатитовых, фосфоритовых, бокситовых и редкометаллических рудах подтвердили ее высокую эффективность: расход реагентов собирателей и регуляторов среды снижается на 50%, извлечение ценных компонентов в условиях замкнутого водооборота повышается на 5 – 10%. Расход электроэнергии составляет 0,5 – 2 кВт·ч./м<sup>3</sup> воды. Данный процесс может быть также использован для получения гипохлорита из оборотных вод хвостохранилищ АК «АЛРОСА», содержащих высокие концентрации хлора, для обеззараживания коммунальных сточных вод. Получение этого продукта в процессе электролиза позволит заменить жидкий хлор и увеличить срок эксплуатации хвостохранилищ.

Кислые подотвальные воды горных предприятий после их электрохимической обработки за счет образования кислорода, озона и хлора могут быть эффективно использованы для выщелачивания ценных компонентов из бедных окисленных полиметаллических руд. Электрохимическая обработки подотвальной воды позволяет полностью заменить серную кислоту и повысить на порядок скорость выщелачивания меди при ее использовании в качестве выщелачивающего агента в технологии переработки медно-цинкового сырья.

Создание и производство промышленных электрохимических кондиционеров воды и реализация электрохимической технологии водоподготовки в операциях пенной и липкостной сепарации обогащения алмазосодержащих кимберлитов в АК «АЛРОСА» позволили повысить извлечение алмазов на 15% и получить годовой эффект в размере 1,8

млрд. рублей. Данная технология водоподготовки способствует формированию для каждого технологического процесса оптимального ионного состава жидкой фазы с заданными физико-химическими свойствами пульпы, обеспечивающими максимальное извлечение ценных компонентов в условиях замкнутого водооборота. Стоимость создания технологии устанавливает потребитель, доля разработчика 20 – 25%.

**Пульсационная флотационная колонная машина.** Способ флотации и реализующий его аппарат основаны на сочетании элементов пневматического и механического диспергирования. Флотация происходит в среде, совершающей низкочастотные (0,3–1Гц) вертикальные колебания, а диспергирование воздуха осуществляется с помощью неподвижного пульсационного аэратора за счет пульсирующей подачи в него воздуха, который одновременно сообщает колебания жидкости в камере флотации. Флотационные пневмопульсационные машины вместимостью от 0,1 до 21 м<sup>3</sup> испытаны в различных операциях при флотации фосфоритов, углей, полиметаллических и медно-никелевых руд, а также калийных солей. Такие машины обеспечивают одновременное повышение извлечения ценного компонента и качества продуктов при удельной производительности до 25 – 30 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> объема камеры, значительное снижение энергетических затрат (до 30%) и расхода реагентов, сокращение числа стадий флотации. Устройство и принцип действия флотационных пневмопульсационных машин позволяют эффективно проводить флотацию минералов различного химического и гранулометрического составов в одних и тех же аппаратах. Наибольший эффект может быть достигнут в операциях перемешивной и межцикловой флотации. Доля разработчиков в стоимости создания машины по заказу потребителя 20%.

**Кучное выщелачивание** - доля рынка не менее 80%. Эта технология, получающая в России интенсивное развитие, эффективна при освоении небольших по запасам месторождений, особенно бедных и забалансовых руд, а также текущих и лежалых отходов обогащения и металлургических шлаков, содержащих уран, благородные и некоторые цветные металлы. За последние годы половина прироста мировой добычи золота получена за счет процесса кучного выщелачивания. Положительный опыт кучного выщелачивания золота из хвостов обогащения имеется в нашей стране. Число таких установок превышает 20. Их производительность по руде может достигать 3, 5 млн. тонн в год, по золоту – до 7 тонн при извлечении золота в среднем 60 – 70%. Собственно выщелачивание производится с использованием раствора цианистого натрия с концентрацией от 0,4 – 0,5 до 1,0 – 1,5 г/л при pH = 10,0 – 12, 5. Техничко-экономическая оценка кучного выщелачивания показывает, что капитальные затраты на строительство установок не превышают 20 – 25% затрат на строительство традиционных золотоизвлекательных фабрик, а эксплуатационные расходы составляют 35 – 40% затрат на использование известного процесса цианирования.

**Подземное выщелачивание полиэлементных руд** – доля рынка может быть оценена в 80 – 90%. Технология предназначена для извлечения полезных компонентов (молибдена, рения, селена, ванадия, скандия, иттрия, некоторых лантаноидов) попутно с ураном, из весьма убогих по их содержанию пластово-инфильтрационных экзогенных эпигенетических месторождений. Эпигенетические накопления, слагая хорошо растворимые фазы, переводятся через скважины в технологический раствор слабыми водными сернокислыми или карбонатными растворами, обогащая его до концентраций, вполне пригодных для их промышленного извлечения попутно с ураном.

Данная технология открывает возможность рентабельного получения высокоценной продукции из полиэлементных накоплений в пластовых водоносных горизонтах, сложенных несцементированными осадочными породами, недоступных для рентабельного освоения классическими горными работами. Выполнены исследования и разработаны методы переработки многокомпонентных продуктивных растворов, разработаны и экспериментально проверены скважинные системы разработки месторождений, созданы научные основы геотехнологии подземного выщелачивания полиэлементных руд.

Опытные работы по подземному выщелачиванию урана на месте залегания руд реализованы практически на всех разведанных и разведываемых месторождениях, извлечение урана из недр достигает 80 – 91,4%.

**Технологии, отсутствующие в России, но существующие в мире.**

**Геоинформационные системы горнодобывающего предприятия при формировании мегатехнологий освоения недр** – доля рынка 50 – 60%. Учеными ИПКОН РАН получены перспективные геотехнологические решения по разработке и применению современных геоинформационных систем контроля горного массива применительно к задачам прогноза газо- и геодинамических явлений. В качестве базовых способов диагностики состояния массива в разработанной геоинформационной автоматизированной системе используется акустический контроль напряженно-деформированного состояния призабойной части массива, контроль динамики выделения газа из призабойного массива, геомеханический метод прогноза и оценки степени опасности газодинамических явлений. Выполнен цикл исследований по разработке цифровой пространственной модели и созданию методологии комплексного геофизического мониторинга состояния массива горных пород и технологических процессов действующего горного предприятия на базе геоинформационных технологий. Модель сочетает различные проблемно-ориентированные блоки информации: геологоразведочной, гидрогеологической, геолого-маркшейдерской, технико-технологической и др. Использование геопрограммной модели позволяет за счет оперативного и комплексного мониторинга состояния массива горных пород и производственных процессов повысить безопасность горных работ на базе научно обоснованных методов планирования и управления технологическими процессами предприятия.

**Несуществующие, но необходимые технологии для реализации конкретных задач (поисковые исследования и разработки ИПКОН РАН)**

**Технология дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов с применением мощных электромагнитных импульсов** – доля рынка 70 – 80%. Предназначена для повышения эффективности дезинтеграции труднообогатимых тонковкрапленных (вплоть до наноразмеров) минеральных комплексов. Позволяет вовлечь в освоение значительные ресурсы благородных металлов, в том числе техногенные. Впервые обоснован механизм поглощения энергии мощных электромагнитных импульсов наносекундной длительности за счет эмиссионных процессов (автоэмиссии, взрывной эмиссии электронов) с поверхности природных минералов-полупроводников, приводящих к формированию объемных дефектов и поверхностных новообразований вблизи каналов пробоя. Экспериментально установлено, что нетепловое воздействие мощных наносекундных электромагнитных импульсов вызывает изменение структурного, химического и фазового состава поверхности сульфидных минералов, их сорбционной, флотационной и химической активности, что обеспечивает получение готовой продукции повышенного качества. Разработаны оптимальные физико-технические параметры обработки минеральных продуктов, обеспечивающие повышение извлечения благородных металлов на 25 – 60%. Новая технология позволит вовлечь в переработку запасы техногенного сырья и забалансовых руд благородных металлов в технологиях с биовыщелачиванием и цианированием. Создана опытно-промышленная установка производительностью 1 т/ч, проведены испытания с положительным результатом.

**Технология флотационного извлечения тонкодисперсных платиносодержащих минералов из комплексных руд на основе создания нового класса реагентов-комплексобразователей.** Разработан метод концентрирования металлов платиновой группы из тонкоизмельченных платиносодержащих продуктов, основанный на использовании нового класса реагентов – термоморфных полимеров (ТМП), синтезированных на основе изопропилакриламида. Селективность ТМП обеспечивается



присоединением к их молекуле функциональных групп, способных образовывать прочное комплексное соединение преимущественно с ценными компонентами. Способность термоморфных полимеров к изменению агрегатного состояния при нагреве системы позволяет обеспечить гомогенность обработки рудных материалов водорастворимым полимером и повышает эффективность собирательного и флоккулирующего действия реагента при нагреве. Использование полимера, модифицированного комплексообразователем с функциональной группой фосфина в цикле никель-пирротиновой флотации богатой медно-никелевой руды, способствует повышению на 5-15% извлечения в концентрат никеля, платины и палладия без снижения его качества.

Разработан новый реагент-собиратель драгоценных металлов – диизобутилдитиофосфинат (ДИФ). Рекомендуется его использование в качестве дополнительного собирателя при флотации комплексных руд, содержащих благородные металлы. По итогам испытаний реагент ДИФ рекомендован к использованию в качестве собирателя МПГ в условиях Талнахской и Норильской обогатительных фабрик.

**Технология обогащения платинометалльных руд, обеспечивающая соблюдение требований к экологическому состоянию особо охраняемых территорий.** Технология учитывает оценки распределения платины в горных породах и рудах в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алювского типа, форму нахождения платиноидов в руде, качественный и количественный состав платиносодержащих минералов. Дана укрупненная оценка технологических параметров обогащения руд, подтвержденная полупромышленными испытаниями. Выполнены натурные и инструментальные наблюдения за изменением ихтиофауны высокого рыбохозяйственного значения. Определены факторы негативного воздействия обогатительного передельного руд на водную среду и биоту. Обоснованы критерии экологической безопасности по этим факторам. Разработана требуемая по экологическим параметрам технологическая схема обогащения платинометалльных руд зональных базит-ультрабазитовых комплексов. Определены проектные параметры технологии для укрупненных опытно-промышленных испытаний.

**Комбинированные физико-технические и физико-химические технологии добычи и комплексной переработки руд** – доля рынка 50%. Полученные в ИПКОН РАН предварительные результаты подтверждают возможность высокоэффективного вовлечения в единый технологический цикл добычи и переработки не только кондиционного природного минерального сырья, но также забалансовых руд и техногенных образований в виде твердых и жидких отходов с дополнительным получением нескольких видов высокоценной продукции.

В таком случае наряду с эксплуатацией балансовых запасов месторождения физико-техническими способами добычи (открытым, открыто-подземным и подземным), в разработку вовлекаются методом подземного выщелачивания залежи некондиционных руд на месте залегания, методом кучного выщелачивания – бедные (забалансовые) руды, размещенные в отвалах, и отходы обогащения. В качестве активного рабочего агента в процессах выщелачивания используют минерализованные кислые стоки после обработки электрохимическими методами активации, что позволяет использовать их модификации, в том числе с различными добавками, в качестве растворителей извлекаемых из руд ценных компонентов. Извлечение содержащихся в минерализованных стоках металлов и других элементов при переработке продуктивных растворов выщелачивания методами гидрометаллургии позволяет получить дополнительную товарную продукцию и способствует очистке свободного от технологического процесса остатка промышленных стоков перед сбросом их в окружающую среду. Вскрытие и подготовка залежей для подземного выщелачивания производится из выработок действующего подземного рудника или из карьера, что также повышает эффективность и инвестиционную привлекательность комбинированных технологий. Твердые отходы выщелачивания используются для приготовления твердеющей закладочной смеси, размещаемой в

подземных камерах и служащей для управления состоянием массива горных пород при подземной добыче руды.

Комбинированные физико-технические и физико-химические технологии могут, что подтверждают проведенные эксперименты, обеспечить:

- повышение на 2 – 3% качества товарной продукции;
- снижение потерь полезных ископаемых в недрах на 15 – 20%;
- повышение на 25 – 30% сквозного извлечения ценных компонентов;
- снижение ресурсоемкости горного производства до 15 – 30% (по видам энергетических, материально-технических и природных ресурсов);
- повышение степени комплексности освоения базы минеральных ресурсов на 30%;
- общее снижение экологической напряженности в горнодобывающих районах.

Затраты на завершение фундаментальных исследований, выполнение прикладных исследований и проведение необходимых испытаний ориентировочно оцениваются в 100 млн. руб. ежегодно в течение 5 лет. Рынок создаваемой технологии составляют действующие отечественные и зарубежные горно-обоганительные предприятия, использующие открытый и подземный способы разработки полиметаллических месторождений.

**Технология освоения глубоких залежей разнородных руд стратегически важных цветных, благородных и редких металлов.** Технология предназначена для освоения запасов уникального Талнахского-Октябрьского месторождения – основы сырьевой базы России по стратегическим видам минерального сырья – никелю, меди, кобальту и металлам платиновой группы. Технология должна дать возможность эффективно осваивать месторождение в аномально сложных условиях: на глубинах порядка 1 – 2 км, в обстановке интенсивной тектонической нарушенности пород и руд, высокой (до 54 град.) температуры массива горных пород на глубоких горизонтах при том, что руды и вмещающие породы относятся к категории опасных по горным ударам. Рудные тела характеризуются сложной морфологией и невыдержанными параметрами, а залежи представлены различными технологическими типами руд.

Разработана концепция создания рудника будущего, отличающегося высоким инновационным потенциалом. Основные отличительные черты технологии:

- снижение риска возникновения опасных геодинамических явлений;
- селективное извлечение из недр разнородных руд, управление качеством рудопотока;
- повышение интенсивности выемки запасов с подвиганием фронта очистных работ до 25 метров в год;
- предконцентрация в подземном пространстве полезных компонентов рудопотока с выделением до 80% по объему его породной части для использования в закладке горных выработок;
- использование в составе закладочных смесей хвостов обогащения и металлургических шлаков;
- размещение отходов обоганительного и металлургического производства в выработанном пространстве с возможностью доизвлечения содержащихся в них полезных компонентов физико-химическими методами;
- высокая степень механизации, автоматизации и роботизации основных и вспомогательных процессов.

Реализация результатов исследований при отработке крупных глубокозалегающих залежей разнородных руд позволит:

- обеспечить рентабельность добычи бедных руд и исключить возможный риск их потери в последующем;
- расширить отечественную сырьевую базу стратегических видов минерального сырья за счет перевода значительных запасов сравнительно бедных руд в категорию промышленных;
- продлить срок эксплуатации уникальной по запасам рудоносной провинции;

- снизить экологическую нагрузку горнодобывающего производства на природу за счет утилизации отходов обогащения в подземном пространстве.

Разработка технологии в ее основных компонентах потребует затрат в размере 200 – 250 млн. руб. ежегодно на срок 5-6 лет при доле рынка ориентировочно 50 процентов.

Имеющийся научно-методический задел для создания технологии включает изученность геолого-промышленных, горно-геологических и горнотехнических особенностей месторождения, концепцию технологии, а также необходимые закономерности изменения структуры и параметров горнотехнических систем, включая подземные сооружения, под действием основных различного рода физико-технических, геодинамических, производственно-технологических, экологических и других факторов.

**Модифицированная энергосберегающая технология подземной газификации угольных пластов.** Выполнено научное обоснование данной технологии, позволяющей получать газ повышенной энергетической ценности. Обоснованы главные параметры подземного газогенератора с учетом параллельного извлечения дегазационного метана углепородного массива. Установлены характеристики базовых конструктивных элементов технологии. Выбраны и обоснованы структура и показатели системы контроля геометрических параметров подземного газогенератора и геомеханического состояния (устойчивости) углепородного массива при газификации угольного пласта. Диагностика состояния газифицируемого массива и управление фронтом подземного газогенератора осуществляется с использованием системы сейсмического и сейсмоакустического контроля массива пород. Разработана схема наземного энерготехнологического комплекса, осуществлен выбор оборудования для него. Оценены затраты мощности технологии подземной газификации угля. Выполнено ее предпроектное обоснование.

**Геотехнологическая подготовка месторождений полезных ископаемых к освоению** – доля рынка 15 – 20%. Научно обоснована новая стадия освоения недр – геотехнологическая подготовка месторождений, предназначенная для предварительного, целенаправленного вещественного или структурного преобразования залежей полезных ископаемых или массивов вмещающих горных пород с целью повышения доступности минеральных ресурсов для современных технологий. Дана предварительная оценка реализации процессов геотехнологической подготовки месторождений на основе использования прототипов гипергенных геологических процессов. Разработаны типичные технические и технологические решения в этой области. Получены результаты теоретических и экспериментальных исследований по дезинтеграции и реструктуризации обводненных массивов россыпей, геохимическому преобразованию природных и техногенных месторождений золотосодержащих, медных сульфидных руд, а также фосфатов.

**Технология взрывного разрушения массивов горных пород с целью последующего извлечения полезных компонентов физико-химическими методами.** Изменение качества минерально-сырьевой базы России с возрастанием в запасах доли бедных по содержанию полезных компонентов и убогих, а также труднообогатимых и тонкодисперсных руд диктует необходимость расширения области применения физико-химических методов при освоении месторождений твердых полезных ископаемых. Вовлечение в разработку забалансовых руд, запасов, потерянных при очистной выемке, а также низкосортной и некондиционной руды, той руды, которая оставлена в зонах обрушения, целиках и краевых участках месторождений, способно укрепить сырьевую базу страны, особенно в районах горных предприятий, чьи кондиционные запасы близки к исчерпанию или исчерпаны полностью.

В подобных случаях запасы руды должны быть подготовлены к выщелачиванию физико-химическими методами. Подготовка заключается в целенаправленном ее разрушении взрывом с достижением заданной крупности кусков. В нашей стране имеется определенный научно-технический задел. Так, разработаны теоретические основы комбинированного метода воздействия на природные геоматериалы механической и

тепловой энергией взрыва с численным исследованием полей распределения напряжений на стадии подготовки руды к выемке. Созданы научные основы оценки действия взрыва зарядов большой массы в подземных условиях при эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Разработаны и созданы технологии крупномасштабной взрывной отбойки в сейсмоактивных районах. Разработан и введен в применение в горной промышленности ряд экономичных и безопасных в обращении простейших взрывчатых веществ в виде механических смесей на основе гранулированной аммиачной селитры.

Для того чтобы создать на мировом уровне отсутствующую в настоящее время, но необходимую технологию, требуется:

- дальнейшее развитие теоретических исследований физических процессов превращения энергии взрыва крупных зарядов специальных конструкций в энергию дробления породы с заданным гранулометрическим составом и поиск путей создания средств и способов эффективной отбойки горной массы крупномасштабными взрывами при извлечении полезных компонентов физико-химическими методами;
- создание и внедрение технологий применения новых нетрадиционных взрывчатых материалов, эффективных для управления действием взрыва при решении технологических задач применения комбинированных физико-технических и физико-химических технологий;
- развитие методов разрушения горных пород при освоении подземного пространства с использованием взрывчатых материалов эмульсионной структуры, обеспечивающих возможность заряжания, используя энергию сжатого воздуха;
- разработка технологий управляемой дезинтеграции горных пород с достижением необходимых технологических свойств раздробленного массива, обеспечивающих наибольшую полноту извлечения полезного компонента в продуктивные растворы;
- развитие и применение компьютерных технологий для автоматизированного проектирования взрывных работ, систем разработки и отдельных технологических операций при разработке месторождений полезных ископаемых комбинированным геотехнологическим методом.

Полная стоимость работ составляет 1 млрд. 250 млн. руб. до 2030 г. с участием рынка в начальный период в объеме 30 % с его последующим увеличением по мере завершения создания технологии.

В целом, затраты на создание новых технологий определяются многими факторами. Среди них: требования заказчика к назначению технологии и значениям ее целевых параметров, сложность условий применения, наличие известных прототипов и аналогов, инвестиционные возможности заказчика, существующий и доступный научно-технический задел, доля высокотехнологичной компоненты, состояние правовой защиты объектов интеллектуальной собственности и распределение прав на нее и др.

В этой связи, принимая также во внимание весьма узкую целевую направленность рассматриваемых технологий, достоверно определить затраты на разработку, проведение испытаний и создание каждой из них практически не представляется возможным. Опираясь на ограниченную отечественную практику, можно сделать вывод, что технологии, применение которых позволяет поднять в целом производственный цикл на новый уровень, отличающиеся заметной новизной научной компоненты, сформированной на стыке нескольких отраслей знаний, требуют на разработку каждой из них, включая исследования, порядка 200 – 250 млн. руб. на протяжении 3 – летнего периода. В этих

затратах доля головного научного учреждения (на примере ИПКОН РАН) составляет порядка 25 – 30%.

## **7.2. Технология экономичного и экологически чистого способа освоения руд океана.**

**Мировые тенденции и состояние дел в России.** В ближайшей перспективе необходимость освоения океанских руд не вызывает сомнений, что связано с иссякающими запасами ряда стратегически важных металлов в месторождениях суши. Это относится к таким металлам как Co, Ni, Zn, Cu, Mn и др., содержания которых в Fe-Mn отложениях превосходят их концентрациями в рудах континентальных месторождений. В настоящее время некоторые страны (Китай, Корея, Япония и др.) активно готовятся к освоению минеральных ресурсов океанского дна. Другие (Индия, Американские и Европейские компании), по-видимому, так же близки к этой цели.

Россия в разработке технологий добычи минерального сырья из нетрадиционных источников отстала от других стран более чем на десятилетие. Запасы ряда стратегически важных металлов в месторождениях суши резко снижаются. На территории РФ месторождения Mn практически исчерпаны, что придает этому металлу в океанских рудах особое значение, тем более, что разрабатываемые прорывные технологии могут существенно снизить экономические затраты добычи Mn и всего комплекса сопутствующих металлов. Подготовка к опытной добыче железо-марганцевых конкреций в России планируется на 2011-2020 гг., а с 2022 г. намечается начало промышленного освоения месторождения, закрепленного за СССР в 80-х годах прошлого века в богатой рудной провинции Кларион-Клиппертон в Тихом океане. Однако нерешенной проблемой при этом остается гарантия сохранения экологии океана, без решения которой никакая добыча не может быть разрешена Международным Органом по морскому дну (МОД) ООН. Создание рентабельной технологии освоения океанских руд может совершить революцию в обеспечении человечества минеральным сырьем.

**Технология освоения океанских руд.** Предлагается и научно обосновывается прорывная, экологически безопасная технология освоения океанских руд, основанная на легкой растворимости рудной фазы железо-марганцевых отложений (ЖМО), в восстановительном растворе. Добыча металлов в растворенном состоянии проводится непосредственно на месте их залегания. При этом совмещаются два технологических процесса – добыча и обогащение руды (поскольку субстрат остается на дне).

Теоретическая основа этого предложения определяется фундаментальными исследованиями особенностей геохимии Mn, являющегося главным рудообразующим металлом этих отложений и находящегося в них в форме свободного гидроксида ( $MnO_2 \cdot nH_2O$ ), обладающего высокой сорбционной активностью, максимальной среди природных сорбентов. Это свойство позволяет ему связывать большой спектр металлов из морской воды (до  $\frac{3}{4}$  таблицы Менделеева), что в геологически длительные периоды непрерывного роста конкреций приводит к образованию ценных рудных концентратов, с одной стороны, и способствует сохранению экологии океана, с другой.

Исследования показали, что гидроксиды Mn чрезвычайно чувствительны к условиям среды и существовать в твердой фазе могут только в высоко окислительных условиях современного океанского дна. Снижение окислительно-восстановительного потенциала приводит к восстановлению и растворению гидроксидов Mn и высвобождению всех сорбционно связанных с ними металлов. В природных условиях это происходит при любой активизации эндогенных процессов на океанском дне, как правило, сопровождающейся выбросом раскаленных масс глубинного вещества, резким повышением температуры и снижением содержаний кислорода в водной среде. При этом Fe-Mn-отложения (ЖМО) полностью растворяются и высвободившиеся металлы мигрируют в морскую воду. В восстановительной среде (при пониженных значениях  $E_p$ ) растворенный  $Mn^{2+}$  сохраняется до нормализации (окисления) среды, после чего происходит его регенерация и осаждение или соосаждение с другими металлами,

сохранившимися в растворе. Круговорот Mn, в отличие от Fe, в океане замкнут. Высвобождаясь из континентальных кор выветривания, он сносится в океан с речным стоком и накапливается там, главным образом на поверхности дна, в течение всей геологической истории существования океана на Земле, т.е. в течение миллиардов лет. Только при глобальных катаклизмах возможен вынос Mn на сушу и образование гигантских месторождений в шельфовых зонах континентальных окраин.

В технологическом цикле для полного извлечения рудной фазы и отделения ее от субстрата в подводном реакторе производится обработка обогащаемого материала разбавленной серной кислотой (2%), при добавлении пергидроля и нагревании для ускорения реакции. Пергидроль в кислой среде является сильным восстановителем. Восстановление (растворение)  $MnO_2$ , так же как и всех связанных с гидроксидами Mn и Fe металлов, производится перекисью водорода по схеме  $H_2O_2 - 2e^- = O_2 \uparrow + 2H^+$ . При этом роль кислоты ограничивается только созданием кислой среды. Такой слабый раствор не может быть агрессивным по отношению к используемому оборудованию. В растворе металлы находятся в ионной форме, что позволит им легко окислиться и перейти в твердую фазу при последующем осаждении рудного концентрата на борту судна. Для окисления может быть использован кислород ( $O_2$ ), выделяющийся при реакции. От подводного реактора рудный раствор и кислород должны выводиться в специальную емкость на борту судна, где производится осаждение (окисление) рудного концентрата полученным в реакции кислородом. После осаждения при доведении раствора до нужных кондиций он вновь используется в процессе добычи, что делает этот процесс замкнутым и безотходным, никак не влияющим на экологию морской среды.

В отличие от используемой сейчас гидрометаллургической серноокислотной технологии извлечения металлов из ЖМО предлагаемый кислотно-пергидрольный восстановительный метод извлекает из руды практически 100% всех ценных компонентов. Этот способ позволяет вовлекать в процесс добычи и «бедные» конкреции, имеющие крупные ядра и относительно тонкие рудные оболочки. Принцип его применим и для освоения кобальтоносных корок.

Предлагаемая технология может решить главную проблему в освоении минеральных ресурсов океана – обеспечить экологическую безопасность добычи. Финансовые затраты для решения данной задачи будут меньше планируемых, если своевременно переориентировать их на детальную разработку новой инновационной технологии добычи металлов. Необходима углубленная разработка предлагаемой технологии.

### **7.3. Технологии переработки отработавшего ядерного топлива**

#### **Создание научно-технических основ новых технологий.**

**Современное состояние отрасли в России и за рубежом.** Развитие крупномасштабной ядерной энергетики России ориентировано на замкнутый топливный цикл, подразумевающий извлечение из облучённого ядерного топлива (ОЯТ) урана и плутония с целью их дальнейшего использования. По существующей технологии ОЯТ (Пурекс-процесс), как в России, так и за рубежом, сначала растворяют в концентрированной азотной кислоте, затем из раствора извлекают уран и плутоний, используя экстракционные методы. Экстрагенты (трибутилфосфат, метилизобутилкетон и т.д.) применяют в виде их растворов в органических растворителях, которые, как правило, летучи, легко воспламеняются, взрывоопасны и токсичны. После извлечения основных компонентов топлива остаются большие объёмы водно-органических, к тому же радиоактивных растворов–отходов, в которых аккумулируются наряду с остаточными количествами урана и плутония долгоживущие  $\alpha$ -излучающие актиниды: Np, Am, Cm; сравнительно долгоживущие продукты деления:  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$ ; осколочные лантаниды, а также обладающие свойством высокой миграции в окружающей среде  $^{129}I$  и  $^{99}Tc$ . Хранение непереработанных высокоактивных отходов (ВАО) связано с риском поступления их в окружающую среду в результате техногенных аварий, природных

катастроф, террористических актов. Концепция безопасного обращения с ВАО радиохимических производств предусматривает необходимость фракционного извлечения высокоактивных компонентов из этих отходов перед их хранением. Для извлечения радионуклидов из ВАО также используют экстракционные методы, в которых за последние 15 лет в качестве экстрагентов нашли применение нейтральные и кислые фосфорорганические и макроциклические соединения, моно- и диамиды, органические кислоты и их смеси с экстрагентами различных классов. Экстракционные реагенты, как и при переработке ОЯТ, используют в виде растворов в органических разбавителях. В результате образуются дополнительные объёмы вторичных токсичных органических и водных растворов-отходов, которые необходимо утилизировать. Это является основным недостатком применения жидкостной экстракции. Возникает потребность перехода к экстракционным системам без использования органических растворителей.

**Мировые тенденции развития и перспективные потребности в продукции отрасли.** Установленное Правительством Российской Федерации плановое развитие атомной энергетики страны ориентировано на замкнутый ядерный топливный цикл (ЯТЦ), что в ряду актуальных задач подразумевает необходимость и срочность разработки, оптимизации и создания новых малоотходных, экологически безопасных и экономически целесообразных технологий, обеспечивающих переработку отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и обращение с образующимися высокоактивными отходами (ВАО). Без решения этих задач дальнейшее развитие атомной энергетики представляется маловероятным. Поэтому актуальным является – разработка и оптимизация альтернативных концепций используемому в настоящее время процессу переработки отработавшего ядерного топлива (Пурекс-процесс) реакторов 3 и 4 поколения для достижения лучших экологических, экономических и социальных эффектов. Эти научные результаты и разработки, отвечающие стратегии дальнейшего развития атомной энергетики России, определяют приоритет российских ученых и обеспечат Российские радиохимические предприятия новыми малоотходными технологиями ибо закупка технологий такого рода приведет к значительно большим расходам.

**Критические и прорывные технологии.** Вопросы о малоотходных технологиях переработки ОЯТ активно обсуждаются во многих странах: Россия, Франция, Япония, Германия и др. Соотношение объема ВАО к объему соответствующего ОЯТ – очень важная характеристика репроцессинга, показывающая не только соответствие процесса требованиям экологии, но в большей мере характеризует его с экономической точки зрения. Чем меньше объем ВАО, тем меньше затраты на сооружение хранилища для них, тем относительно меньше затраты на дополнительные барьеры безопасности т.д. Поэтому при совершенствовании процесса и выборе новых уделяется большое внимание мерам, уменьшающим объем ВАО.

Следующие подходы могут быть положены в основу разработки малоотходных технологий переработки ОЯТ:

- Растворение ОЯТ при помощи суперкритического или жидкого диоксида углерода ( $\text{СК-CO}_2$ ), насыщенного комплексом трибутилфосфата с азотной кислотой ( $\text{ТБФ} \cdot 2\text{HNO}_3$ ). Метод разрабатывается в ГЕОХИ РАН.
- КАРБЭКС-процесс: извлечение урана и плутония из ОЯТ в карбонатные растворы с последующим карбонатным экстракционным аффинажем и карбонатной твердофазной резэкстракцией с получением карбонатных порошков, пригодных для производства керамического ядерного топлива.
- Маловодный процесс конверсии оксидов актинидов в нитраты, при котором диоксид урана топливных таблеток реактора РБМК превращается в уранилнитрат в среде тетраоксида азота в присутствии воды.
- Сольвометаллургическая технология переработки ОЯТ в системе фосфорорганический экстрагент – хлорсодержащий органический разбавитель – оксиды азоты.

**Краткая характеристика технологии.** В настоящее время вопросы обращения с отходами атомной энергетики стоят очень остро как на российских, так зарубежных радиохимических предприятиях. В России считается, что обеспечение топливом крупномасштабной энергетики, так же как и обращение с ОЯТ, могут быть решены замыканием ЯТЦ с помощью реакторов на быстрых нейтронах. Они позволят использовать весь энергипотенциал природного  $^{238}\text{U}$  и обеспечат «выжигание» в реакторе актинидной фракции, наиболее высокоактивных и долгоживущих компонентов РАО. В этом случае захоронение оставшихся РАО не будет изменять радиационного баланса земли. К сожалению, реакторы на быстрых нейтронах пока не являются основным типом реакторов атомной энергетики России. В то же время накопленные ОЯТ требуют переработки. Поэтому, чтобы не увеличивать и без того накопленные объёмы ВАО, возникает задача в разработке и использовании малоотходных технологий переработки ОЯТ, обеспечивающих выделение фракции актинидов и редкоземельных осколочных продуктов деления (ПД), фракции Cs, Sr и других ПД, которые будут инкорпорированы в матрицы, пригодные для экологически безопасного хранения. Сформулированная задача является отражением общественной потребности в дальнейшем развитии атомной энергетики страны.

Указанные выше подходы являются научно-обоснованными с точки зрения особенностей химического поведения актинидных элементов и продуктов деления в предлагаемых для исследования гетерогенных системах. Отличительные особенности и закономерности в химии изучаемых элементов позволят отыскать оптимальные условия их разделения и выделения. Особенность предлагаемых подходов состоит в том, что решая главную задачу по извлечению целевых продуктов, работа преследует цель устранить или минимизировать образование вторичных водных и органических, к тому же высокорadioактивных растворов отходов и могут, что не менее важно, упростить и привести к сокращению всей технологической цепочки переработки ОЯТ

**Характеристика ожидаемого народно-хозяйственного результата.** Для материального и экономического обоснования перехода к закрытому ЯТЦ при нынешнем уровне развития атомной энергетики нужно исходить из того, что переработка ОЯТ должна быть оправдана и экологически, и экономически сама по себе. Это автоматически вынуждает снижать затраты, так как на сегодняшний день среднее значение величины превышения стоимости замкнутого ЯТЦ составляет 1,3 раза. Прогнозная оценка удешевления разработанных в рамках данного проекта процессов собственно переработки ОЯТ составляет 30%, что позволит в будущем как минимум сравнять затраты с открытым ЯТЦ, тем более с учетом меньшего объема ВАО по сравнению с ОЯТ.

Результаты НИР будут применяться на предприятиях ЯТЦ, в том числе радиохимических заводах Росатома РФ (ФГУП «ПО «Маяк»). Эти данные могут быть также использованы для оптимизации способов и решений по переработке ОЯТ и утилизации ВАО в рамках новой Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

Высокий уровень безопасности технологий переработки ОЯТ в сочетании с экономической эффективностью сделает ядерную энергетику социально приемлемой. В настоящее время накопленные количества ОЯТ и ВАО вызывают серьезное беспокойство населения и государственных органов в связи с потенциальной радиационной опасностью хранилищ отходов. Среди прочих и этот побуждает учёных и общественность все активнее требовать перехода на малоотходные технологии переработки топлива и улучшения существующей практики обращения с отходами, приводя ее к соответствию современным экологическим требованиям. В этой связи предлагаемые подходы правомерно рассматривать как работу, направленную на достижение ряда социально-экономических эффектов, в т.ч.:

- Создание принципиально новых эффективных технологий переработки ОЯТ для адекватного соответствия планам развития атомной энергетики РФ;



- Совершенствование процессов и снижение рисков в обращении с отходами атомной энергетики за счёт устранения или существенно снижения их образования;
- Повышение производственной экологической безопасности персонала радиохимических предприятий РФ.

**Оценка затрат на проведение исследований.** Для выполнения этих работ следует объединить усилия ряда коллективов, в частности консорциум, созданный ГЕОХИ РАН и РХТУ им. Д.И. Менделеева, а также ИФХЭ РАН, НПО «Радиевый институт им.В.Г. Хлопина, являющиеся одними из ведущих научных организаций в данной области. Выполнение работ можно проводить в рамках ориентированных фундаментальных исследований. Первичная оценка стоимости работ составляет порядка 7,0 млн. рублей на трёхлетний исследовательский период. Радиохимические предприятия РФ: ФГУП «ПО «Маяк» (Озерск) и Горно-химический комбинат (Красноярск) являются потенциальными потребителями описываемых разработок.

#### **7.4. Новые матричные материалы для иммобилизации высокосолевых радиоактивных отходов, содержащих актиниды, продукты деления и коррозии**

**Состояние отрасли науки и технологии в России и за рубежом на текущий момент и мировые тенденции развития отрасли.** Наиболее развитые страны непрерывно увеличивают долю энергии, производимую атомными электростанциями: Франция – около 75%, Германия и Япония – более 30%, Великобритания – около 30%, США – около 20%. Правительством РФ поставлена задача по почти двукратному увеличению доли атомной энергии в России к 2015 году с нынешних 16 до 25%. Условием дальнейшего развития атомной энергетики в нашей стране является безопасное обращение с РАО. По нормам МАГАТЭ главными принципами при обращении с РАО являются концентрирование и иммобилизация радионуклидов в консервирующих матрицах с последующим их размещением в подземных хранилищах. Это предотвращает миграцию радионуклидов, исключает возможности их выхода во внешнюю среду и минимизирует их радиационное воздействие на биосферу. Главным требованием к таким матрицам является их способность длительное время надежно удерживать радионуклиды при взаимодействии с подземными водами в условиях радиации и повышенной температуры. Они должны быть механически прочными, хорошо проводить тепло, иметь достаточную ёмкость для вмещения отходов. Ещё одним условием выбора матриц является возможность их экономически эффективного изготовления в промышленных масштабах. В настоящее время для иммобилизации отходов атомной энергетики используют цементные (для среднеактивных отходов) и стекломатрицы (для ВАО). Однако, кроме своих достоинств (например, экономикой существующих технологий), к сожалению, эти матрицы имеют и ощутимые недостатки: низкая химическая устойчивость (скорость выщелачивания нуклидов превышает требуемые значения в 10-1000 раз), малое наполнение отходами и низкая морозостойкость (для цемента), недостаточная кристаллизационная стойкость (для стекла) и т.д. Поэтому в научной среде утвердилось мнение о необходимости поиска альтернативных материалов для экологически безопасного хранения отходов. В качестве таких материалов различными научными группами предлагается использование аналогов природных минералов (фосфатов, титанатов, цирконатов), что находит отражение в многочисленных публикациях. В Аргоннской Национальной Лаборатории (ANL, США) в течение последних двух десятков лет проходили исследования фосфатных материалов различного состава преимущественно для их использования при изготовлении радиационнозащитных экранов, в качестве цементов для нефтескважин, а также в строительстве и в медицинских целях. В последние годы интерес к низкотемпературным фосфатным материалам, которые могут явиться альтернативой цементам для отверждения жидких отходов, заметно возрос.

Таким образом, имеется фундаментальная задача по изучению поведения актинидов, продуктов деления и коррозии, а также установления физико-химических свойств и закономерностей фазообразования фосфатных матриц с целью создания научных основ нового оригинального метода иммобилизации жидких радиоактивных отходов без высокотемпературной обработки для обеспечения долговременной экологической безопасности при хранении отходов различного состава и происхождения.

Конкретная фундаментальная задача в рамках указанной проблемы состоит в оптимизации условий синтеза минералоподобных магний-калий- фосфатных матриц, определение их консервирующих свойств (химическая, радиационная, механическая устойчивость и др.) и изучение форм нахождения актинидов и других радионуклидов (цезий, стронций, технеций, йод, селен) в полученных матрицах. Новизна предлагаемых подходов к решению научных задач проекта в рамках обозначенных проблем состоит в том, что исследования магний-калий-фосфатных матриц применительно к нетермической иммобилизации жидких высокосолевых РАО и ВАО ранее не проводились.

**Предлагаемые подходы к решению поставленной задачи.** Использование матриц на основе кристаллического гексагидрата двойного ортофосфата магния-калия (матрицы МКФ), образующегося в обычных условиях при комнатной температуре в результате химической реакции между оксидом магния и дигидрофосфатом калия в воде, в качестве матриц для иммобилизации жидких РАО представляется весьма эффективным. Подобие данных методов цементирования обуславливает простоту реализации и мобильность процесса отверждения, приводит к минимизации энергозатрат и существенному снижению количеств «вторичных» РАО. Следует также учесть ряд ощутимых преимуществ таких материалов в сравнении с цементом: возможность отверждения отходов в широком диапазоне их pH, высокая степень наполнения полученных матриц компонентами РАО, устойчивость к воздействию низких температур. Кроме того, следует отметить существование в природе аналогов фосфатных минералов – монацита и апатита – проявляющих высокую физико-химическую стабильность в геологических условиях; при этом содержание природных U, Th в этих минералах может достигать десятков масс.%. Именно за такими минералоподобными материалами, по мнению большинства исследователей, состоит будущее в развитии методов обращения с РАО.

**Потенциальные потребители научных результатов и оценка затрат на проведение исследований.**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение «Маяк» (ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск Челябинской обл.), ФГУП «Горно-химический комбинат» (Красноярский край, г. Железногорск), Государственное унитарное предприятие г. Москвы Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды (ГУП МосНПО «Радон», Сергиев-Посад, Московская обл.).

Первичная оценка стоимости работ составляет порядка 5-7,0 млн. рублей на трёхлетний исследовательский период.

## **7.5. Технологии очистки воды**

**Мировые тенденции развития отрасли науки, связанной с очисткой природных вод от загрязнений.** Прогрессирующее загрязнение природных вод в настоящее время свершившийся факт. Список все новых нежелательных компонентов, загрязняющих главные природные источники питьевой воды в Мире: грунтовые воды, реки и озера, постоянно пополняется. Климатические изменения приводят к изменению температуры и состава биотической компоненты в водоемах, что все чаще приводит к снижению активности самоочищения. В большинстве стран в природных водах накапливаются различные органические и неорганические загрязнения. Это приводит к огромным финансовым и энергетическим затратам на водоподготовку питьевой воды в

промышленных условиях. Очистка природных вод, особенно после аварийных и залповых загрязнений может существенно облегчить эту задачу. Однако, традиционные подходы к очистке природных вод все чаще демонстрируют недостаточную эффективность. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка эффективных методов очистки воды, основанных на принципиально новых основах, сочетающих использование (технологическое моделирование), основных компонентов механизма природного самоочищения воды от таких загрязнений и достижений современной биотехнологии при учете эколого-географических особенностей региона использования таких технологий.

**Состояние отрасли науки и соответствующих технологий в России на текущий момент и ее перспективы.** Положительным примером нового типа технологий очистки природных вод является технология биосорбентов, научно-методические основы которой разработаны и реализованы в ИНОЗ РАН в виде опытной технологии производства и применения этих продуктов к такому загрязнителю, как нефть. Биосорбенты превзошли по основным параметрам эффективности зарубежные и отечественные аналоги.

Для решения более широкого круга задач очистки природных вод перспективны следующие исследования и разработки, направленные на расширение спектра применения биосорбционных технологий и перевод их на принципиально новый качественный уровень:

- разработки научно методических основ биосорбционной очистки природных вод от радионуклидов, тяжелых металлов, арсенидов и фторидов и создание соответствующих типов биосорбентов; расширение круга органических загрязнителей воды очищаемых биосорбентами (фенолы, целлюлоза и др.).

- разработка научно-методических основ создания биосорбентов не только на базе иммобилизованных микроорганизмов, но и на базе иммобилизованных ферментов, выделенных из этих микроорганизмов, обеспечивающих разрушение основных типов органических загрязнителей. В конечном счете, речь идет о создании наноструктур, материалов, со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами, связанными с разрушением органических молекул загрязнителя.

**Перспективные потребности в продукции отрасли.** Предварительная оценка рынка препаратов для очистки воды и почвы от загрязнений (в основном нефтепродуктами) на микробиологической основе в РФ составляет от 8 до 12 млн. долларов США в год. Сложность в корректной оценке состоит в том, что многие продукты применяются для очистки почвы, но не воды. По некоторым данным такой рынок в Европе по крайней мере на порядок объемнее.

**Критические и прорывные технологии.**

**Имеющиеся технологии в России.** Успехи в ликвидации любых видов аварийных загрязнений воды в настоящее время преимущественно связаны с применением нового класса эффективных препаратов – так называемых биосорбентов. Биосорбенты это препараты, полученные биотехнологическим путём за счёт иммобилизации природных микроорганизмов и некоторых факторов, способствующих разрушению нефти, в матрицу природных алюмосиликатов – перлит, вермикулит, цеолит. Для изготовления тяжелых форм биосорбентов используют цеолиты и, в некоторых случаях, керамзитовую крошку. Препараты способны разрушать нефтепродукты, в широком диапазоне температур, вплоть до 0° - +2°С. В отличие от широко рекламируемых за рубежом и в России сорбентов на полимерной и углеродной основе, имеющих высокую ёмкость по нефтепродуктам (1:15: 1:30 и т.д.), эти препараты не образуют много килограммовых конгломератов нефть-сорбент. Они также, в отличие от обычных сорбентов, не консервируют нефть в себе, а разрушают её, что не приводит к вторичным загрязнениям, часто имеющим место при использовании упомянутых выше сорбентов. В предлагаемой технологии, если сбор продукта затруднен или не возможен, то процесс разрушения нефти идет до конечных стадий, когда в окружающей среде остаются только продукты разложения нефти: CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, а также 10-15 % асфальтенов, экологически инертных

компонентов. Кроме того, в природе остаются алюмосиликатные ингредиенты, безвредные для окружающей среды. Оставшиеся инертные асфальтены также подвергаются биодеструкции, но не за 2-4 недели, как основные фракции нефти, а за несколько месяцев в зависимости от температуры. В естественных условиях это процесс занимает несколько лет.

Ещё один важный эффект биосорбентов связан с активизацией самоочищения за счёт природных процессов, которые без препарата ингибируются под действием разлитых нефтепродуктов. Как показало практическое применение, препарат значительно упрощает механический сбор нефти, если условия для этого благоприятны. Таким образом, биосорбент может использоваться как автономно, так и в сочетании с традиционными средствами механического сбора. Процесс биодеструкции нефти идёт также в донных отложениях и береговой зоне, в том числе и в анаэробных условиях. Биосорбенты превзошли многие зарубежные аналоги по эффективности и экологической безопасности, особенно в условиях низких температур ( $-1^{\circ}\text{C}$ .....  $+10^{\circ}\text{C}$ ) при стоимости в 2-3 раза ниже, чем другие сорбенты. Действие биосорбента на сырую нефть на поверхности воды имеет два основных направления – а) физико-химическое разрушение и фрагментация нефтяного пятна, что создаёт оптимальные условия для механического удаления нефти из воды и б) активности в разрушении нефти.

Разрушение нефти биосорбентом осуществляется:

- биодеструкцией за счёт бактерий, содержащихся в частицах биосорбента (40-60% активности, в зависимости от условий: температуры, аэрации, типа нефти и пр.);
- разрушением нефти за счёт физико-химических факторов (10-18%);
- разрушением нефти за счёт природного самоочищения естественных водоёмов, которое активируется биосорбентом (20-30% активности).

#### **Несуществующие технологии, но необходимые для реализации конкретных задач.**

Для достижения высокой эффективности и целевой избирательности методов очистки природных вод от широкого круга загрязняющих ингредиентов перспективным следует считать переход от использования иммобилизованных микроорганизмов, способных или разрушать органические поллютанты и (или) минерализовать неорганические, к применению соответствующих ферментов, иммобилизованных особыми мелкодисперсными носителями и способными к очистке воды от соответствующих загрязнений.

Применительно к решению природоохранных задач таких технологий пока нет. Однако, опыт, накопленный в использовании иммобилизованных ферментов в промышленности (в основном – медицинской), некоторые исследования по применению иммобилизованных ферментов при водоподготовке и предварительные данные по анализу т.н. «экстремальной» водной микрофлоры дают основания полагать перспективность этого направления в недалеком будущем. Особое значение здесь имеют ферменты микроорганизмов, обитающих в экстремально низких температурных и олиготрофных условиях. Работы в этом направлении требуют выделения и исследования таких микроорганизмов, обитающих в первую очередь в Арктических районах, осуществление фундаментальных разработок в области подбора, выделения ферментов, методов их иммобилизации и создания соответствующих препаратов. В конечном счете, речь идет о создании наноструктурных материалов, со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами.