

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ

**о разработке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла/комплексного научно-технического проекта полного инновационного цикла**  
Разработка и внедрение в производство комплекса прорывных, безопасных для человека и природы электронно-лучевых технологий и технических средств обезвреживания отходов и аварийных техногенных выбросов

**1. Информация, содержащаяся в заявке на разработку комплексной программы, комплексного проекта, включая информацию о предполагаемых ответственных исполнителе, соисполнителях, участниках комплексных программ, комплексных проектов, сроках разработки комплексной программы, комплексного проекта, уточненную и дополненную советом по приоритетному направлению по итогам проведенного анализа заявки на разработку указанных комплексной программы, комплексного проекта.**

Проект нацелен на создание и внедрение инновационного прорывного направления в обезвреживании жидких, газообразных и иловых отходов – электронно-лучевого обезвреживания (далее ЭЛО). В проекте объединяются усилия ведущих исследовательских центров, обладающими всемирно-признанными компетенциями в предметной области проекта:

- в методах и технологиях электронно-лучевых процессов

**ИФХЭ РАН** - Институт Физической Химии и Электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН;

**НИИТФА** - НИИ Технической Физики и Автоматизации ГК Росатом;

**МГУ** - Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова;

**РХТУ** - Российский Химико-технологический Университет им. Д.И. Менделеева;

**ИЯФ СО РАН** - Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского Отделения РАН;

**НИИЭФА** - АО НИИ Электрофизической Аппаратуры им. Д.В. Ефремова ГК Росатом),

- анализе последствий экономических решений и определении набора сбалансированных мер для достижения экономических целей

**ИНП РАН** - Институт Народногохозяйственного Прогнозирования РАН,

- в анализе медико-биологических и экологических характеристик отходов и и эффективности применения методов обезвреживания отходов

**ФМБА РФ** - Федеральное медико-биологическое агентство России;

**ИПЭЭ РАН** - Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН;

**ИОГен РАН** - Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН;

**ЮФУ** – Южный федеральный университет.

Взаимосвязи проекта с государственными задачами показано на Диаграмме (Рис. 1). Взаимосвязи между основными участниками проекта показаны на Диаграмме (Рис. 2.). Предполагаемыми участниками проекта являются также НИИ и КБ территориальных водоканалов.

Предполагаемый ответственный исполнитель - **Министерство природных ресурсов и экологии РФ.**

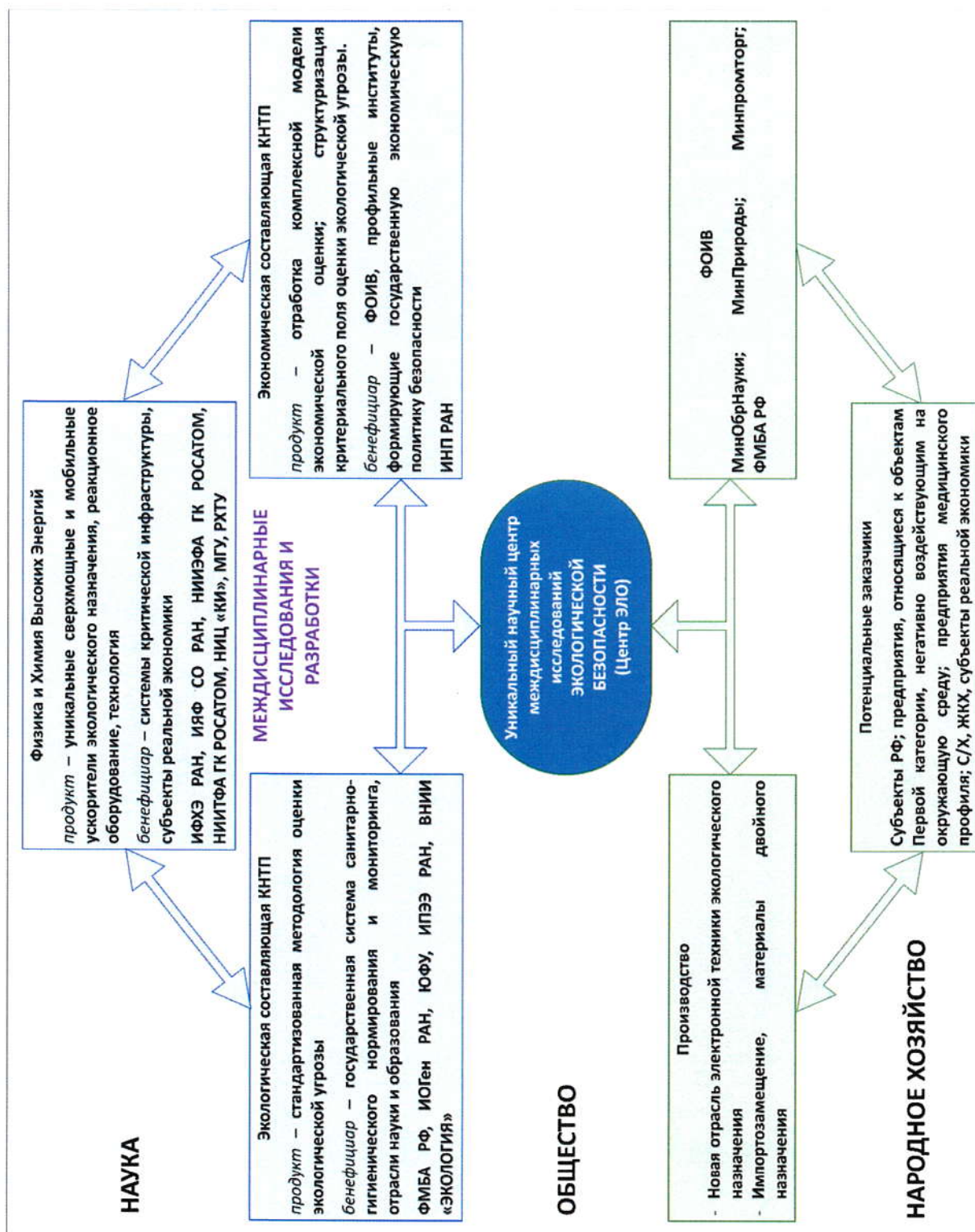


Рис. 1. Взаимосвязи проекта с государственными задачами

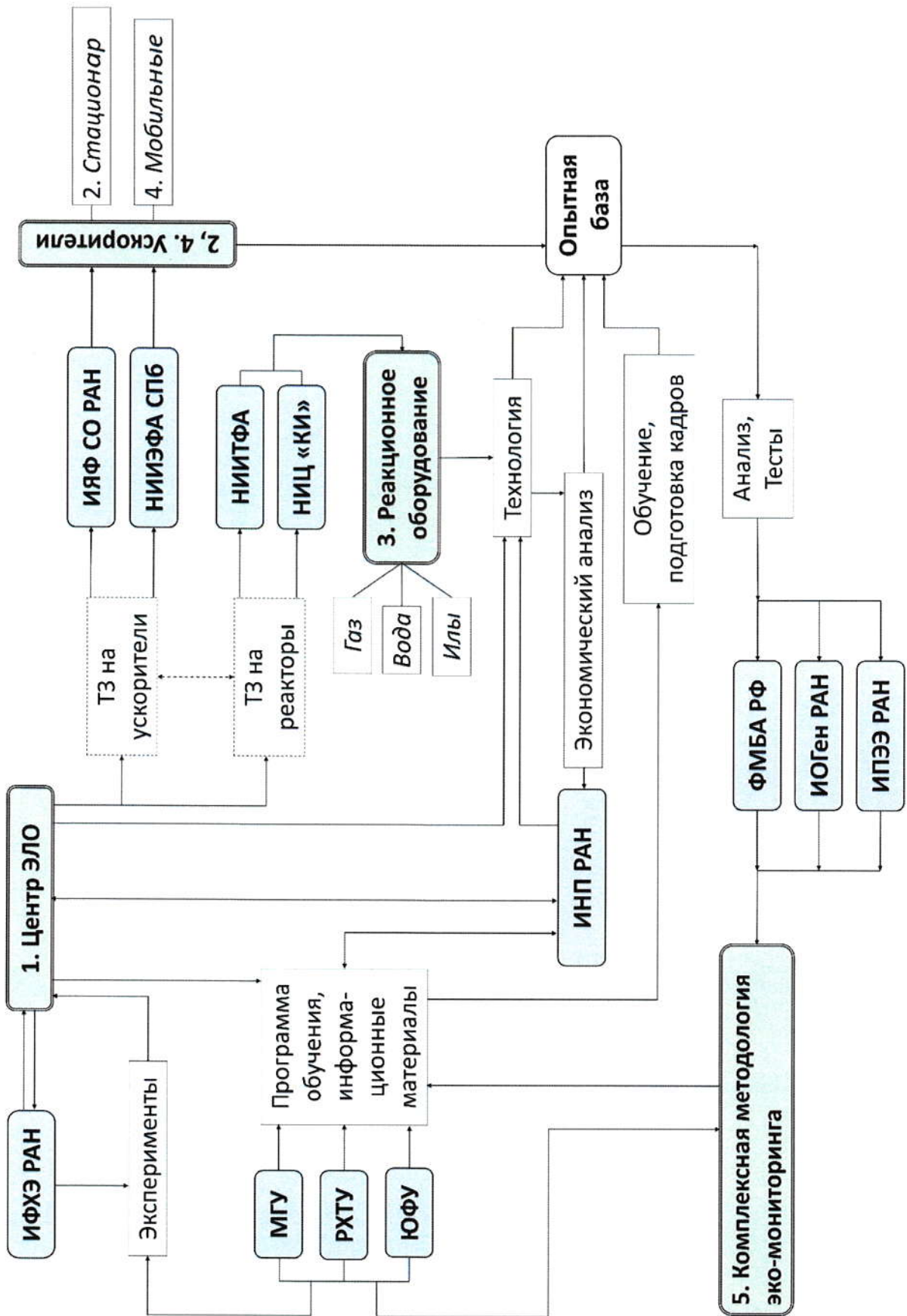


Рис. 2. Взаимосвязи между основными участниками при решении приоритетных задач

Целевые направления Программы

- 1 Очистка стоков (детоксикация, обесцвечивание, дезодорация, повышение биоразлагаемости, удаление тяжелых металлов, обезвреживание диоксинов, деминерализация, коагуляция, стерилизация и др.);
2. Обезвреживание дренажных стоков с полигонов твердых бытовых отходов (свалок).
3. Очистка дымовых и выбросных газов (прежде всего, очистка от двуокиси серы и окислов азота), в том числе, с получением сельскохозяйственных удобрений;
4. Переработка твердых производственных отходов в форме ила, пульпы, шламов и т.п. (прежде всего, обеззараживание и получение сырья для потребительских товаров);
5. Обезвреживание осадков сточных вод (дезинфекция, дегельминтизация, инактивация возбудителей бруцеллеза, сальмонеллеза, пастереллеза, рожи свиней, ящура, чумы, сибирской язвы и др.), в том числе, с получением удобрений.

Все эти процессы осуществимы посредством применения электронно-лучевой обработки (далее ЭЛО) загрязненных сред и материалов. ЭЛО основано на обезвреживании загрязнений под действием пучков ускоренных электронов, генерируемых мощными электрофизическими устройствами – ускорителями электронов.

Современная несбалансированность экологии и экономики приближает критическую ситуацию - на 30% сократилась численность диких животных и птиц (за последние 40 лет), в четыре раза уменьшилось количество живых организмов в морях и океанах (за 20 лет), ежегодно исчезает около 11 млн. га лесов (в 10 раз больше, чем темпы лесовосстановления), ежегодно выбрасывается в атмосферу более 60 миллионов тонн углекислого газа, более 40% почв находится в состоянии эрозии, количество доступной пресной воды уменьшилось на 60%. По подсчетам мировых экспертов, на очистку воды до требований питьевых стандартов приходится тратить почти 60 млрд. долларов на год. Экономические издержки, связанные с преждевременной смертью людей и утратой трудоспособности в результате загрязнения воздуха, составляют около 1,6 триллионов долларов США. По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения, рост ВВП до 10 процентов возможен посредством улучшения здоровья людей, поскольку увеличение продолжительности жизни и снижение риска заболеваний от плохой экологии способствуют росту производительности труда, увеличению трудоспособного населения и снижению нагрузки на здравоохранение.

Сокращение загрязнения экосистемы – разумное долгосрочное капиталовложение, со временем приносящее экономическую выгоду. В этой связи, особое значение приобретают чистые («зеленые») технологии, такие как электронно-лучевая обработка (ЭЛО), входящая в число Передовых Окислительных Технологий (Hilles A. H., et al. *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*; Parsons, S., Ed.; IWA Publishing: London, 2018. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5766-1.ch003>). Расширение рынка чистых технологий приводит к снижению производственных затрат и расходов на борьбу с загрязнением. Страны с наибольшим весом чистых технологий получают неоспоримые преимущества.

Для перевода экономики России на путь устойчивого развития необходимо осуществить комплекс обязательных мер, включая совершенствование законодательства, экологических стандартов и качества мониторинга состояния окружающей среды. Более того, для России, экономика которой довольно энергозависима, особенно важно осуществлять эффективные преобразования энергетических активов в чистые технологии, гарантирующие достойные условия жизни нынешним и будущим поколениям.

Программа исходит из федеральной политики, направленной на социально-экономическое развитие страны. Социальной сущностью Программы является вклад в поддержание здоровья и трудоспособности населения на максимально возможном уровне. Социально-экономическая значимость конечных результатов реализации Программы состоит как из прямого улучшения экологической обстановки и уровня жизни населения, так и из повышения экономического потенциала регионов:

- решение экологических проблем, обусловленных токсичными веществами, обезвреживание которых традиционными методами невозможно или чрезмерно дорого;
- снижение уровня воздействия на работников вредных и опасных производственных факторов с обеспечением благоприятных условий труда и предотвращением профессиональных заболеваний и производственных травм на очистных сооружениях;
- обоснование и оптимизация системы правовых норм, формирующих стандарты безопасных и здоровых условий труда и правовых средств по обеспечению их соблюдения;
- создание новой отрасли электронной техники экологического назначения с предоставлением новых товаров и услуг;
- повышение занятости и уровня исследований в области электронно-лучевых технологий, химии и физики высоких энергий, аддитивных технологий;
- улучшение финансового положения предприятий, производящих элементы и агрегаты электронной техники, а также смежных предприятий (мультипликативный эффект);
- повышение уровня занятости населения и создание новых рабочих мест в сфере создания высоковольтной ускорительной техники и реакторного оборудования.
- развитие конкуренции в сфере природоохранных технологий с расширением потребительского выбора;
- развитие малого вспомогательного бизнеса для повышения уровня устойчивого развития территории;
- расширение налогооблагаемой базы бюджета в местах производства и использования ускорительной и реакторной техники;

По мере роста производства, косвенные социально-экономические эффекты ожидаются в смежных отраслях, прежде всего, в машиностроении, металлургии, транспорте. Выполнение Программы обусловит строительство новых предприятий и модернизацию уже существующих, повысит региональную деловую активность. Программой планируется максимально возможное привлечение российских производителей и поставщиков основного технологического оборудования и технологий.

Социально-экономическое развитие находится в прямой зависимости от контроля его влияния на защищенность населения от негативного влияния местных суперэкоотоксикантов (СЭ), в частности, диоксинов (полигалогенированные производные бензола и фурана). Особенность многих СЭ состоит в их способности к аккумуляции в живых организмах и окружающих материалах. Эта особенность провоцирует формирование и развитие длительных, хронических, токсических процессов в организмах, подвергаемых даже малым субтоксичным дозам СЭ. Опасность представляют отдаленные последствия хронического контакта с СЭ. Однако стратегия контроля и нормативы учета отдаленных последствий в поколениях населения отсутствуют. В этой связи, программа предусматривает скорейшую разработку направлений совершенствования системы охраны здоровья населения на территориях, где имеет место или предполагается накопление СЭ. Эта работа включает изучение общих механизмов, закономерностей и особенностей формирования, развития и течения патологий, обусловленных

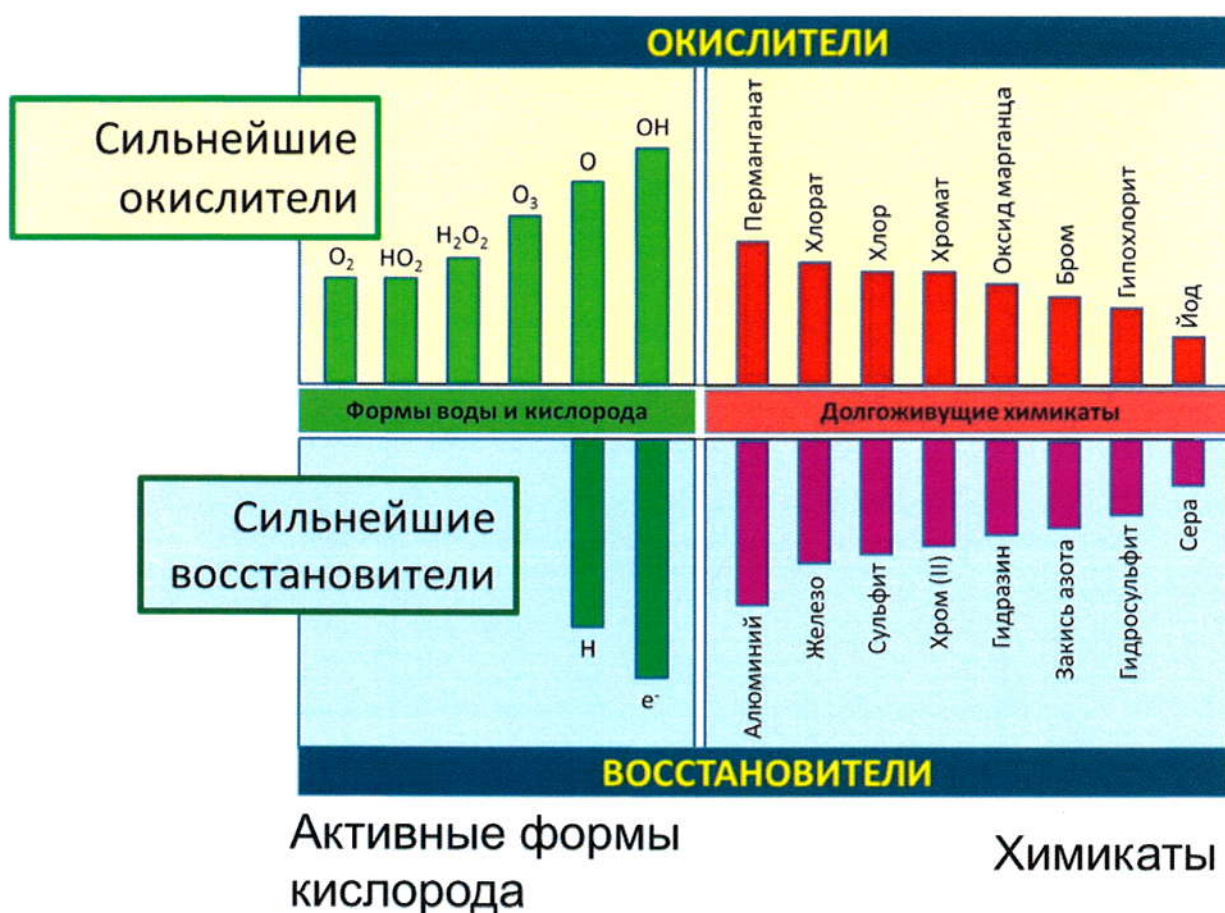
СЭ; разработку основ и методической базы для совершенствования системы контроля и охраны окружающей среды и здоровья населения в очагах и зонах накопленного экологического ущерба; создание аналитической базы для развертывания прикладных исследований в области сбережения здоровья населения на территориях, загрязненных СЭ. Наиболее пристального внимания заслуживают территории в окрестностях свалок, промышленных источников диоксинов, на загрязняемых сточными водами территориях, в крупных промышленных центрах и моногородах с существующей или существовавшей химической промышленностью, на территориях мегаполисов.

Выполнение программы направлено на обоснование новых экологических и природоохранных нормативов, опирающихся на развернутый анализ экологической ситуации на объектах отечественной инфраструктуры. Анализ обращения с отходами призван выявить ключевые текущие и ожидаемые экологические проблемы, связанные с использованием устаревших технологий, а также предложить пути их преодоления. Важнейшей составной частью государственной экологической политики является «экологическое» образование населения и, в первую очередь, госчиновников. Поэтому эффективное экологическое образование – важная составляющая предлагаемой программы.

Текущая тактика обезвреживания биологически опасных веществ антропогенного происхождения основана на широкомасштабном применении химических реагентов в условиях низкой энерговооруженности обеззараживания. Эта тактика ведет к непрерывному росту химической и биохимической нагрузки на окружающую среду – накоплению и распространению избыточных реагентов и полупродуктов в воздухе, в воде и в почве. Результатом является отравленный воздух в населенных пунктах, грязная вода в водоемах и в водопроводах, громадные и зловонные свалки, рост тяжелых заболеваний у населения. Применяемые химикаты и методы всё реже и хуже справляются с обезвреживанием антропогенных загрязнений, в первую очередь, из-за низкой химической активности по сравнению с самими загрязнениями.

Любая химическая реакция представляет собой перенос электрона между молекулами загрязнений и химикатов. Такой перенос может быть осуществлен с помощью окислительных или восстановительных химикатов. Однако процесс является медленным и действует лишь на часть загрязнений. При этом часть продуктов окисления или восстановления оказываются более токсичными, чем исходные загрязнения. Важнейшая тенденция в водоочистке - максимальное уменьшение дозы применяемых химикатов.

Альтернативный путь обезвреживания загрязнений состоит в прямом переносе электрона между молекулами загрязнений и окружающими молекулами воды и атмосферного кислорода. В этом случае химикаты не требуются. Перенос электронов осуществляется с помощью электронных устройств – ускорителей электронов. Электроника уже используется повсеместно для промышленных и бытовых целей. Пришло время применить электронику для обезвреживания загрязнений. Технологии обезвреживания опасных веществ с помощью ускорителей электронов получили название – электронно-лучевая обработка (далее ЭЛО). Ускоритель создает пучок электронов, способных целенаправленно передавать энергию загрязнениям в воздухе, в воде или в твердом материале и, тем самым, обезвреживать эти загрязнения без ущерба для человека и окружающей среды. Электронно-лучевые технологии способны генерировать самые сильные окислительные и восстановительные частицы (Рис. 3), что, в частности, обеспечивает необходимые условия обезвреживания вирусов – разрушение цепочки РНК и подавление жизнедеятельности, что особенно актуально в эпидемиологических ситуациях, в частности, при пандемии, спровоцированной коронавирусом.



**Рис. 3.** Сравнительная сила промежуточных продуктов ЭЛО (активные формы кислорода) и обычных химикатов, применяемых в очистных технологиях.

**2. Наименование приоритета, на обеспечение которого направлена комплексная программа, комплексный проект, с обоснованием соответствия направленности комплексной программы, комплексного проекта приоритетам, а также важность реализации комплексной программы, комплексного проекта для достижения результатов по соответствующим приоритетам.**

Императив программы – экологическая безопасность человека. Современная антропогенная активность провоцирует рост негативных явлений, прежде всего, стремительное загрязнение окружающей среды отходами. В этой связи, способность страны поддерживать экологический баланс служит показателем уровня её цивилизованности. Суть программы сформирована из консолидации знаний о текущих и перспективных экологических проблемах и путях решения этих проблем передовыми физико-химическими методами. Программа исходит из федеральной политики, направленной на социально-экономическое развитие страны. Социальной сущностью Программы является вклад в поддержание здоровья и трудоспособности населения на максимально возможном уровне.

Электронно-лучевые технологии способны генерировать самые сильные окислительные и восстановительные частицы, что, в частности, обеспечивает необходимые условия обезвреживания вирусов – разрушение цепочки РНК и подавление жизнедеятельности, что особенно актуально в эпидемиологических ситуациях, в частности, при пандемии, спровоцированной коронавирусом, а также при аварийном заражении территорий. Особенную

экономическую эффективность ЭЛО приобретает при крупнотоннажном применении. Использование ЭЛО в сочетании с многими другими технологиями дает высокий, зачастую синергетический эффект.

Разрабатываемые решения, основанные на электронно-лучевой обработке, безопасны для человека и природы; более того они широко используются для стерилизации медицинской продукции (международный стандарт ISO 11137-1:2006; межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 11137-1-2011 «Стерилизация медицинской продукции») и пищевых продуктов (международный стандарт ISO 11137-1:2006; межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов»). Безопасность электронно-лучевых технологий регламентируется санитарными правилами и нормами СанПиН 2.6.1.2573-10 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ" и действующими Нормами Радиационной Безопасности.

Применение ЭЛО целесообразно рассматривать в приложении к крупным очистным сооружениям. Например, типичный объем сточных вод на крупных отечественных целлюлозно-бумажных предприятиях составляет порядка 100 000 м<sup>3</sup>/сутки. Типичный бойлер ТЭС мощностью 200 МВт вырабатывает около 30 000 т/сутки дымовых газов. В свою очередь, типичный областной центр производит до 2 000 т/сутки ило-образных органических отходов. Обычные технологии потребляют чрезмерно большую производственную площадь и дают сравнительно низкий эффект.

*Приоритетные направления обезвреживания:*

1. Очистка сточных вод (детоксикация, обесцвечивание, дезодорация, повышение биоразлагаемости, удаление тяжелых металлов, обезвреживание диоксинов, деминерализация, коагуляция, стерилизация и др.);
2. Обезвреживание дренажных стоков с полигонов твердых бытовых отходов (свалок).
3. Очистка дымовых и выбросных газов (прежде всего, очистка от двуокиси серы и окислов азота), в том числе, с получением сельскохозяйственных удобрений;
4. Переработка твердых производственных отходов в форме ила, пульп, шламов и т.п. (прежде всего, обеззараживание и получение сырья для потребительских товаров);
5. Обезвреживание осадков сточных вод (дезинфекция, дегельминтизация, инактивация возбудителей бруцеллеза, сальмонеллеза, пастереллеза, рожи свиней, ящура, чумы, сибирской язвы и др.), в том числе, с получением удобрений.

Все эти процессы осуществимы посредством применения ЭЛО загрязненных сред и материалов. ЭЛО основано на обезвреживании загрязнений под действием пучков ускоренных электронов, генерируемых мощными электрофизическими устройствами – ускорителями электронов.

*Приоритетные комплексные задачи:*

1. Разработка, создание и внедрение в научно-образовательную практику уникального Центра Компетенций - научно-демонстрационного комплекса (установок, средств контроля и измерения, учебно-методических и информационных материалов) для электронно-лучевых исследований экологического назначения (**1. Центр ЭЛО**); [- *впервые*]
2. Разработка, производство и внедрение технологических высокомошных электронных ускорителей экологического назначения, а также материалов, регламентирующих их применение (**2. Стационарные ускорители**); [- *впервые*]



3. Разработка, производство и внедрение комплекса реакционного технологического оборудования и технологии для электронно-лучевого обезвреживания газообразных, жидких и твердых ило-образных отходов (**3. Реакционное оборудование**); [- *впервые*]

4. Разработка, производство и внедрение мобильного электронно-лучевого модуля и технологии его использования для ликвидации аварийных и чрезвычайных загрязнений (**4. Мобильные ускорители**). [- *впервые*]

5. Разработка и внедрение комплексной методологии эко-мониторинга на объектах потенциального и текущего применения ЭЛО (**5. Комплексная методология эко-мониторинга**). [- *впервые*]

Разработка обеспечит прорыв в обезвреживании отходов за счет высочайшей степени обезвреживания, высокой единичной производительности (свыше 100 000 тон/сутки по воде и газам) и минимальной потребности в технологической площади (менее 100 м<sup>2</sup> на единичный ускоритель и сопряженный реактор).

Решение каждой из задач будет сопровождаться детальным экологическим анализом, разработкой программ обучения и подготовки кадров для электронно-лучевых технологий, популяризацией применения электронно-лучевых технологий в промышленной экологии и природоохранной практике, координационными мероприятиями с международными агентствами (ООН) и партнерами.

Выполнение программы основывается на глубоком экологическом анализе и должно привести к разработке, изготовлению и внедрению уникальной технологии и технических средств крупнотоннажного, энергоэффективного, безреагентного обезвреживания газообразных, жидких и твердых ило-образных отходов и аварийных техногенных выбросов.

Впервые будут созданы промышленные ускорители и электронно-лучевые установки с единичной обезвреживающей мощностью не менее 100 000 тон в сутки (т.е. будет достигнуто 10-кратное увеличение производительности при сокращении удельных энергозатрат).

Работы предусматривают создание и применение многотоннажных электронно-лучевых технологий и технических средств обезвреживания загрязнений без использования химикатов или с многократно-уменьшенным расходом химикатов.

Важнейшие достоинства реализуемых технических решений:

- замена опасных и экологически-вредных методов обезвреживания загрязнений на безреагентные и экологически-безопасные;
- сокращение и устранение источников дурно-пахнущих и канцерогенных газов, ядовитых примесей в воздухе, воде и в осадках сточных вод;
- стерилизация сред, образуемых при обезвреживании загрязнений;
- сокращение площадей, занимаемых обезвреживающими сооружениями;
- сокращение площадей, занимаемых под депонирование илового осадка и мусорные полигоны;
- сокращение стадий обезвреживания загрязнений с увеличением его качества;
- устранение избыточного содержания солей и соединений тяжелых металлов в очищенной воде и осадках сточных вод;
- создание условий для самоочистки водоемов, используемых для сброса воды;
- устранение источников цвета и неприятного вкуса в воде;
- повышение уровня автоматизации и контролируемости обезвреживания загрязнений;
- устранение ультрадисперсных соединений в воде и воздухе;
- снижение коррозионной активности воды на всех стадиях водоочистки;
- обеспечение необратимости и взаимодополняемости обезвреживающих эффектов.

**3. Информация об имеющихся и необходимых научном (для предложений о разработке комплексного проекта), научно-техническом заделе, опыте реализации проектов по тематике комплексной программы, комплексного проекта, наличии кадрового и инфраструктурного обеспечения реализации комплексной программы, комплексного проекта организаций, являющихся потенциальными заказчиками и участниками комплексной программы, комплексного проекта.**

В области ЭЛО имеется значительный научный задел. Отечественными и зарубежными специалистами исследованы фундаментальные и прикладные аспекты электронно-лучевого обезвреживания всевозможных загрязнений в воде, воздухе и твердых ило-образных отходах. Все эти процессы опробованы на маломощных (до ~100 кВт) электронных ускорителях коммерческого (неэкологического) применения (специализированных ускорителей экологического назначения нет). По результатам исследований опубликовано свыше 10 000 оригинальных и обзорных научных статей.

Наиболее значимые исследования по тематике ЭЛО проводились и проводятся в ИФХЭ РАН и ИЯФ СО РАН. Эти институты находятся в тесной координации с подразделениями МАГАТЭ и РОСАТОМа, занимающимися разработкой и производством электронно-лучевой техники. Насущность развития и внедрения ЭЛО в обезвреживание загрязнений подчеркивалась на недавних форумах Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ) с участием российских специалистов.

Всего в мире насчитывается свыше 30 000 ускорителей. С их помощью производят высококачественные полимерные материалы, включая кабели, пенопласты, термоусадочные изделия, шины, упаковочные пленки, контейнеры и много другой полезной продукции, в том числе материалы и изделия *двойного назначения*. Например, в Японии 95% шин производится с помощью ускорителей. Во многих странах внедрена электронно-лучевая стерилизация продуктов питания и изделий медицинского назначения, а также радиационные технологии экологического назначения. Именно для этого в Китае каждый год прибавляется примерно по 50 ускорителей. В России свыше 50% всех одноразовых медицинских изделий (шприцы, бинты, халаты, катетеры и т.п.) стерилизуются с помощью электронно-лучевой техники. Настоящая программа предусматривает расширение сфер применения наукоемкой электронно-лучевой техники за счет её внедрения в практику обезвреживания широкого спектра загрязнений.

Необходимость научных исследований в рамках программы обусловлена задачей создания новой, не имеющих аналогов, электронно-лучевой техники высокой мощности и, соответственно, разработкой технологий, отвечающих этому повышенному уровню техники.

Институты, задействованные в программе, относятся к числу крупнейших отечественных научных, научно-технологических и научно-производственных организаций, имеющих неоспоримый опыт в создании электронно-лучевых технологий и обладающих специализированным оборудованием. Потенциальные участники выполнения работ по программе имеют ведущих отечественных специалистов по экологии, электронно-лучевым технологиям и электронно-лучевому оборудованию, способных решать задачи комплексной программы. ИПЭЭ, ИОГ и ФМБАР обладают обширной системой филиалов, научных центров, лабораторий и биостанций, использующих весь комплекс передовых методов анализа и прогнозирования состояния окружающей среды, а также решения фундаментальных проблем охраны живой природы. В ИФХЭ, МГУ и РХТУ сосредоточено подавляющее большинство

отечественных специалистов в области химии высоких энергий и электронно-лучевых технологий. Эти организации обладают несколькими десятками патентов на передовые безопасные способы электронно-лучевой обработки, соответствующие задачам программы. ИЯФ и НИИЭФА обладают профильными производственными мощностями и непосредственно осуществляют производство электронных ускорителей по заявкам заказчиков (преимущественно иностранных). Оборудование, используемое в этих институтах, пригодно для изготовления уникальных узлов и систем ускорителя. ИЯФ и НИИЭФА оснастили свыше 250 производств электронными ускорителями технологического назначения, а также выпустили ускорители специального назначения (для досмотровых комплексов, медицины, дефектоскопии, ядерной физики и др.). НИИТФА ведет текущее проектирование электронно-лучевого оборудования, систем безопасности, управления и контроля, а также привязку ускорителей к действующим производствам. Все эти организации многократно сотрудничали в совместных отечественных и международных проектах по разработке электронно-лучевых технологий. В частности, совместными усилиями были созданы установки по очистке дымовых и углеводородных газов (в Польше, Болгарии, Индии, Румынии, Германии, России), по очистке производственных сточных вод (в России, Республике Корея, Китае) и осадков сточных вод (в Израиле, Республике Корея, Китае, Польше). В настоящей работе предусматривается разработка и создание двух уникальных сверхмощных ускорителей и двух уникальных мобильных ускорителей.

По данным Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ), электронно-лучевое обезвреживание стоков имеет наивысшую энергетическую эффективность (энергозатраты от 0.5 кДж/кг). Вместе с тем, наивысшей экономической эффективностью обладают установки с большим объемом перерабатываемых стоков (свыше 10 тысяч м<sup>3</sup>/сутки и более). В настоящей программе предполагается создать уникальные стационарные ускорители с производительностью обезвреживания сточных вод не менее 100 тысяч м<sup>3</sup>/сутки и разработать технологии, требующие для случая жидких систем не выше 3 кГр (3 кДж/кг) энергетических затрат.

Важнейшие показатели ЭЛО подробно рассмотрены в таких работах, как:

- Ershov B. G. // *Russ. Chem. Rev.* 2004, 73 (1), 101–113. <https://doi.org/10.1070/RC2004v073n01ABEH000865>.
- Pikaev A. K. // *Water Sci. Technol.* 2001, 44 (5), 131–138. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0269>.
- Chmielewski A. G., Han B. // *Top. Curr. Chem.* 2016, 374 (5), 68. <https://doi.org/10.1007/s41061-016-0069-4>.
- Wojnárovits L.; Takács E. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2017, 311 (2), 973–981. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4869-3>.
- Makarov I. E., Ponomarev A. V. // In *Ionizing Radiation Effects and Applications*; InTech, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72074>.
- Gehringer P., Matschiner H. // *Water Sci. Technol.* 1998, 37 (8), 195–201. <https://doi.org/10.2166/wst.1998.0325>.
- Borrely S. I., et al. // *Radiat. Phys. Chem.* 2016, 124, 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.11.001>.
- Meeroff D. E., et al. // *Radiat. Phys. Chem.* 2019, 168, 108541. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108541>.
- Han B., et al. // *Water Sci. Technol.* 2005, 52 (10–11), 317–324. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0708>.

- Chmielewski A. G. // *Rev. Accel. Sci. Technol. Accel. Appl. Ind. Environ.* 2012, 147–159. <https://doi.org/10.1142/S1793626811000501>.

- IAEA. Achievements in the Removal of Biohazardous Pollutants by Radiation. 8 - 12 July, 2019; IAEA: Lisbon, Portugal, 2019.

- IAEA. Radiation Inactivation of Bio-Hazards Using High Powered Electron Beam Accelerators. 02 – 06 March, 2020.; IAEA: Tunisia, 2020.

- Ponomarev A.V., Ershov B.G. The Green Method in Water Management: Electron Beam Treatment. // *Environmental Science and Technology*, 2020, V. 54 (9), P. 5331–5344. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00545> (журнал 1-го квартiля)

- Ponomarev A.V. High-speed electron-beam water treatment: A technological consideration. // *Radiat. Phys. Chem.*, 2020, V. 172, P. 108812. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108812> (журнал 1-го квартiля)

**4. Информация о ключевых ожидаемых промежуточных результатах реализации комплексной программы, комплексного проекта, необходимых для получения итоговых ожидаемых результатов реализации комплексной программы, комплексного проекта, предлагаемых к разработке технологий, продуктов и предлагаемых услугах, и (или) способствующих их получению.**

План предусматривает полный инновационный цикл комплексных работ, скоординированных по задачам, срокам и ресурсам, включающий в себя научно-исследовательские, производственные и организационные работы. Фундаментальные научные исследования являются необходимым условием успешного создания и применения новой техники, разработки прорывных технологий и стратегий развития. Поэтому реализация программы предусматривает совершенствование научно-исследовательской базы и её использование в передовых научных исследованиях и разработках по заявляемым направлениям. Ранее требуемые ускорители высокой мощности не создавались и не использовались на практике. Как следствие, задачи фундаментальных научных исследований направлены на выяснение особенностей взаимодействия мощных электронных пучков с веществом, на экологические показатели электронно-лучевой обработки, а также на определение условий реализации синергетических, цепных и пост-эффектов, обеспечивающих эффективность электронно-лучевой обработки отходов в промышленных масштабах. Новизна решаемых задач иллюстрируется Диаграммой (Рис. 4).

Задача	Особенности	Наличие аналогов в РФ	Наличие аналогов в мире
1. Центр ЭЛО	Скоростной анализ механизма ЭЛО, а также состава конечных и промежуточных продуктов ЭЛО.	НЕТ	НЕТ
2. Стационарные ускорители	Мощность в пучке выше 500 кВт (при пересчете на энергию 1 МэВ)	НЕТ	НЕТ
3. Реакционное оборудование	Производительность обезвреживания в условиях ЭЛО выше 100 000 м <sup>3</sup> /сутки (в расчете на воду)	НЕТ	НЕТ
4. Мобильные ускорители	Мобильность в составе стандартных морских контейнеров и трейлеров	НЕТ	НЕТ
5. Комплексная методология эко-мониторинга	Система мониторинга суперэкоксидантов с обоснованием новых экологических и природоохранных нормативов.	НЕТ	НЕТ

Рис. 4. Инновационные особенности проекта.

Актуальность создания уникального научного комплекса для электронно-лучевых исследований экологического назначения (Комплексная задача 1) связана с насущной необходимостью появления в стране и мире первого мощного инструмента мирового уровня для разработки, отладки и внедрения прорывных технологий на основе использования электронных пучков в экологической и природоохранной практике. Такой комплекс востребован для проведения междисциплинарных исследований в рамках задач Минобрнауки и Минприроды, включая задачи комплексного анализа воздействия жидких, газообразных и твердых илообразных отходов на здоровье человека, состояние окружающей среды; выявления ключевых проблем; критических информационных пробелов; совершенствование нормативов очистки. Фундаментом такого научного комплекса может явиться УНУ КРХИ при ИФХЭ РАН.

Актуальность создания высоковольтных ускорителей экологического назначения 2-х инновационных типов (Комплексная задача 2) связана с задачей развитие мощностей и

технологий очистки выбросов и стоков, и основывается на доказанной эффективности электронно-лучевого обезвреживания загрязнений, но отсутствии на мировом рынке ускорителей промышленного типа, пригодных для крупнотоннажных экологических и природоохранных применений. Сегодня выпускаются ускорители, ориентированные на электронно-лучевое модифицирование полимерных материалов, где не нужна высокая мощность (высокий ток) пучка. Для обработки 1 млн. тонн воды или газов в сутки (отходы среднего города) потребовалось бы более 100 таких ускорителей, что дорого и требует большой площади. К тому же, требования, предъявляемые к пучковым окнам для коммерческого модифицирования пластиков и, например, сточной воды, не совпадают. Объемы муниципальных отходов многократно выше, чем производственные мощности отдельных предприятий. Программа предусматривает создание новых специализированных ускорителей высокой мощности (не менее 400 кВт, ток пучка не менее 0.5 мА), что в перспективе позволило бы использовать 3-5 ускорителей вместо 100. Площадь, необходимая для размещения одного ускорителя слабо зависит от мощности пучка, поэтому новые ускорители заняли бы в десятки раз меньшую площадь. Поэтому для компактного и экономичного решения экологических задач мощность ускорителей должна быть не менее 400 кВт.

Передовые тенденции развития крупнотоннажных электронно-лучевых технологий экологического назначения свидетельствуют о целесообразности изготовления: 1) установок с «мульти-пучковыми» ускорителями, когда один высоковольтный генератор питает несколько ускорительных трубок, используемых для обезвреживания нескольких параллельных потоков (1-ый тип, ИЯФ СО РАН); 2) установок с «мульти-оконными» ускорителями, когда электронный пучок, формируемый одной ускорительной трубкой, распределяется между несколькими пучковыми окнами, используемыми для облучения одного кольцевого потока с разных направлений (2-ой тип, НИИЭФА). Эти два типа ускорителей различаются габаритами и пространственным распределением энергии в реакционном оборудовании и, соответственно, определяют разные требования к конструкции реакционного под-пучкового оборудования. Необходимость в двух типах ускорителей определяется разными типами отходов, их разным объемом, составом и степенью загрязненности, разными требованиями к конечному результату и разными типовыми условиями размещения на технологических площадках.

Актуальность создания реакционного технологического оборудования для электронно-лучевой обработки (Комплексная задача 3) обусловлена задачами развития индустрии утилизации и рециклинга отходов, а также развития мощностей и технологий очистки выбросов и стоков. Отсутствие мощных ускорителей для крупнотоннажных экологических и природоохранных задач влечет за собой пробелы в создании реакционного технологического оборудования, пригодного для работы в связке с такими ускорителями. Реакционные сосуды должны соответствовать геометрии и энергетическим характеристикам электронного пучка и, соответственно, их создание напрямую зависит от создания мощных ускорителей.

Актуальность создания мобильного электронно-лучевого модуля (-ей) для ликвидации аварийных и чрезвычайных загрязнений (Комплексная задача 4) связана с насущной задачей повышения технического потенциала и оснащенности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Эффективность ликвидации таких последствий напрямую зависит от оперативности доставки соответствующих средств к месту чрезвычайных ситуаций. Мобильный электронно-лучевой модуль представляет собой компактный электронный ускоритель в комплексе с реакционным оборудованием и системами управления. Такой модуль может размещаться на базе типовых грузовых средств

автомобильного, железнодорожного, водного или авиационного транспорта, обеспечивающих мобильность.

Решение каждой комплексной задачи будет сопровождаться анализом сопряженных экологических проблем – выявлением степени угрозы здоровью населения, длительно находящегося или проживающего в условиях воздействия загрязнений на территориях, прилегающих к очистным сооружениям, промышленным и сельскохозяйственным предприятиям (Комплексная задача 5). Такие источники провоцируют возникновение токсических эффектов, провоцирование вирусных инфекций и, как следствие, общее иммунодепрессивное действие на человека. Решение экологической проблемы особенно актуально в эпидемиологических ситуациях, в частности, в условиях распространения новой коронавирусной инфекции. Также решение каждой из задач будет сопровождаться разработкой программ обучения и подготовки кадров для электронно-лучевых технологий, популяризацией применения электронно-лучевых технологий в промышленной экологии и природоохранной практике, координационными мероприятиями с международными агентствами (ООН) и партнерами.

##### **5. Информация об эффектах от реализации комплексной программы, комплексного проекта, влияющих на развитие импортозамещения и повышение экономической независимости Российской Федерации, имеющих значение для национальной безопасности Российской Федерации, а также о социальных, экономических и других эффектах от реализации комплексной программы, комплексного проекта.**

Текущая тактика обезвреживания биологически опасных веществ антропогенного происхождения основана на широкомасштабном применении химических реагентов в условиях низкой энерговооруженности обеззараживания. Эта тактика ведет к непрерывному росту химической и биохимической нагрузки на окружающую среду – накоплению и распространению избыточных реагентов и полупродуктов в воздухе, в воде и в почве. Результатом является отравленный воздух в населенных пунктах, грязная вода в водоемах и в водопроводах, громадные и зловонные свалки, рост тяжелых заболеваний у населения. Применяемые химикаты и методы всё реже и хуже справляются с обезвреживанием антропогенных загрязнений, в первую очередь, из-за низкой химической активности по сравнению с самими загрязнениями.

Цель проекта состоит в разработке, промышленном внедрении и организации серийного производства технических средств для реализации безопасных уникальных электронно-лучевых технологий крупнотоннажного, энергоэффективного, безреагентного обезвреживания газообразных, жидких и ило-образных отходов и аварийных техногенных выбросов с обеспечением радикального снижения негативной химической и биохимической нагрузки на население и окружающую среду.

Данная цель связана с *противодействием современным техногенным и биогенным угрозам*, обеспечивает *независимость и конкурентоспособность* страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации в области химии и физики высоких энергий и электронно-лучевых технологий. Программа опирается на лидерство страны по избранным направлениям научно-технологического развития в рамках как традиционных, так и новых рынков технологий.

Программа исходит из федеральной политики, направленной на *социально-экономическое развитие* страны. Социальной сущностью Программы является вклад в поддержание здоровья и

трудоспособности населения на максимально возможном уровне. Социально-экономическая значимость конечных результатов реализации Программы состоит как из прямого улучшения экологической обстановки и уровня жизни населения, так и из повышения экономического потенциала регионов:

- решение экологических проблем, обусловленных токсичными веществами, обезвреживание которых традиционными методами невозможно или чрезмерно дорого;
- снижение уровня воздействия на работников вредных и опасных производственных факторов с обеспечением благоприятных условий труда и предотвращением профессиональных заболеваний и производственных травм на очистных сооружениях;
- обоснование и оптимизация системы правовых норм, формирующих стандарты безопасных и здоровых условий труда и правовых средств по обеспечению их соблюдения;
- создание новой отрасли электронной техники экологического назначения с предоставлением новых товаров и услуг;
- повышение занятости и уровня исследований в области электронно-лучевых технологий, химии и физики высоких энергий, аддитивных технологий;
- улучшение *импортозамещения* и финансового положения предприятий, производящих элементы и агрегаты электронной техники, а также смежных предприятий (мультипликативный эффект);
- повышение уровня занятости населения и создание новых рабочих мест в сфере создания высоковольтной ускорительной техники и реакционного оборудования.
- развитие конкуренции в сфере природоохранных технологий с расширением потребительского выбора;
- развитие малого вспомогательного бизнеса для повышения уровня устойчивого развития территории;
- расширение налогооблагаемой базы бюджета в местах производства и использования ускорительной и реакционной техники;

По мере роста производства, косвенные социально-экономические эффекты ожидаются в смежных отраслях, прежде всего, в машиностроении, металлургии, транспорте. Выполнение Программы обусловит строительство новых предприятий и модернизацию уже существующих, повысит региональную деловую активность. Программой планируется максимально возможное привлечение российских производителей и поставщиков основного технологического оборудования и технологий и, тем самым, активизация работ по *импортозамещению*.

Социально-экономическое развитие находится в прямой зависимости от контроля его влияния на защищенность населения от негативного влияния местных суперэкоотоксикантов (СЭ), в частности, диоксинов (полигалогенированные производные бензола и фурана). Особенность многих СЭ состоит в их способности к аккумулярованию в живых организмах и окружающих материалах. Эта особенность провоцирует формирование и развитие длительных, хронических, токсических процессов в организмах, подвергаемых даже малым субтоксичным дозам СЭ. Опасность представляют отдаленные последствия хронического контакта с СЭ. Однако стратегия контроля и нормативы учета отдаленных последствий в поколениях населения отсутствуют. В этой связи, программа предусматривает скорейшую разработку направлений совершенствования системы охраны здоровья населения на территориях, где имеет место или предполагается накопление СЭ. Эта работа включает изучение общих механизмов, закономерностей и особенностей формирования, развития и течения патологий, обусловленных СЭ; разработку основ и методической базы для совершенствования системы контроля и охраны

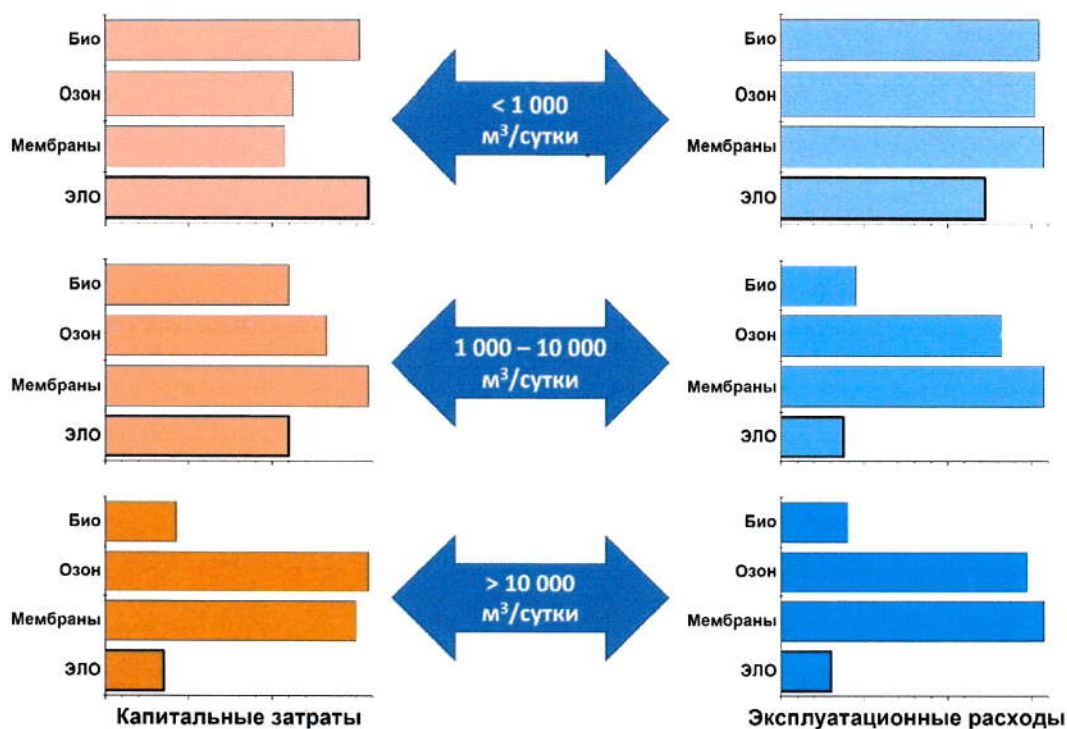


окружающей среды и здоровья населения в очагах и зонах накопленного экологического ущерба; создание аналитической базы для развертывания прикладных исследований в области сбережения здоровья населения на территориях, загрязненных СЭ. Наиболее пристального внимания заслуживают территории в окрестностях свалок, промышленных источников диоксинов, на загрязняемых сточными водами территориях, в крупных промышленных центрах и моногородах с существующей или существовавшей химической промышленностью, на территориях мегаполисов.

Выполнение программы направлено на обоснование *новых экологических и природоохранных нормативов*, опирающихся на развернутый анализ экологической ситуации на объектах отечественной инфраструктуры. Анализ обращения с отходами призван выявить ключевые текущие и ожидаемые экологические проблемы, связанные с использованием устаревших технологий, а также предложить пути их преодоления. Важнейшей составной частью государственной экологической политики является «экологическое» образование населения и, в первую очередь, госчиновников. Поэтому эффективное экологическое образование – важная составляющая предлагаемой программы.

Наряду с экологическим продвижением, реализация проекта даст долгожданный импульс развитию передовой высоковольтной техники, генерирующей и использующей электронные пучки. Наряду с экологией, такая техника востребована в производстве и модифицировании инновационных полимерных и композиционных материалов, в том числе материалов *двойного назначения*. Сегодня за рубежом пока не удастся создать мощные ускорители, пригодные для экологического применения, однако отечественные специалисты обладают инновационными передовыми образцами мощной ускорительной техники, отвечающей масштабным экологическим и промышленным задачам.

Для большинства очистных технологий, увеличение мощности установки требует почти линейного увеличения производственных площадей и числа технологических агрегатов. Экономика ЭЛО отличается (см. Рис. 5). Электронно-лучевая обработка основана на высоковольтной технике. Её использование в малотоннажных случаях, т.е. на небольших предприятиях с объемом сточных вод меньше 1 000 м<sup>3</sup>/сутки, обходится относительно дорого. Капитальные затраты – одни из самых высоких. Выше, чем для биологической, мембранной и озонолитической технологий. Однако даже в этом случае, эксплуатационные расходы ниже, чем у других методов, поскольку нет потребности в реагентах, вспомогательных операциях и частом техническом обслуживании, а также нет непродуктивных потерь энергии. Экономические показатели улучшаются, когда объем сточных вод возрастает до 10 000 м<sup>3</sup>/сутки. В этом (среднетоннажном) случае ЭЛО начинает демонстрировать преимущество над другими технологиями как по капитальным затратам, так и по эксплуатационным расходам. И особую экономическую привлекательность ЭЛО приобретает при крупнотоннажном применении. Это обусловлено нелинейной зависимостью габаритов и стоимости ускорителя от мощности пучка. При одной и той же энергии пучка, площадь под ускорителем возрастает пропорционально корню четвертой степени из мощности, т.е. вертикальные ускорители мощностью 500 и 50 кВт занимают сопоставимую площадь – различия в ширине технологической площадки не превышают 1.4 раза. Таким образом, *ЭЛО – технология для крупнотоннажного применения*. Чем выше мощность ЭЛО установки, тем выше её рентабельность.



**Рис. 5.** Сравнительная стоимость обработки средне-загрязненного промышленного стока разными методами (при равной степени очистки) - данные МАГАТЭ (<https://www.iaea.org/>)

Эффективность очистной технологии напрямую зависит от проницаемости и химической активности загрязнений по отношению к применяемым реагентам. Многие взвешенные вещества и споровые формы болезнетворных микроорганизмов являются непроницаемыми для активного хлора, озона и УФ-излучения. Ряд растворенных примесей (соли железа и кальция, ароматические соединения) избирательно взаимодействуют с УФ излучением и, тем самым, защищают другие примеси от разложения. Большинство насыщенных органических соединений (и функциональных групп) инертно по отношению к озону. Однако эти недостатки устраняются в случае применения ЭЛО, поскольку ускоренные электроны обладают высокой проникающей способностью по отношению к любым загрязнениям. Они вызывают ионизацию как в прозрачных, так и непрозрачных соединениях; как в растворенных, так и во взвешенных примесях; как в неживых, так и в живых загрязнениях. Мобильные радикалы, возникающие в воде под действием ЭЛО, также намного легче проникают в вещество по сравнению с крупными молекулами реагентов.

Более того, активный хлор и озон способны превращать примеси в более токсичные и даже мутагенные и канцерогенные соединения, а также в соединения с высокой коррозионной активностью или неприятным запахом. В свою очередь, озонирование ухудшает коагулируемость, флокулируемость и фильтруемость взвешенных примесей в обработанных сточных водах.

В отличие от других технологий водоочистки, ключевую роль в обезвреживании примесей при ЭЛО играют радикалы, образуемые из воды. Для них характерна трансформация токсичных групп в нетоксичную форму с одновременным увеличением степени окисления (безвредности) получаемых соединений. В свою очередь, в других технологиях прямые реакции примесных молекул с реагентами приводят к росту вероятности повышения токсичности получаемых продуктов.

Избыточные радикалы, возникающие при ЭЛО, исчезают мгновенно в реакциях друг с другом, обеспечивая отсутствие последствий и не увеличивая химическую нагрузку на очищаемую среду.

Электронно-лучевая обработка растворов и веществ изменяет их свойства, в том числе заряд частиц, растворимость, плавучесть, химическую стойкость, дисперсность, степень окисления, токсичность, цвет, запах, биоразлагаемость, насыщенность связей и другие. В частности, именно эти свойства играют ключевую роль в других технологиях водоочистки. Соответственно, применение ЭЛО в сочетании с многими другими технологиями дает высокий, зачастую синергетический эффект (Woods, R.; Pikaev, A. *Applied Radiation Chemistry. Radiation Processing.*; Wiley: NY, 1994). Например, электронно-индуцируемое повышение агрегации частиц благоприятно для методов коагуляции, флотации и фильтрации. Изменение полярности и заряда молекул востребовано в методах сорбции, электродиализа и коагуляции. Изменение насыщенности связей и функциональных групп способствует росту эффективности полимеризационной, озонолитической и термохимической очистки. Однако наиболее известным является сочетание ЭЛО и биологической очистки. ЭЛО улучшает степень окисления и биоразлагаемость молекул, что позволяет уменьшать время и площади, а также увеличивать качество последующей био-обработки. Например, благодаря сочетанию ЭЛО и био-обработки удалось справиться с экологической катастрофой на Воронежском заводе синтетического каучука. ЭЛО обеспечило трансформацию стойкого детергента, некаля, в биоразлагаемую форму, пригодную для последующей биохимической очистки. В частности, аналогичные эффекты были продемонстрированы на очистных сооружениях полиэфирных и целлюлозно-бумажных производств. Причем другие технологии оказались неконкурентоспособными.

Применение ЭЛО целесообразно рассматривать в приложении к крупным очистным сооружениям. Например, типичный объем сточных вод на крупных отечественных целлюлозно-бумажных предприятиях составляет порядка 100 000 м<sup>3</sup>/сутки. Типичный бойлер ТЭС мощностью 200 МВт вырабатывает около 30 000 т/сутки дымовых газов. В свою очередь, типичный областной центр производит до 2 000 т/сутки ило-образных органических отходов. ЭЛО может применяться на каждом из таких объектов. При очистке сточных вод энергозатраты могут составлять от 0.5 до 3 кДж/кг. При обезвреживании дымовых газов – от 10 до 13 кДж/кг. При переработке ило-образных отходов – от 7 до 25 кДж/кг. Максимальная суммарная мощность ускорителей, требуемая для таких операций, оценивается величинами 4 300 – 6 500 кВт (при КПД = 0.8). Это соответствует примерно 40-44 типовых ускорителей, применяемых в коммерческих организациях. Естественно, столь большое число ускорителей отпугивает потенциальных потребителей ЭЛО. Однако, единичная мощность типовых ускорителей для экологических задач может быть существенно увеличена. Есть технические решения и предпосылки для замещения десятка маломощных коммерческих ускорителей на один мощный ускоритель экологического назначения, что и является одной из целей Программы.

## **6. Информация о связи комплексной программы, комплексного проекта с государственными программами Российской Федерации или другими программами и проектами.**

Цель программы согласуется с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, утвержденных **Указом Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899**: 6. «Рациональное природопользование» и 8. «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика». Программа предусматривает решение комплекса

научных, производственных и организационных задач по созданию и внедрению прорывных отечественных технологических и технических средств для электронно-лучевого обезвреживания отходов в соответствии с критическими технологиями: 19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения. 21. Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 26. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Данная цель связана с противодействием современным техногенным и биогенным угрозам, обеспечивает независимость и конкурентоспособность страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации в области химии и физики высоких энергий и электронно-лучевых технологий. Программа опирается на лидерство страны по избранным направлениям научно-технологического развития в рамках как традиционных, так и новых рынков технологий.

Программа предусматривает осуществление полного инновационного цикла научно-исследовательских, производственных и организационных работ в соответствии с национальными интересами Российской Федерации и стратегическими национальными приоритетами, сформулированными в **Указе Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400**: «Сбережение народа России, развитие человеческого потенциала, повышение качества жизни и благосостояния граждан»; «Устойчивое развитие российской экономики на новой технологической основе»; «Охрана окружающей среды, сохранение природных ресурсов и рациональное природопользование, адаптация к изменениям климата».

По направлению «Экологическая безопасность и рациональное природопользование» из Указа Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400, программа предусматривает решение задач, направленных на: уменьшение загрязнения воздуха; повышение качества воды; восстановление водных экосистем; развитие мощностей и технологий очистки выбросов и стоков; развитие международного сотрудничества; сокращение выбросов парниковых газов; развитие индустрии утилизации и рециклинга отходов; экологическая реабилитация территорий; повышение уровня экологического образования; повышение технического потенциала и оснащенности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Наряду с производственными и организационными задачами экологического и природоохранного назначения, программа предусматривает решение задач в области «Научно-технологическое развитие» из Указа Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400: вовлечение бизнеса в инновации; модернизация и развитие научной инфраструктуры; развитие системы подготовки молодых ученых; достижение лидирующих позиций в мировой науке; исследования по биологической, радиационной и химической безопасности; подготовка научных и научно-педагогических кадров; коммерциализация; обновление материально-технической базы науки; практическое внедрение научных результатов; развитие системы фундаментальных исследований; привлечение ученых мирового уровня и молодежи; производство научно-исследовательского оборудования; формирование внутреннего спроса на научный продукт.

Цель заявляемых работ соответствует **национальному проекту «Экология»**, в том числе федеральным проектам **«Чистый воздух»** и **«Чистая вода»**, которые направлены на улучшение экологической обстановки и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, водоемы и почву, а также на обеспечение россиян водой, которая отвечает всем установленным нормам, безопасна в употреблении. Заявляемые работы могут способствовать кардинальному

снижению уровня загрязнения за счет снижения выбросов от промышленных предприятий, объектов коммунальной и транспортной инфраструктуры.

Программа предусматривает полный инновационный цикл комплексных работ, скоординированных по задачам, срокам и ресурсам, включающий в себя научно-исследовательские, производственные и организационные работы. Фундаментальные научные исследования являются необходимым условием успешного создания и применения новой техники, разработки прорывных технологий и стратегий развития. Поэтому реализация программы предусматривает совершенствование научно-исследовательской базы и её использование в передовых научных исследованиях и разработках по заявляемым направлениям. Ранее требуемые ускорители высокой мощности не создавались и не использовались на практике. Как следствие, задачи фундаментальных научных исследований направлены на выяснение особенностей взаимодействия мощных электронных пучков с веществом, на экологические показатели электронно-лучевой обработки, а также на определение условий реализации синергетических, цепных и пост-эффектов, обеспечивающих эффективность электронно-лучевой обработки отходов в промышленных масштабах.

Фундаментальные научные исследования по программе направлены на выяснение скорости и эффективности обезвреживания (перенос энергии между компонентами, обратимые и необратимые реакции, кинетика и механизм реакций, кислотно-основные равновесия, энергетический выход продуктов); свойств промежуточных и конечных продуктов (класс, стойкость, пост-эффекты, химическое и биохимическое потребление кислорода, хромофорность и др.); взаимного влияния компонентов и кислорода воздуха, влияния поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы на обезвреживание загрязнений; токсико-экологический анализ. Эти исследования составляют основу для выработки требований к ускорителям и принципов управления электронно-лучевым обезвреживанием в зависимости от состава и расхода отходов. Производственная часть программы связана с созданием уникальной новой ускорительной техники и реакционного оборудования высокой производительности, соответствующей текущим и перспективным задачам широкомасштабного обезвреживания отходов. Организационная часть программы предусматривает согласование всех её составных частей по задачам, срокам и ресурсам, а также успешное продвижение результатов в экологическую, природоохранную, научную и образовательную практику.

Совокупность задач по программе будет включать исследования, разработку и совершенствование технологий использования электронных пучков для обезвреживания газообразных, жидких и твердых загрязнений; разработку, изготовление и оптимизацию модельных образцов ускорителей экологического назначения; разработку, изготовление и испытания реакционного технологического оборудования для электронно-лучевого обезвреживания загрязнений; разработку и совершенствование мощных серийных образцов ускорительной техники; разработку базовых технологических регламентов и иной технической документации для использования электронно-лучевых технологий; изготовление модельных и демонстрационных установок электронно-лучевого обезвреживания загрязнений; разработку, изготовление и испытание мобильного электронно-лучевого модуля для обезвреживания аварийных и чрезвычайных загрязнений, а также для демонстрационных испытаний; натурные испытания электронно-лучевой технологии на предприятиях и очистных сооружениях; разработку и внедрение программ обучения и подготовки кадров для электронно-лучевых технологий; популяризацию применения электронно-лучевых технологий в промышленной

экологии и природоохранной практике; координацию программы с международными агентствами (ООН) и партнерами.

**7. Предлагаемые показатели (индикаторы) комплексной программы, комплексного проекта с данными на весь плановый период реализации комплексной программы, комплексного проекта. Предлагаемые показатели (индикаторы) комплексной программы, комплексного проекта должны быть взаимоувязаны с показателями национальных программ и проектов, государственных и федеральных программ Российской Федерации, федеральных целевых и ведомственных программ с учетом направления реализации комплексной программы, комплексного проекта.**

При выполнении работ планируется достичь следующих показателей (индикаторов):

1. Создать уникальный (*первый в мире*) научно-демонстрационный комплекс (*центр ЭЛО*), оборудование которого позволяет проводить моделирование проточного обезвреживания опасных примесей в воздухе, воде и ило-образных средах при промышленных токах пучка -  $\geq 60$  мА/см<sup>2</sup>;

2. Разработать и создать 2 стационарных высоковольтных *ускорителя электронов* с производительностью не менее 100 000 кубических метров в сутки (в пересчете на воду) при мощности электронного пучка не менее 500 кВт;

3. Разработать *техническое задание* на размещение сверхмощных электронных ускорителей и под-пучкового оборудования на очистных сооружениях;

4. Разработать конструкцию *реакторов* для электронно-лучевого обезвреживания опасных соединений в трех средах (газ, жидкость, твердое) с производительностью не менее 100 000 кубических метров в сутки (в пересчете на воду);

5. Изготовить 3 типа *реакторов* для электронно-лучевого обезвреживания опасных соединений в газообразных, жидких и твердых средах;

6. Разработать мобильную электронно-лучевую установку с размещением:

а) в типовом *автотрейлере*;

б) в стандартном *контейнере* для железнодорожного, авиационного или водного перемещения;

7. Изготовить 2 *мобильных* защищенных электронно-лучевых установки с мощностью пучка не менее 25 кВт.

8. Создать аналитическую базу наиболее биологически опасных загрязнений в воздухе, воде и почве с данными о их происхождении, распространении и стойкости.

9. Разработать и внедрить *Комплексную Методологию эко-мониторинга* на объектах потенциального и текущего применения ЭЛО.

10. Обосновать новые экологические и природоохранные нормативы, а также рекомендации по путям преодоления текущих и ожидаемых экологических проблем.

11. Разработать и ввести в образовательную практику *курс лекций* для ВУЗов по электронно-лучевым экологическим технологиям, а также *курс подготовки кадров* для электронно-лучевых установок.

*Конечные результаты:*

1. Уникальный научный комплекс для электронно-лучевых исследований экологического назначения;

2. Высоковольтные ускорители экологического назначения 2-х инновационных типов и регламенты их применения;

3. Реакционное технологическое оборудование и технологии для электронно-лучевого обезвреживания отходов;
4. Мобильный электронно-лучевой модуль и технология его использования для ликвидации аварийных и чрезвычайных загрязнений.
5. Комплексная методология эко-мониторинга на объектах потенциального и текущего применения ЭЛО.

## **8. Предлагаемые мероприятия комплексной программы и работы комплексного проекта.**

Совокупность мероприятий и работ определяется пятью ключевыми комплексными задачами:

1. Разработка, создание и внедрение в научно-образовательную практику уникального научно-демонстрационного комплекса (установок, средств контроля и измерения, учебно-методических и информационных материалов) для электронно-лучевых исследований экологического назначения, включая:
  - 1.1. Разработка решений по составу и размещению комплекса;
  - 1.2. Оснащение и коммутация оборудования комплекса;
  - 1.3. Испытание функциональных возможностей комплекса;
  - 1.4. Внедрение комплекса в научную и образовательную практику;
  - 1.5. Разработка, анализ и оптимизация электронно-лучевых технологий.
2. Разработка, производство и внедрение технологических высокомоощных электронных ускорителей экологического назначения, а также материалов, регламентирующих их применение, включая:
  - 2.1. Разработка требований к прототипам ускорителей 2-х инновационных типов;
  - 2.2. Проектирование промышленных вариантов ускорителей 2-х типов;
  - 2.3. Изготовление электронных ускорителей 2-х инновационных типов;
  - 2.4. Размещение, отладка и испытание электронных ускорителей;
  - 2.5. Привязка ускорителей 2-х типов к практическим природоохранным задачам.
3. Разработка, производство и внедрение комплекса реакционного технологического оборудования и технологии для электронно-лучевого обезвреживания газообразных, жидких и твердых ило-образных отходов, в том числе:
  - 3.1. Разработка требований к прототипам инновационных реакционных сосудов;
  - 3.2. Проектирование промышленных вариантов реакционных сосудов;
  - 3.3. Изготовление инновационных реакционных сосудов для разных сред;
  - 3.4. Размещение, отладка и испытание инновационных реакционных сосудов;
  - 3.5. Внедрение технологии и реакционного оборудования в практику.
4. Разработка, производство и внедрение мобильного электронно-лучевого модуля и технологии его использования для ликвидации аварийных и чрезвычайных загрязнений, включая
  - 4.1. Разработка требований к прототипу мобильного электронно-лучевого модуля;
  - 4.2. Проектирование мобильного электронно-лучевого модуля;
  - 4.3. Изготовление мобильного электронно-лучевого модуля;
  - 4.4. Отладка и испытание мобильного электронно-лучевого модуля;
  - 4.5. Практическое внедрение мобильного электронно-лучевого модуля.
5. Разработка и внедрение комплексной методологии эко-мониторинга на объектах потенциального и текущего применения ЭЛО, включая

5.1. Изучение механизмов, закономерностей и особенностей формирования, развития и течения патологий, обусловленных загрязнениями;

5.2. Разработка направлений совершенствования системы охраны здоровья населения, системы контроля и охраны окружающей среды на территориях, где имеет место или предполагается накопление загрязнений;

5.3. Создание аналитической базы для развертывания прикладных исследований в области сбережения здоровья населения на загрязненных территориях;

5.4. Обоснование новых экологических и природоохранных нормативов, опирающихся на развернутый анализ экологической ситуации на объектах отечественной инфраструктуры, включая проблемы, связанные с использованием устаревших технологий.

5.5. Экологическое образование населения и чиновников.

Такой комплекс работ и мероприятий востребован для проведения междисциплинарных исследований в рамках задач Минобрнауки и Минприроды, включая задачи комплексного анализа воздействия жидких, газообразных и твердых ило-образных отходов на здоровье человека, состояние окружающей среды; выявления ключевых проблем; критических информационных пробелов; совершенствование нормативов очистки.

## **9. Комплексный план научных исследований, формируемый в порядке, установленном приказом Минобрнауки России от 15 июля 2019 г. № 500 (для предложений о разработке комплексной программы).**

Выполнение полного инновационного цикла комплексных работ, скоординированных по задачам, срокам и ресурсам, включающего в себя научные исследования и необходимые этапы создания технологий, продукции и оказания услуг, рассчитано на 10 лет и включает следующие этапы:

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы
1	Разработка технических требований к ключевому оборудованию. Комплектование научно-исследовательского комплекса.	Определение ключевых параметров научно-исследовательского комплекса, а также стационарных ускорителей, мобильного модуля, реакционного оборудования. Токсико-экологический анализ. Заказ, изготовление и комплектование научно-исследовательского комплекса.	2023-2024
2	Разработка конструкции ускорителей и реакционного оборудования. Запуск научно-исследовательского комплекса.	Проектирование элементов стационарных ускорителей, мобильного модуля и реакционного подпучкового оборудования. Токсико-экологический анализ. Завершение комплектования и запуск научно-исследовательского комплекса. Публикационная деятельность.	2024-2025
3	Комплектование и изготовление технологической оснастки и помещений для производства	Разработка, приобретение и изготовление технологической оснастки и емкостных элементов для производства стационарных ускорителей, мобильного модуля и	2025-2026



№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы
	оборудования. Фундаментальные исследования.	реакционного оборудования. Токсико-экологический анализ. Фундаментальные исследования эффективности распределения энергии электронных пучков в жидких, твердых и газообразных средах, подлежащих обезвреживанию. Публикационная деятельность.	
4	Изготовление стационарных ускорителей. Прикладные исследования.	Изготовление и проверка элементов стационарных ускорителей. Сборка и проверка ключевых блоков и узлов. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию. Публикационная деятельность.	2026-2027
5	Тестирование и оптимизация стационарных ускорителей. Изготовление оборудования для мобильного модуля. Разработка технологических регламентов.	Сборка и стендовые испытания стационарных ускорителей. Комплектование и изготовление элементов мобильного модуля и реакционного оборудования. Составление инструкций и иных регламентирующих документов по эксплуатации оборудования. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию. Публикационная и образовательная деятельность.	2027-2028
6	Разработка решений по размещению оборудования. Подготовка монтажных систем. Экологические тесты.	Выбор/строительство технологических площадок и помещений для размещения оборудования; их оснащение необходимыми коммуникациями, монтажным оборудованием и средствами контроля. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию. Публикационная и образовательная деятельность.	2028-2029
7	Размещение, запуск и наладка оборудования. Пробные испытания на реальных средах.	Транспортировка, установка, сборка, запуск и наладка стационарных ускорителей, а также подпучкового реакционного оборудования. Сборка и испытания мобильного модуля. Пробные испытания на реальных средах. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию. Публикационная и образовательная деятельность.	2029-2030
8	Сопряжение электронно-лучевого и традиционного	Сопряжение электронно-лучевого оборудования с системами питания, ввода-вывода сред, анализа, оповещения	2030-2031

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы
	очистного оборудования. Испытание и приемка оборудования.	и другими коммуникациями очистных сооружений. Испытание и приемка оборудования. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию. Публикационная и образовательная деятельность.	
9	Подготовка документации для серийного производства и внедрения. Популяризация технологии.	Отладка технологии. Оптимизация оборудования. Составление технической документации для серийного производства оборудования и использования технологии. Токсико-экологические и физико-химические исследования обезвреживаемых сред. Публикационная и образовательная деятельность.	2031-2032
10	Авторский надзор за использованием технологии. Продвижение и оптимизация технологии.	Отладка технологии. Оптимизация оборудования. Авторский надзор за использованием технологии. Токсико-экологические и физико-химические исследования обезвреживаемых сред. Перспективное планирование развития технологии. Публикационная и образовательная деятельность.	2032-2033

Последовательность решения задач показана на Диаграмме (Рис. 6).

Наиболее длительными являются разработка, изготовление и отладка ускорителей, а также фундаментальные научные исследования в новых технологических областях. Исходя из мировой практики, создание новой модели ускорителя или принципиальная модернизация уже разработанного прототипа занимает от 1.5 до 2.5 лет. При этом стоимость создания новой модели ускорителя мощностью  $\geq 400$  кВт с энергией пучка 1 МэВ оценивается на мировом рынке суммой до 4.5 млн долларов США. В рамках программы предполагается создание двух новых моделей ускорителей (*сверхмощных*).

Для обеспечения мирового уровня исследований на начальном этапе работ требуется разработка, создание и внедрение в научно-образовательную практику уникального научно-демонстрационного комплекса (установок, средств контроля и измерения, учебно-методических и информационных материалов) для электронно-лучевых исследований экологического назначения, что в частности предусматривает проведение модернизации или замены ряда устаревших приборов физико-химического анализа, прежде всего, лабораторного линейного ускорителя электронов, ЭПР-спектрометра, хроматомасс-спектрометра, ТОС-анализатора, УФ и ИК спектрометров, термогравиметра, высоковольтного источника электропитания и др.

Общая сумма расходов на выполнение заявляемых работ – 1 800 000 000 рублей (в ценах 2021 года).

	ГОДЫ										
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Задача 1	Разработка технических требований. Комплектование Центра ЭЛО.	Запуск Центра ЭЛО.									
Задача 2	Разработка конструкции ускорителей и реакторов.	Изготовление стационарных ускорителей.	Подготовка технологической оснастки и помещений.	Доводка ускорителей. Разработка технологических регламентов.	Решения по размещению оборудования.						
Задача 3			Подготовка технологической оснастки и помещений.	Прикладные исследования.	Разработка технологических регламентов.	Подготовка монтажных систем.	Размещение, запуск и наладка оборудования.	Сопряжение ЭЛО и очистного оборудования. Испытание и приемка оборудования.			
Задача 4					Изготовление мобильного модуля.	Подготовка монтажных систем.	Пробные испытания на реальных средах.	Сопряжение ЭЛО и очистного оборудования.	Подготовка к серийному производству и внедрению.		
Задача 5			Фундаментальные исследования.	Прикладные исследования.	Экологические тесты.	Экологические тесты.	Прикладные исследования.	Прикладные исследования.	Популяризация технологии.	Авторский надзор. Продвижение и оптимизация технологии.	

Рисунок 6. Последовательность решения ключевых задач

**10. Информация о финансовой состоятельности заказчика комплексной программы, комплексного проекта, содержащая в том числе сведения о финансовом состоянии компании, отсутствии существенных имущественных претензий со стороны третьих лиц.**

Потенциальные заказчики - Субъекты РФ, промышленные предприятия, относящиеся к объектам Первой Категории негативно воздействующим на окружающую среду (такие как п/п

Росатома, п/п целлюлозно-бумажного, гидролизного, нефтегазового профиля, очистные сооружения городского хозяйства), п/п с/х, включая п/п животноводческого комплекса, п/п подготовки воды, очистки и обеззараживания осадков сточных вод, обработки ила, шламов, обеззараживания медицинских отходов крупных больничных комплексов, очистки выбросных газов, и др.

В области электронно-лучевого обезвреживания отходов были проведены успешные НИР и НИОКР с АО «Сегежский ЦБК», АО «Кондопожский ЦБК», АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», ОАО «Архангельский гидролизный завод», ОАО «Соломбальский целлюлозно-бумажный комбинат», Целлюлозный завод «Питкяранта», ООО «Кама Картон», ОАО «Пермский лесозавод», ОАО «Байкальский ЦБК», ЦБК Группы «Илим», ПАО АНК «Башнефть», ПАО «Татнефть», ОАО «Татнефтехиминвест-Холдинг», АО «ЛУКОЙЛ», АО «ВоронежСинтезКаучук», АО «ПКС-ВОДОКАНАЛ», АО «МОСВОДОКАНАЛ» и другими. Все эти предприятия обладают крупнотоннажными отходами, для обезвреживания которых нужны мощные электронно-лучевые установки. Соответственно, ключевой проблемой, препятствовавшей внедрению результатов, являлись недостаточная мощность имевшихся ускорителей и/или отсутствие удобной технологической площадки. Электронно-лучевые установки были внедрены в АО «ВоронежСинтезКаучук», компании DueTech (Республика Корея), компании EBTech (Республика Корея). В компании DueTech впервые был внедрен экспериментальный ускоритель мощностью 400 кВт (генерирующий три параллельных пучка), разрабатываемый в ИЯФ СО РАН при технологическом сопровождении со стороны ИФХЭ РАН. Эти установки послужили прототипами для нескольких очистных установок в Китайской Народной Республике, Индии и на Ближнем Востоке, но на базе маломощных ускорителей (до 130 кВт), предназначенных для модифицирования пластиков.

Высокая эффективность ЭЛО при решении экологических задач доказана на опытно-промышленных и демонстрационных установках в 25 ведущих странах, включая Россию, Японию, США, Францию, Италию, Германию, Израиль, Китай, Польшу, Венгрию, Болгарию, Нидерланды, Республику Корея и другие (Woods, R.; Pikaev, A. *Applied Radiation Chemistry. Radiation Processing.*; Wiley: NY, 1994). Общий вывод – внедрение ЭЛО в промышленность тормозится отсутствием мощных электронных ускорителей экологического назначения.

Правительство Москвы и АО «Мосводоканал» уделяет большое внимание экологической обстановке в городе и в целях обеспечения эффективного использования потенциала РАН в формировании и развитии инновационной инфраструктуры города Москвы готовы выступить консультантом в разработке проекта. «АО «Мосводоканал» поддерживает перспективные направления инновационного развития технологий очистки сточных вод. Готовность применению нашим обществом современных эффективных решений подтверждается программой развития системы водоснабжения и канализации города, разработанной с нашим участием. Программа предусматривает инновационные разработки, соответствующие самым жестким современным стандартам. Специалисты МВК готовы принять участие в качестве консультантов при выборе технологии очистки х/б стоков и сточных вод» (Протокол (04)03.05-44/20 от 25.03.2020).

Заключено «Соглашение о сотрудничестве между Правительством Москвы и РАН» 24 апреля 2018, предусматривающее «содействие развитию производственной и научно-технической кооперации между научными организациями, расположенными на территории г. Москвы, в целях эффективного использования потенциала РАН в формировании и развитии инновационной инфраструктуры г. Москвы, а также проведение экспертизы результатов

научных исследований, инновационных проектов, претендующих на получение поддержки Правительства Москвы».

Научно-технический Совет ВПК РФ провел совещание 21 ноября 2018г. под председательством заместителя председателя коллегии Военно-промышленной Комиссии РФ академика Ю.М. Михайлова и по итогам рассмотрения рекомендует: «3.1 Одобрить работы, направленные на создание технологий очистки и обеззараживания воды, отметив их перспективу для промышленного освоения и развития, в том числе в рамках диверсификации продукции оборонно-промышленного комплекса» (Протокол №ЮМ-П22-15пр от 21.11.2018).

При подготовке программы получены отклики от регионов. В частности, из Хабаровска: «По поручению Губернатора Хабаровского края Дегтярева М.В. Министерство природных ресурсов совместно с Минобрнауки края рассмотрело ваше обращение, в котором обозначена социально-значимая экологическая проблема очистки стоков и предложения по ее решению и сообщает следующее. «Поднятые в обращении проблемы очистки загрязненных сточных вод актуальны для системы водоотведения всех субъектов РФ, поэтому поддерживаем вашу инициативу по их комплексному решению с привлечением ведущих научных учреждений. Разработка КНТП и создание Центра компетенций будет способствовать продвижению и внедрению передовых методов очистки и обеззараживания сточных вод» (письмо № М 27-11-66-101 от 18.03.2021г.)

Правительство Ярославской области «солидарно с Вашей позицией о необходимости полной модернизации большинства очистных сооружений с изменением технологии очистки. Необходимо стимулировать современные, высокотехнологичные, экономически эффективные и экологически безопасные технологии, развивать экологическое просвещение, повышать уровень экологической ответственности в стране в целом. Правительство области поддерживает внедрение современных технологий в сферу водоснабжения и водоотведения, так как это позволит улучшить экологическую ситуацию в регионе и в стране в целом.» (письмо № ОГ.01-9279/17 от 26.09.2017г.)

**11. Согласование предложения о разработке предполагаемыми ответственным исполнителем комплексной программы, комплексного проекта и заказчиком, а также подтверждение готовности со стороны предполагаемого ответственного исполнителя комплексной программы, комплексного проекта по обеспечению формирования и реализации комплексной программы, комплексного проекта (Приложение № 1).**

Предполагаемый ответственный исполнитель-координатор - Министерство природных ресурсов и экологии РФ.

Предполагаемый соисполнитель - Министерство науки и высшего образования РФ

Сведения об ответственном исполнителе-координаторе и соисполнителе размещены на сайтах [www.mnr.gov.ru](http://www.mnr.gov.ru) и [www.minobrnauki.gov.ru](http://www.minobrnauki.gov.ru), соответственно.

**12. Соглашение о сотрудничестве между участниками и заказчиками комплексной программы, комплексного проекта (Приложение № 2), предусматривающее:**

**а) закрепление требований заказчиков комплексной программы, комплексного проекта, предъявляемых к выполнению работ со стороны участников, включая параметры, определяющие качественные и количественные характеристики работ, особые**

**условия выполнения работ, место выполнения работ, требования к результатам работ, требования к отчетной документации и другие условия исполнения и приемки работ в соответствии с комплексной программой, комплексным проектом**

Совокупность задач по программе будет включать исследования, разработку и совершенствование технологий использования электронных пучков для обезвреживания газообразных, жидких и твердых загрязнений; разработку, изготовление и оптимизацию модельных образцов ускорителей экологического назначения; разработку, изготовление и испытания реакционного технологического оборудования для электронно-лучевого обезвреживания загрязнений; разработку и совершенствование мощных серийных образцов ускорительной техники; разработку базовых технологических регламентов и иной технической документации для использования электронно-лучевых технологий; изготовление модельных и демонстрационных установок электронно-лучевого обезвреживания загрязнений; разработку, изготовление и испытание мобильного электронно-лучевого модуля для обезвреживания аварийных и чрезвычайных загрязнений, а также для демонстрационных испытаний; натурные испытания электронно-лучевой технологии на предприятиях и очистных сооружениях; разработку и внедрение программ обучения и подготовки кадров для электронно-лучевых технологий; популяризацию применения электронно-лучевых технологий в промышленной экологии и природоохранной практике; координацию программы с международными агентствами (ООН) и партнерами.

Ранее сверхмощные ускорители не создавались и не использовались на практике. Как следствие, задачи фундаментальных научных исследований направлены на выяснение особенностей взаимодействия мощных электронных пучков с веществом, на экологические показатели электронно-лучевой обработки, а также на определение условий реализации синергетических, цепных и пост-эффектов, обеспечивающих эффективность электронно-лучевой обработки отходов в промышленных масштабах. Фундаментальные научные исследования по программе направлены на выяснение скорости и эффективности обезвреживания (перенос энергии между компонентами, обратимые и необратимые реакции, кинетика и механизм реакций, кислотно-основные равновесия, энергетический выход продуктов); свойств промежуточных и конечных продуктов (класс, стойкость, пост-эффекты, химическое и биохимическое потребление кислорода, хромофорность и др.); взаимного влияния компонентов и кислорода воздуха, влияния поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы на обезвреживание загрязнений; токсико-экологический анализ. Эти исследования составляют основу для выработки требований к ускорителям и принципов управления электронно-лучевым обезвреживанием в зависимости от состава и расхода отходов. Производственная часть программы связана с созданием уникальной новой ускорительной техники и реакционного оборудования высокой производительности, соответствующей текущим и перспективным задачам широкомасштабного обезвреживания отходов. Организационная часть программы предусматривает согласование всех её составных частей по задачам, срокам и ресурсам, а также успешное продвижение результатов в экологическую, природоохранную, научную и образовательную практику.

Предварительное распределение функций соисполнителей (детализация функций планируется при окончательном формировании программы):

ИФХЭ РАН, координирующий исполнитель, ведущий разработчик научных основ электронно-лучевых технологий. Задачи в рамках программы – экспериментальные (фундаментальные и прикладные) исследования, технологические разработки, координация

технических заданий и базовой проектной документации. Отвечает за экспериментальную часть, анализы, описание основы технологии, ТЗ на технологию. Создает Центр Компетенций – многофункциональный научно-демонстрационный комплекс (установки, средства контроля и измерения, учебно-методические и информационные материалы) для электронно-лучевых исследований экологического назначения.

ИЯФ СО РАН – ведущий изготовитель и разработчик промышленных ускорителей электронов. Ключевые задачи в рамках программы – изготовление мульти-пучкового ускорителя высокой мощности и испытательного стенда для него, разработка мобильной испытательно-демонстрационной установки, проведение наладочных работ и ресурсных испытаний, эксперименты по электронно-лучевой обработке модельных и реальных образцов.

НИИЭФА – старейший и авторитетнейший разработчик высоковольтных ускорителей электронов с высоким током пучка. Основные задачи в рамках программы – изготовление и испытание моно-пучкового ускорителя для высокоскоростных потоков и цилиндрических реакторов, изготовление подпучкового оборудования, проведение пуско-наладочных работ и функциональных испытаний.

ИНП РАН – экспертная научная организация в области фундаментальных, прикладных и поисковых научных исследований, анализа и прогнозирования перспектив социально-экономического развития России и ее регионов. Целевые задачи в рамках программы – разработка рекомендаций и предложений в целях повышения экономических показателей ЭЛО, разработка и совершенствование методологии анализа и прогнозирования ЭЛО.

ФМБА России — федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по нормативно-правовому регулированию в сфере медико-санитарного обеспечения работников с особо опасными условиями труда. Задачи в рамках программы - осуществление санитарно-эпидемиологического контроля, анализ результатов эколого-аналитического контроля экотоксикантов, участие в обосновании новых экологических и природоохранных нормативов.

ИПЭЭ РАН – признанная экспертная организация в области фундаментальных исследований проблем экологии, эволюции и биоразнообразия. Основные задачи в рамках программы – эколого-аналитический контроль экотоксикантов в объектах окружающей среды, решение фундаментальных проблем охраны живой природы, исследования вопросов биологического разнообразия и устойчивого (рационального) использования биологических ресурсов, токсико-экологические исследования.

НИИТФА – центр проектирования и оптимизации оборудования для электронно-лучевых технологий. Целевые задачи в рамках программы – проектирование, координация проектных и технологических работ, экспертиза и регламентация процессов (разработка технологических регламентов для установок ЭЛО), автоматизация.

МГУ им. М.В. Ломоносова - флагман научных разработок и подготовки кадров в области физической химии и химии высоких энергий. Задачи в рамках программы - аналитические исследования, экспериментальные разработки, экспертиза технических решений, разработка рекомендаций, подготовка и совершенствование научных специалистов по базовой тематике программы.

РХТУ им. Д.И. Менделеева – ведущий химико-технологический ВУЗ с широкой специализацией, включая ключевые области промышленной экологии и химии высоких энергий. Задачи в рамках программы - экспертно-аналитические исследования, экспертиза технических решений, натурное и математическое моделирование, подготовка инженерно-технологических кадров по базовой тематике программы.

ИОГен РАН – старейшее генетическое учреждение в системе Российской Академии Наук. Целевые задачи в рамках программы – междисциплинарные исследования ген-культурной коэволюции и ген-средовых взаимодействий, генетические и генотоксикологические исследования, математическое моделирование, участие в обосновании новых экологических и природоохранных нормативов.

ЮФУ - один из ведущих многофункциональных научных центров РФ. Целевые задачи в рамках программы – материаловедческие исследования, мониторинг и анализ экологических показателей сред до и после электронно-лучевой обработки, проектирование очистного оборудования, разработка норм экологической безопасности, участие в обосновании новых экологических и природоохранных нормативов.

На отдельных этапах к работе планируется временно привлекать территориальные водоканалы, включая их НИИ и КБ, для опытного освоения ЭЛЮ, испытания, разработки рекомендаций.

Фундаментальные и прикладные исследования (ИФХЭ, МГУ, РХТУ, ФМБА РФ, ИПЭЭ, ИОГен РАН, ЮФУ), связанные с токсико-экологическими вопросами и разработкой электронно-лучевых методов/технологий с использованием уникального научного комплекса для электронно-лучевых исследований экологического назначения будут проводиться профильными специалистами все время выполнения программы. Параллельно будет проводиться подготовка учебно-образовательных курсов для студентов, аспирантов, операторов ускорителей и вспомогательного персонала.

Решение каждой из задач будет сопровождаться детальным экологическим анализом, разработкой программ обучения и подготовки кадров для электронно-лучевых технологий, популяризацией применения электронно-лучевых технологий в промышленной экологии и природоохранной практике, координационными мероприятиями с международными агентствами (ООН) и партнерами.

Выполнение программы основывается на глубоком экологическом анализе и должно привести к разработке, изготовлению и внедрению уникальной технологии и технических средств крупнотоннажного, энергоэффективного, безреагентного обезвреживания газообразных, жидких и твердых ило-образных отходов и аварийных техногенных выбросов.

Социально-экономическое развитие страны находится в прямой зависимости от контроля защищенности населения от негативного влияния местных суперэкоотоксикантов (СЭ), в частности, диоксинов (полигалогенированные производные бензола и фурана). Особенность многих СЭ состоит в их способности к аккумулярованию в живых организмах и окружающих материалах. Эта особенность провоцирует формирование и развитие длительных, хронических, токсических процессов в организмах, подвергаемых даже малым субтоксичным дозам СЭ. Опасность представляют отдаленные последствия хронического контакта с СЭ. Однако стратегия контроля и нормативы учета отдаленных последствий в поколениях населения отсутствуют. В этой связи, программа предусматривает скорейшую разработку направлений совершенствования системы охраны здоровья населения на территориях, где имеет место или предполагается накопление СЭ. Эта работа включает изучение общих механизмов, закономерностей и особенностей формирования, развития и течения патологий, обусловленных СЭ; разработку основ и методической базы для совершенствования системы контроля и охраны окружающей среды и здоровья населения в очагах и зонах накопленного экологического ущерба; создание аналитической базы для развертывания прикладных исследований в области сбережения здоровья населения на территориях, загрязненных СЭ. Наиболее пристального внимания заслуживают территории в окрестностях свалок, промышленных источников диоксинов, на загрязняемых сточными водами территориях, в крупных промышленных центрах и моногородах с существующей или существовавшей химической промышленностью, на территориях мегаполисов.

Выполнение программы направлено на обоснование новых экологических и природоохранных нормативов, опирающихся на развернутый анализ экологической ситуации на



объектах отечественной инфраструктуры. Анализ обращения с отходами призван выявить ключевые текущие и ожидаемые экологические проблемы, связанные с использованием устаревших технологий, а также предложить пути их преодоления. Важнейшей составной частью государственной экологической политики является «экологическое» образование населения и, в первую очередь, госчиновников. Поэтому эффективное экологическое образование – важная составляющая предлагаемой программы.

Важнейшие достоинства технических решений, реализуемых в программе:

- замена опасных и экологически-вредных методов обезвреживания загрязнений на безреагентные и экологически-безопасные;
- сокращение и устранение источников дурно-пахнущих и канцерогенных газов, ядовитых примесей в воздухе, воде и в осадках сточных вод;
- стерилизация сред, образуемых при обезвреживании загрязнений;
- сокращение площадей, занимаемых обезвреживающими сооружениями;
- сокращение площадей, занимаемых под депонирование илового осадка и мусорные полигоны;
- сокращение стадий обезвреживания загрязнений с увеличением его качества;
- устранение избыточного содержания солей и соединений тяжелых металлов в очищенной воде и осадках сточных вод;
- создание условий для самоочистки водоемов, используемых для сброса воды;
- устранение источников цвета и неприятного вкуса в воде;
- повышение уровня автоматизации и контролируемости обезвреживания загрязнений;
- устранение ультрадисперсных соединений в воде и воздухе;
- снижение коррозионной активности воды на всех стадиях водоочистки;
- обеспечение необратимости и взаимодополняемости обезвреживающих эффектов.

**б) сроки выполнения работ, последовательность действий участников и заказчиков комплексной программы, комплексного проекта при выполнении работ, изложенная в хронологическом порядке по дате завершения каждого отдельного этапа (вида работ) в соответствии с комплексной программой, комплексным проектом**

Выполнение полного инновационного цикла комплексных работ, скоординированных по задачам, срокам и ресурсам, включающего в себя научные исследования и необходимые этапы создания технологий, продукции и оказания услуг, рассчитано на 10 лет и включает следующие этапы:

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы	Исполнитель
1	Разработка технических требований к ключевому оборудованию. Комплектование научно-исследовательского комплекса.	Определение ключевых параметров научно-исследовательского комплекса, а также стационарных ускорителей, мобильного модуля, реакционного оборудования. Токсико-экологический анализ. Заказ, изготовление и комплектование научно-исследовательского комплекса.	1-ый год	ИФХЭ РАН, ИЯФ СО РАН, НИИЭФА, НИИТФА  ФМБА, ИПЭЭ РАН, ИОГен РАН, ЮФУ  ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ФМБА
2	Разработка конструкции ускорителей и реакционного оборудования. Запуск научно-исследовательского комплекса.	Проектирование элементов стационарных ускорителей, мобильного модуля и реакционного подлучкового оборудования. Токсико-экологический анализ.	2-ой год	ИФХЭ РАН, ИЯФ СО РАН, НИИЭФА, НИИТФА, НИЦ «КИ»  ФМБА, ИПЭЭ РАН, ИОГен РАН, ЮФУ
3	Комплектование и изготовление технологической оснастки и помещений для производства оборудования. Фундаментальные исследования.	Завершение комплектования и запуск научно-исследовательского комплекса. Публикационная деятельность. Разработка, приобретение и изготовление технологической оснастки и емкостных элементов для производства стационарных ускорителей, мобильного модуля и реакционного оборудования. Токсико-экологический анализ.	3-ий год	ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ  ИЯФ СО РАН, НИИЭФА, НИИТФА, НИЦ «КИ»  ФМБА, ИПЭЭ РАН, ИОГен РАН, ЮФУ

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы	Исполнитель
		<p>Фундаментальные исследования эффективности распределения энергии электронных пучков в жидких, твердых и газообразных средах, подлежащих обезвреживанию. Публикационная деятельность.</p>		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН
4	<p>Изготовление стационарных ускорителей. Прикладные исследования.</p>	<p>Изготовление и проверка элементов стационарных ускорителей. Сборка и проверка ключевых блоков и узлов.</p> <p>Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию.</p> <p>Публикационная деятельность.</p>	4-ый год	<p>ИЯФ СО РАН, НИИЭФА</p> <p>ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ</p> <p>ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН</p>
5	<p>Тестирование и оптимизация стационарных ускорителей. Изготовление оборудования для мобильного модуля. Разработка технологических регламентов.</p>	<p>Сборка и стендовые испытания стационарных ускорителей.</p> <p>Комплектование и изготовление элементов мобильного модуля и реакционного оборудования. Составление инструкций и иных регламентирующих документов по эксплуатации оборудования.</p> <p>Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию.</p> <p>Публикационная и образовательная деятельность.</p>	5-ый год	<p>ИЯФ СО РАН, НИИЭФА</p> <p>ИФХЭ РАН, ИЯФ СО РАН, НИИЭФА, НИИТФА, НИЦ «КИ»</p> <p>ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ</p> <p>ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН</p>
6	<p>Разработка решений по размещению оборудования. Подготовка монтажных систем. Экологические тесты.</p>	<p>Выбор/строительство технологических площадок и помещений для размещения оборудования; их оснащение необходимыми коммуникациями, монтажным оборудованием и средствами контроля.</p>	6-ой год	<p>НИИТФА, НИЦ «КИ» (соуч. ИЯФ СО РАН, НИИЭФА)</p>

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы	Исполнитель
		Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ
		Публикационная и образовательная деятельность.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН
7	Размещение, запуск и наладка оборудования. Пробные испытания на реальных средах.	Транспортировка, установка, сборка, запуск и наладка стационарных ускорителей, а также поддучкового реакционного оборудования. Сборка и испытания мобильного модуля.	7-ой год	ИЯФ СО РАН, НИИЭФА, ИФХЭ РАН
		Пробные испытания на реальных средах. Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ
		Публикационная и образовательная деятельность.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН
8	Сопряжение электронно-лучевого и традиционного очистного оборудования. Испытание и приемка оборудования.	Сопряжение электронно-лучевого оборудования с системами питания, ввода-вывода сред, анализа, оповещения и другими коммуникациями очистных сооружений. Испытание и приемка оборудования.	8-ой год	НИИТФА, НИЦ «КИ» (соуч. ИЯФ СО РАН, НИИЭФА), местный водоканал
		Токсико-экологические и физико-химические исследования сред, подлежащих обезвреживанию.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ
		Публикационная и образовательная деятельность.		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН
9	Подготовка документации для серийного производства и внедрения. Популяризация технологий.	Отладка технологии. Оптимизация оборудования. Составление технической документации для серийного производства оборудования и использования технологий.	9-ый год	НИИТФА, НИЦ «КИ», ИФХЭ РАН
				ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ФМБА, ЮФУ

№	Наименование этапа	Содержание работ	Сроки, годы	Исполнитель
		<p>Токсико-экологические и физико-химические исследования обезвреживаемых сред.</p> <p>Публикационная и образовательная деятельность.</p>		ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ЮФУ, ИПЭЭ РАН
10	<p>Авторский надзор за использованием технологий. Продвижение и оптимизация технологий.</p>	<p>Отладка технологии. Оптимизация оборудования. Авторский надзор за использованием технологии.</p> <p>Токсико-экологические и физико-химические исследования обезвреживаемых сред. Перспективное планирование развития технологии.</p> <p>Публикационная и образовательная деятельность.</p>	10-ый год	<p>ИНП РАН, ИФХЭ РАН, НИИТФА, НИЦ «КИ»</p> <p>ИФХЭ РАН, ИНП РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ИПЭЭ РАН, ЮФУ, ФМБА</p> <p>ИФХЭ РАН, МГУ, РХТУ, ИОГен РАН, ЮФУ, ИПЭЭ РАН</p>

**в) условия и порядок передачи участниками комплексной программы, комплексного проекта интеллектуальных прав на РИД, созданных в ходе реализации комплексных программ, комплексных проектов, для их дальнейшего использования (коммерциализации), как на территории Российской Федерации, так и за рубежом;**

Под правами на результаты интеллектуальной (научно-технической деятельности) понимаются исключительные права на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, топологии интегральных микросхем, программы для электронно-вычислительных машин, базы данных и секреты производства (ноу-хау).

Права на созданные в рамках выполнения настоящей программы результаты принадлежат соисполнителю (-ям), непосредственно создавшему (-им) РИД, из числа официально утвержденных соисполнителей программы. Исключительное право на использование программы для электронных вычислительных машин, базы данных, топологии интегральной микросхемы, секрета производства (ноу-хау), право на подачу заявки и получение патента на изобретение, полезную модель или промышленный образец принадлежит вышеуказанному лицу (лицам).

Соисполнитель, создавший РИД, обязан совершать юридически значимые действия по обеспечению правовой охраны результатов, признанных им патентоспособными, в соответствии с нормами части IV Гражданского кодекса Российской Федерации. Если соисполнитель в срок до истечения 6-ти месяцев после окончания работ по программе не обеспечит совершение всех действий, необходимых для признания за собой исключительных прав (путем подачи заявок на получение патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы или путем установления режима коммерческой тайны), права подлежат закреплению за Российской Федерацией и соисполнитель обязан выполнить действия, аналогичные действиям, предусмотренным пунктом 3 статьи 1373 Гражданского кодекса Российской Федерации.

Расходы по обеспечению правовой охраны результатов осуществляются за счет средств создателя РИД.

При принадлежности прав создателю РИД, лицо (лица), указанное (ые) Минобрнауки России, вправе безвозмездно использовать результаты, полученные при выполнении работ по настоящей программе, в целях выполнения работ или осуществления поставок продукции для государственных или муниципальных нужд в случае невозможности выполнения указанных работ или услуг создателем РИД. Создатель РИД обязан по требованию Минобрнауки России предоставить такому лицу (лицам) в сроки, не превышающие продолжительность необходимых для этого действий, всю необходимую отчетную, техническую и иную документацию, включая ее электронные версии, описание результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, а при необходимости – безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на использование таких результатов. Создатель РИД обязан информировать заинтересованных третьих лиц о наличии у Минобрнауки России прав, предусмотренных настоящей программой.

В случае, если из-за нарушения прав третьих лиц будет наложен запрет на использование результатов работ, полученных по настоящей программе, создатель РИД обязан за свой счет приобрести у правообладателя неисключительную лицензию на имя Минобрнауки России или указанного Минобрнауки России лица (лиц) для выполнения работ и(или) осуществления поставок продукции для государственных или муниципальных нужд, либо изменить за свой счет в согласованные с Минобрнауки России сроки полученные результаты работ таким образом, чтобы при дальнейшем их использовании не нарушались законные права третьих лиц.

В случае опубликования в средствах массовой информации и размещения в сети Интернет сведений о прикладных научных исследованиях, достигнутых промежуточных или итоговых результатах таких прикладных научных исследований по программе, а также в случае публичной демонстрации указанных результатов исполнитель обязан сделать указание, что

соответствующие прикладные научные исследования проводятся (проведены) при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России.

Публикация, в которой представлены сведения о прикладных научных исследованиях и достигнутых промежуточных или итоговых результатах, должна содержать указание на уникальный идентификатор, присваиваемый прикладным научным исследованиям в рамках утвержденной программы.

**г) направление заказчиками комплексной программы, комплексного проекта собственных средств для коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности получателя, полученных в рамках исполнения соглашения, в целях организации опытно-промышленного комплекса, влияющего на достижение показателей комплексного проекта.**

Расходы по обеспечению правовой охраны РИД осуществляются за счет средств создателя РИД. Также за счет собственных средств исполнителей выполняются дозиметрические исследования, дополнительные патентные исследования, выбор образцов исследуемых отходов, анализ избыточных энергетических потерь в технологическом оборудовании, маркетинговые исследования применения продукции за целевыми рамками программы, научные публикации в платных изданиях.

Другие целевые работы по программе носят государственное некоммерческое значение, поскольку создаваемое оборудование и технические решения предназначены для крупнотоннажного экологического и природоохранного применения, превосходящего по мощности запросы большинства коммерческих предприятий. Тем не менее, по мере развития программы, соисполнители будут прилагать необходимые усилия для выявления коммерческих и полукommerческих потребителей и их привлечения к финансированию работ по программе.

Экономические показатели ЭЛО улучшаются, когда объем сточных вод возрастает до  $\geq 10\,000$  м<sup>3</sup>/сутки ( $\geq 1000$  тонн/сутки по газу). В этом (среднетоннажном) случае ЭЛО начинает демонстрировать преимущество над другими технологиями как по капитальным затратам, так и по эксплуатационным расходам. И особую экономическую привлекательность ЭЛО приобретает при крупнотоннажном применении (когда совокупные потоки отходов превышают потоки отдельных предприятий). Это обусловлено нелинейной зависимостью габаритов и стоимости ускорителя от мощности пучка. При одной и той же энергии пучка, площадь под ускорителем возрастает пропорционально корню четвертой степени из мощности, т.е. вертикальные ускорители мощностью 500 и 50 кВт занимают сопоставимую площадь – различия в ширине технологической площадки не превышают 1.4 раза. Таким образом, *ЭЛО – технология для крупнотоннажного применения.*

Применение ЭЛО в сочетании с многими другими технологиями дает высокий, зачастую синергетический эффект (Woods, R.; Pikaev, A. *Applied Radiation Chemistry. Radiation Processing.*; Wiley: NY, 1994). Например, электронно-индуцируемое повышение агрегации частиц благоприятно для методов коагуляции, флотации и фильтрации. Изменение полярности и заряда молекул востребовано в методах сорбции, электродиализа и коагуляции. Изменение насыщенности связей и функциональных групп способствует росту эффективности полимеризационной, озонолитической и термохимической очистки. Однако наиболее известным является сочетание ЭЛО и биологической очистки. ЭЛО улучшает степень окисления и биоразлагаемость молекул, что позволяет уменьшать время и площади, а также увеличивать качество последующей био-обработки.

В области ЭЛО имеется значительный научный задел. Специалистами во всем мире исследованы фундаментальные и прикладные аспекты электронно-лучевого обезвреживания всевозможных загрязнений в воде, воздухе и твердых ило-образных отходах. Все эти процессы опробованы на маломощных (до ~100 кВт) электронных ускорителях коммерческого

(неэкологического) применения. По результатам исследований опубликовано свыше 10 000 оригинальных и обзорных научных статей. Насущность развития и внедрения ЭЛО в обезвреживание загрязнений подчеркивалась на недавних форумах Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ) с участием российских специалистов. Необходимость научных исследований в рамках программы обусловлена задачей создания новой, не имеющей аналогов, электронно-лучевой техники высокой мощности и, соответственно, разработкой технологий, отвечающих этому повышенному уровню техники - в настоящей программе предусматривается разработка и создание двух уникальных сверхмощных ускорителей и одного/двух уникальных мобильных ускорителя.

Социальной сущностью Программы является вклад в поддержание здоровья и трудоспособности населения на максимально возможном уровне. Реализация программы приведёт к возможности и способности решать конкретные задачи определения реальной степени экологической угрозы, генетической безопасности населения, а также к расширению сфер применения наукоемкой электронно-лучевой техники за счет её внедрения в водоочистную практику, что даст комплексный народно-хозяйственный эффект, благоприятный для здоровья людей, среды их обитания, продвижения передовых и прорывных технологий, выведет Россию в мировые лидеры в решении экологических проблем.

Проблемы экологии не решаются в рамках одного государства, загрязнения носят миграционный характер. Задача новых методов очистки и обеззараживания в условиях дефицита чистой воды, воздуха, почвы может стать основой международной консолидирующей повестки, что особенно актуально в нынешней геополитической ситуации.

Проект исходит из императива реализации федеральной Стратегии экологической безопасности. Реализация масштабной комплексной задачи требует высшего уровня системности и приоритетности поддержки подобных инициатив.

Приложение №1

Приложение №2

Заявитель:

Директор ИФХЭ РАН,  
член-корреспондент РАН  
доктор химических наук

Дата 26 07 2023г.

