

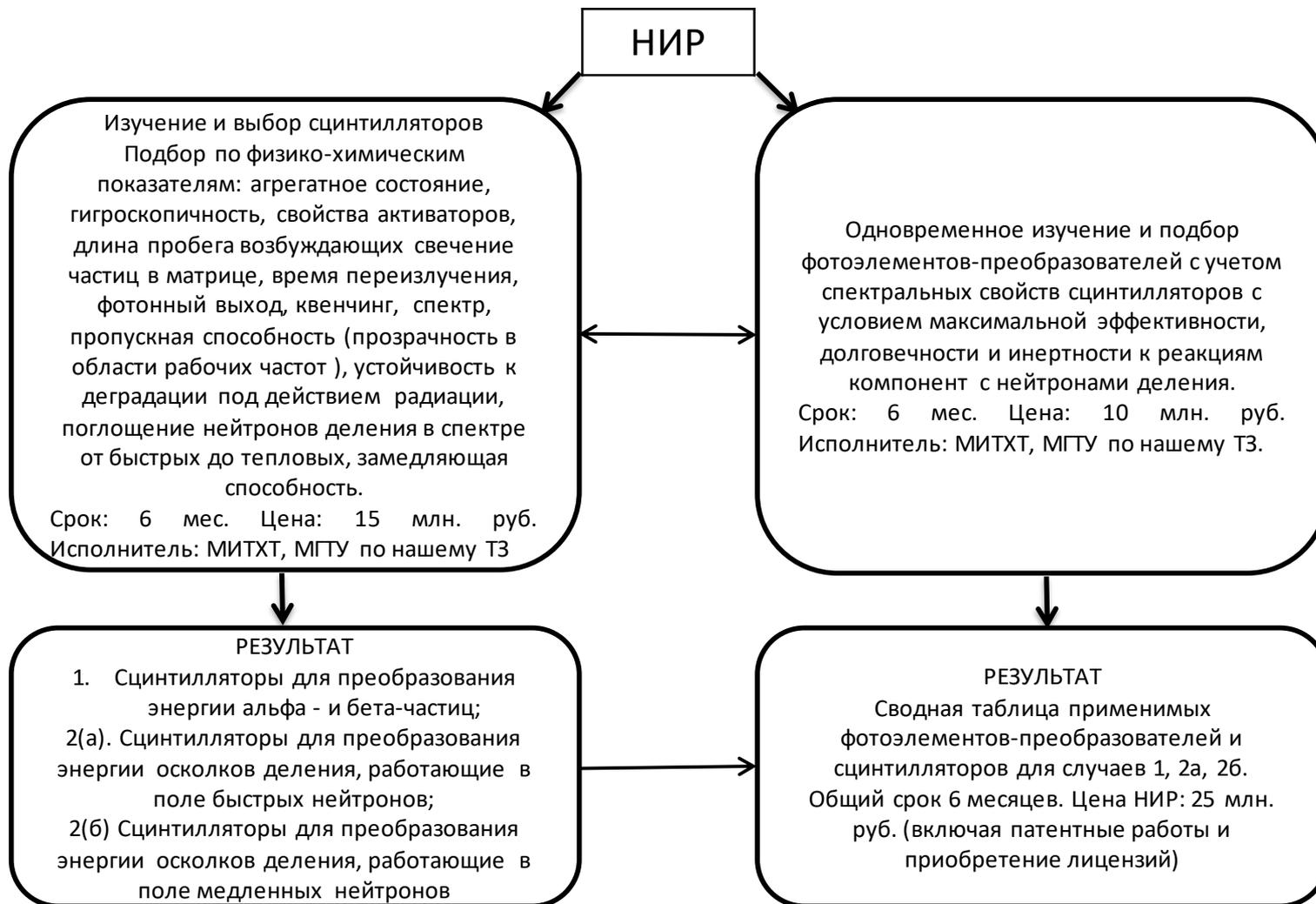
## Разработка технических решений для преобразования ядерной энергии (энергии распада и энергии деления) в электромагнитное излучение узкого спектра с дальнейшим преобразованием в электрическую энергию или энергию лазера с высоким КПД

В основе проекта лежат известные физические явления: трансформация ядерных материалов с выделением энергии; люминесценция сцинтилляторов, фото- и катодных люминофоров, внутренний фотоэффект в полупроводниковых материалах. Новизна проекта заключается в использовании этих физических явлений в новом качестве и сочетании, а также ряд технических решений (дизайнов) устройств, позволяющих трансформировать ядерную энергию жесткого спектра в узкий спектр электромагнитного излучения в области ИК – УФ и последующее его использование для накачки твердотельных лазеров в широком диапазоне мощностей и энергий пучка, а также для преобразования в низковольтное электричество.

Проект делится на две части (раздела): «создание и производство элементов электропитания на ядерной энергии» и «создание твердотельных лазеров с ядерной накачкой». Каждая из частей Проекта базируется на одинаковых физических принципах, но автономна по своему исполнению и состоит из НИР, ОКР и исполнительской части с производством опытных образцов и их испытаний.

Результатом Проекта должно стать общее технологическое решение для целого класса новых, уникальных по своим свойствам технических устройств. А именно: автономные твердотельные лазеры широкой области использования и диапазона мощностей без внешнего источника энергии (генераторов, накопительных батарей, внешней электросети), а также лазеры с генерацией на нескольких частотах одновременно – мультиспектральные лазеры (или «белый» лазер); компактные, мощные, долговечные элементы электропитания, не требующие зарядки, на основе широкого спектра радиоактивных отходов АЭС и других производств («ядерные батарейки»), значительно превосходящие созданные корпорацией «Росатом» бетавольтаические элементы на основе  $Ni^{63}$ , по уровню себестоимости (в серийном производстве сравнима с обычными сорбционными аккумуляторами) - *малая фотонная энергетика*; крупные электро-ядерные самозаряжающиеся аккумуляторы (и псевдореакторы с высоким коэффициентом умножения нейтронов КУ) в качестве основных элементов питания силовых систем космических аппаратов, БПЛА, подводных аппаратов, удаленных систем контроля за пространством и передачи данных, электромобилей, экзоскелетов и автономных роботов – *средняя фотонная энергетика*; ядерные энергетические реакторы с прямой выработкой светового потока высокого КПД (теоретически до 80%) с дальнейшей передачей энергии по оптоволоконным кабелям к потребителям без подстанций и ЛЭП и с преобразованием в электрическую энергию низкого напряжения непосредственно на месте потребления – *большая фотонная энергетика*; электро-ядерный движитель для атмосферных, стратосферных и космических аппаратов; мощные одноразовые и постоянные устройства-излучатели РЭБ широкого диапазона (до терагерцового включительно) на основе оптоэлектронных кристаллов.

## СОЗДАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ



ОКР

Расчет и проектирование «ядерной части» элементов электропитания двух типов: на основе альфа – и бета-распада (тип 1 из НИР) на базе выбранного элемента-источника излучения и на основе энергии осколков деления урана с внешним источником нейтронов (облучением пучками из реактора или из постоянного источника) - тип 2 (варианты «а» или «б» принципиального значения не имеют и принимаются по результатам НИР по принципу наименьших затрат). Тип источника электропитания 2 является более мощным, сложным в расчете, изготовлении и эксплуатации, потенциально более опасен и по своей физической природе относится к компактным подкритическим ядерным реакторам. Тип 1 является прототипом «ядерной батарейки» и значительно проще по своей конструкции и технологии изготовления.

Тип 1: Срок: 2 мес. Цена: 2 млн. руб. Исполнитель: МЭИ, МГТУ, ОИЯИ, «Курчатовский Институт» по нашему ТЗ или собственными силами.

Тип 2: Срок: 4 мес. Цена: 8 млн. руб. Исполнитель: МЭИ, МГТУ, ОИЯИ, «Курчатовский Институт», ФЭИ по нашему ТЗ.

РЕЗУЛЬТАТ: рабочие проекты (с ИРД) для производства двух типов устройств оптико-электронных преобразователей ядерной энергии в электрическую.

Расчет и проектирование «накопительной части» элементов электропитания для двух типов «ядерных частей» элементов электропитания.

Срок: 2 мес. Цена: 5 млн. руб. Исполнитель: МЭИ, МГТУ, МИТХТ по нашему ТЗ.

РЕЗУЛЬТАТ: Электрическая схема зарядки от оптоэлектронного преобразователя («ядерной части») аккумулятора – накопителя, располагаемого в едином корпусе устройства и с одновременной возможностью передачи стабильной электрической мощности потребителю. Рабочие проекты (с ИРД) для производства двух типов устройств электропитания в сборе.

Изготовление и испытания устройств двух типов.

Тип 1 (батарейка): Срок: 2 мес. Цена: 5 млн. руб. Исполнитель: МЭИ, МГТУ, МИТХТ, ОИЯИ, «Курчатовский институт», ФЭИ по нашему ТЗ.

Тип 2 (п/к микрореактор): Срок: 6 мес., Цена: 20 млн. руб. Исполнитель: ОИЯИ, «Курчатовский институт», ФЭИ по нашему ТЗ.

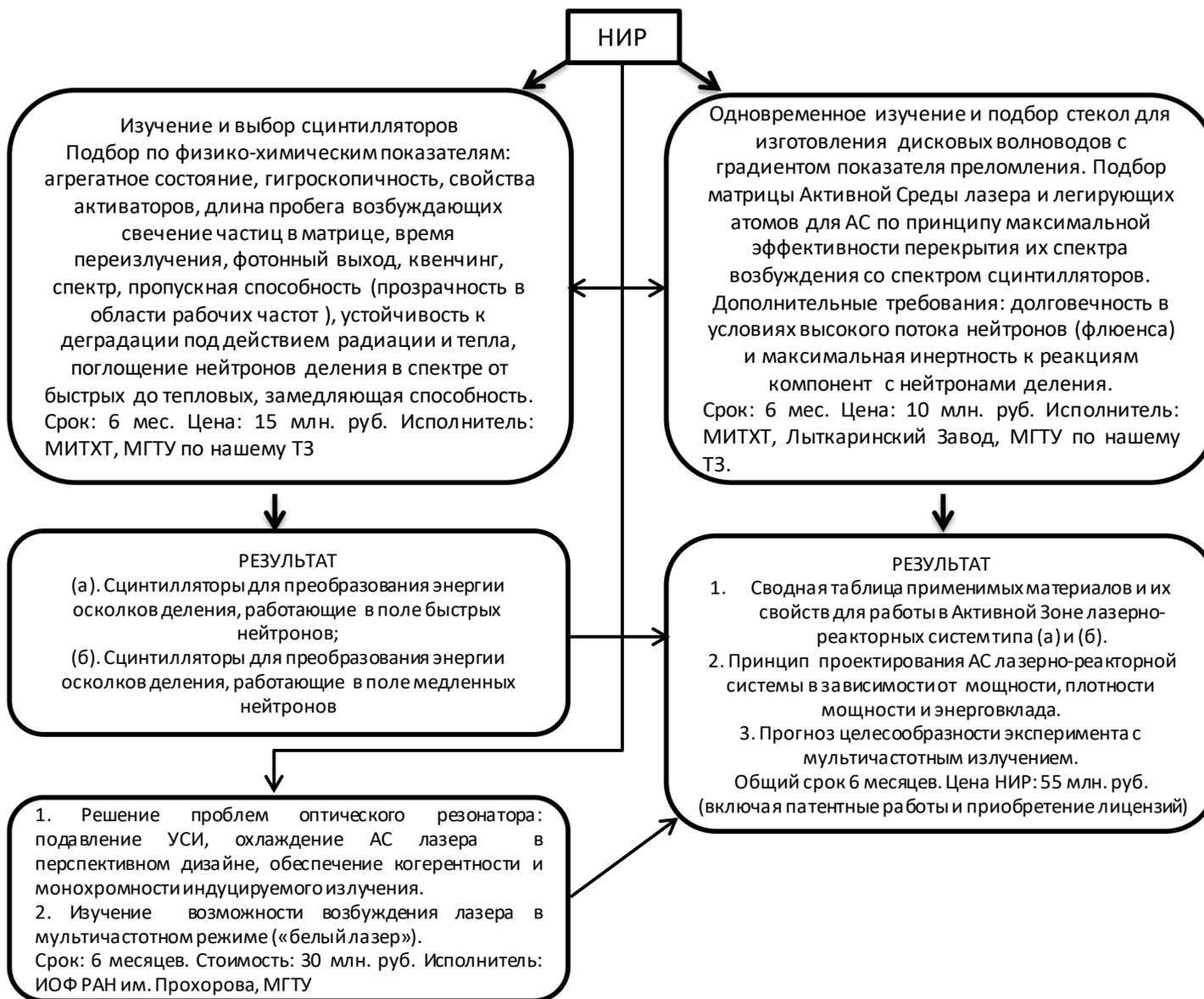
РЕЗУЛЬТАТ: Изготовление двух типов устройств автономного электропитания большого срока службы с оптико-электронным преобразованием ядерной энергии в электрическую с высоким КПД. Получение принципиально новой технологии выработки э/э с помощью атомных устройств в широком диапазоне мощностей.

По разделу «Создание и производство элементов электропитания на ядерной энергии» необходимо привлечь денежные средства в размере от 45 до 65 миллионов рублей. Срок реализации данной части проекта: от 12 до 18 месяцев. В первом варианте финансирования результатом будет получение технологии производства «ядерных батареек» – компактных относительно маломощных долговечных элементов питания, не требующих подзарядки от сети и иных источников. Срок службы таких элементов определяется примерно ½ периода полураспада ядерной компоненты устройства и износом и деградацией основных элементов. Одним аналогом такой продукции являются многочисленные РИТЭГ, работа которых основана на термоэмиссионных процессах, а КПД чрезвычайно низок, высоко паразитное тепловыделение, устройства дороги и очень громоздки (используется большое количество ядерного материала). Вторым аналогом является «ядерная батарейка» на основе трития (США), никеля – 63 (РФ). Однако и в этом случае устройства либо крайне недолговечны, ненадежны и опасны (тритий), либо очень дороги (никель-63).

Для сравнения основных характеристик источников питания соизмеримой мощности в таблице приведены основные параметры малого РИТЭГ и батарейки корпорации «Росатом». Характеристики этих изделий сильно разнятся. Для наглядности в оценке характеристик предлагаемого устройства использован изотоп плутония-238. Однако планируется исполнение подобных элементов с изотопами йода, стронция или цезия, как наиболее дешевых и долговечных.

Элемент питания	Удельная электрическая мощность, мВт/кубсм / КПД %/ срок службы, лет	Масса, кг/размеры, мм	нуклид/масса, грамм	Цена, Р/срок изготовления, мес.
РИТЭГ «Ангел» - 238-0,1/15	0,215 / около 1% / 10	0,5 / Ø85 X 125	Pu-238 / 15	12 000 000 / 12
Батарейка «МИСиС» (Росатом) Нет в производстве	0,1 мВт/кубсм – импульсный режим; 100 нВт /кубсм – постоянный режим КПД 27% / 50 лет (заявлено) Реально вызывает сомнения, т.к. есть прямой контакт ф/э с радиоизотопом! И проблема срока службы накопителя не заявлялась	- / Ø16 x 6,2	Ni-63 / менее 1	1 500 000 / -
Предлагаемый источник питания	50 мВт/кубсм – постоянный режим КПД 30% / >10 лет (нет контакта с ф/э, и накопитель с емкостью 10:1 на 2000 – 5000 циклов) С возможностью повышения КПД и срока.	около 0,01(0,02) / Ø23 X 25 (50) – ()с накопителем	Pu-238 / 0,05 Работает на дешевых альфа и бета-изотопах с приемлемым T1\2 Стронций-90. ЙОД – 131, ЦЕЗИЙ – 137, углерод – 14, тритий, плутоний...	800 000/ 1

## СОЗДАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ С ЯДЕРНОЙ НАКАЧКОЙ



ОКР

Проектирование двух видов накачивающих устройств (НУ) в дизайне наборных цилиндров из дисков накачки с покрытием из сцинтиллятора и топлива, и с коаксиальным отверстием, изолированным поглотителем от потока нейтронов для сменной АС лазера в простейшей форме – твердотельного цилиндра с торцевыми резонаторами в сборе. Первый вид НУ – с напылением топлива в виде урана-235 на слой сцинтиллятора. Второй вид НУ – с размещением топлива в мелкодисперсной фазе в слое сцинтиллятора (концентрация топлива во втором варианте в 3 – 10 раз выше, чем в первом). По типу АЗ НУ может быть как (а) – на быстрых нейтронах, так и (б) – на медленных. Выбор зависит от НИР по подбору материалов и их эффективности. НУ проектируются под условия внешнего облучения нейтронами из импульсного реактора, реактивность НУ отрицательная (глубоко подкритичен), КУ не высокий. Предполагаемый источник облучения – реактор ИБР-2М (г. Дубна).  
Срок: 6 мес. Цена: 15 млн. руб. Исполнитель: ОИЯИ, МГТУ, ФЭИ, МЭИ по нашему ТЗ и по ТУ реактора.

Одновременное проектирование сменных АС лазеров в количестве 4 единиц. Условия проектирования согласуются с проектом двух видов НУ по мощности (энерговкладу) при условии цуговой накачки АС (время импульса накачки меньше времени жизни лазерного уровня АС). 2 единицы выполняются для первого вида НУ (мощность ниже) и 2 для второго (мощность выше). При этом для каждого вида НУ проектируется одна АС с одним лазерным уровнем, а вторая – с двумя или более (мультичастотный лазер).  
Срок: 6 мес. Цена: 10 млн. руб. Исполнитель: ИОФ РАН, МГТУ по нашему ТЗ.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ 4-х образцов АС, и двух комплектов дисков накачки (ДН) для НУ.  
Срок : 3 мес. + 3 мес.  
Примерная стоимость: 20 млн. руб.  
Изготовитель: Лыткаринский Завод

Финальная сборка изделий непосредственно в испытательной лаборатории (совмещение НУ с АС), их поэтапное облучение, снятие первичной информации и её обработка.  
Утилизация отработанных устройств.  
Формирование отчета испытаний.  
Срок : 12 мес.  
Примерная стоимость: 60 млн. руб.  
Исполнитель: ОИЯИ (ИБР-2М, г. Дубна)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ 2-х образцов НУ  
Срок : 6 мес.  
Примерная стоимость: 30 млн. руб.  
Изготовитель: ОИЯИ, ФЭИ, НПО «Луч»

Диски накачки

Результатом проекта по разделу «Создание твердотельных лазеров с ядерной накачкой» являются:

1. Сводный отчет испытаний двух видов накачивающих устройств (НУ) с разной организацией распределения ядерного топлива и, как следствие, разной мощности и энерговыклада в активную среду (АС) лазера. Каждый из двух видов НУ испытывается для двух составов АС по легирующему элементу лазерного стекла-матрицы с целью изучить возможность мультисоставной генерации.
2. Отчет о мерах борьбы с усилением спонтанного излучения (УСИ), разогревом АС и другими паразитными явлениями при больших мощностях светового потока, а также концептуальное решение задачи эффективного охлаждения и соответствующий дизайн АС мощных лазеров.
3. Технология создания мощных и компактных твердотельных ЛЯН.

Срок окончания работ по части (разделу) составляет около 24 месяцев. Стоимость работ: НИР – 55 млн. руб., ОКР – 135 млн. руб. Итого по разделу: 190 млн. руб.

На сегодняшний день довольно широко известны и популярны разработки мощных твердотельных и оптоволоконных лазеров технологического и военного назначения таких производителей, как ИРЭ «Полюс», ИОФ РАН, компаний США Boeing, Northrop Grumman Corp., Lockheed Martin, Raytheon, агентство DARPA, израильская компания Rafael Advanced Defense Systems («железный луч»). Однако стоит отметить, что несмотря на явные достижения (мощность квазистационарных лазеров достигла 150 кВт), установки этих компаний имеют существенные недостатки. Во-первых, так или иначе, все они связаны с необходимостью генерации огромной электрической мощности для накачки АС при довольно низком КПД преобразования. Поэтому при кажущейся компактности самого излучателя генерирующее оборудование весьма громоздко. По одному из важнейших показателей, удельной массе лазера, эти установки едва ли смогут перешагнуть предел в 5 кг/кВт. Во-вторых, накачка с помощью разряда электрического аккумулятора или конденсатора неизбежно упирается в так называемую LC-проблему, то есть в строго физический предел времени разряда и зарядки накопительного устройства (реактивное сопротивление контура). А это влечет за собой естественные ограничения по мощности и энерговыкладу в АС. Например, 10 кВт-ный технологический волоконный лазер ИРЭ «Полюс» требует 700 кВт присоединенной мощности питающей сети! А его стоимость исчисляется сотнями тысяч долларов США. Таким образом, все мощные лазеры с электропитанием привязаны к большим генераторам и накопителям. И не смотря на оптимистичные отчеты об испытаниях в СМИ, этому виду оружия далеко до статуса стратегического.

Предлагаемая в Проекте разработка позволит создать лазеры без электричества (ЛБЭ) большой мощности и высокой степени автономности. Ядерная накачка позволит добиться показателя удельной массы устройств на 2 – 3 порядка(!) меньше, то есть 0,05 – 0,005 кг/кВт. При этом для достаточно небольшой лазерно-реакторной системы мощность в 1 – 10 ГВт и энергия в пучке в 0,1 – 1 МДж не являются проблематичными (при импульсе цуговой накачки в 0,1 – 1 мс). При этом высокая автономность и скорострельность устройств (отсутствие LC-фактора) позволит их свободно размещать на самолетах и космических ЛА, что решает проблему стратегической ПРО гораздо дешевле и эффективнее сотен и тысяч противоракет.

## КОММЕРЧЕСКАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ПО ВТОРОЙ ЧАСТИ.

Если исключительно ориентироваться на ВПК и военное применение разработок Проекта в области мощных лазеров, то оценить коммерческие перспективы вложений можно следующим образом.

Потенциальный противник РФ на сегодня декларирует вложения в систему ПРО к 2030 году в размере 1 трлн. долларов США. Как показывает практика, доля капитальных затрат на средства поражения составляет около 70 – 80% от общих затрат на систему вооружений. То есть, около 800 млрд. Та же практика говорит нам о том, что сколько бы одна из сторон не пыталась дать асимметричный ответ в сфере развития своего наступательного потенциала, рано или поздно, наступает момент, когда дисбаланс в области оборонительных систем становится критическим и требует равновесия или минимального паритета. Та же практика бывшего СССР и России 2000-х показывает, что эффективность затрат в долларовом эквиваленте на оборону в РФ относительно США составляет 8:1. то есть, на адекватную реакцию в военном противостоянии России требуется в валютном исчислении в 8 раз меньше средств. Итого, РФ в свою ПРО неизбежно вложит около 100 млрд. долларов США в течение 10 лет. То есть чисто российский рынок ПРО-технологий составит около 10 млрд долларов в год.

Мы оценили необходимое количество спутников, вооруженных подобными разработками Проекта лазерами для полного круглосуточного закрытия всей территории РФ и наиболее вероятных ТВД и ракетноопасных направлений. Результат - 20 – 30 боевых платформ массой 10 - 15 тонн каждая. Себестоимость одной платформы с выводом на орбиту и сроком эксплуатации до 20 лет составит не более 0,5 млрд долларов США. То есть это всего 10 – 15% от предполагаемого бюджета. Мы не исключаем в будущем появления таких услуг, как «противоракетная или противовоздушная защита территории и объектов союзных и нейтральных государств от внешней агрессии», «введение бесполётной зоны» или «сопровождение ЛА в потенциально опасном районе». При этом, такая платная услуга может оказываться с помощью боевых космических платформ с нашим лазером без формального присутствия наших войск в зонах предполагаемых конфликтов. Услуги такого рода, вероятнее всего, будут оказываться государством. Но это не исключает коммерческих запусков аппаратов и отчисления «роялти» его производителю из средств по оплате услуги. За эту идею говорит тот факт, что еще совсем недавно ЧВК представлялись экзотикой.

В плане мирного использования подобных лазеров промышленной мощности (квазистационарных и импульсных) наибольший интерес представляют услуги, связанные с рабочими операциями в труднодоступных районах и полевых условиях, также исполнение уникальных операций, когда управляющие установкой профессионалы, осуществляют по заказу сторонних лиц и предприятий работы на аутсорсинге. Примером таких услуг может быть: напыление пленок, упрочнение поверхностей деталей, точная резка (раскройка) конструкций, точная сварка элементов конструкций и так далее. Малые предприятия и даже отдельные крупные заводы, заинтересованные в таких услугах, часто не могут себе позволить приобретение такого оборудования и не имеют нужного для его эксплуатации персонала. Китайский опыт в этой сфере весьма показателен. Крупное профильное НПО или НИИ могут создать такой лазер и исполнять заказы клиентов на договорной основе.

Сегодня лазерные технологии во многом определяют развитие практически всех отраслей современной промышленности. Поэтому степень развития и темпы роста лазерных технологий в любой стране однозначно отражают мощь, статус и технологическое положение данной страны на мировом рынке. В таблицах 1 и 2 приведено примерное распределение спроса на лазерные технологические системы в России по отраслям и основным технологическим операциям (данные получены из анализа запросов, поступивших на оборудование в 2007-2009 гг.).

Таблица 1.

Авиация и космос	энергетика	Оборонная промышленность	Атомная промышленность	Электроника и связь	Машино- и приборостроение	прочее
20%	5%	18%	18%	15%	15%	9%

Таблица 2.

микрообработка	Маркировка/гравировка	сварка	резка	другое
20%	15%	25%	35%	5%

Анализируя эти таблицы, следует иметь в виду, что количественные соотношения между различными сегментами и темпы их роста быстро меняются. Эти изменения связаны как с развитием различных отраслей, так и с прогрессом в создании самих лазерных систем. Так, с появлением мощных волоконных лазеров возникли новые возможности использования лазерных технологий в машиностроении. Соответственно начал расширяться сегмент машиностроения. А расширение разработок новых источников энергии, систем управления, навигации, фотоэлектрических устройств стимулирует направление, связанное с лазерной микрообработкой.

В настоящее время лазерная резка применяется во всех отраслях промышленности от раскроя листового металла для корпусов различных приборов до изготовления строительных конструкций, деталей машин, узлов летательных аппаратов, судов, специзделий. Спрос на лазерные комплексы в России начал расти примерно в середине 2000-х. В 2007–08 гг. годовой объем продаж новых систем для лазерной резки составил, по данным исследователей рынка, не менее 150 – 200 шт. при мировом объеме продаж до 4000 комплексов.

Создание автономных мощных лазеров без потребления э/э позволит резко занять долю рынка крупных заказов в области микрообработки, резки и сварки. Отдельно стоит указать перспективу таких установок в атомной промышленности. В настоящее время разделительные мощности (обогащение урана), базировавшиеся на старых традиционных технологиях (диффузионные мембраны, центрифуги, разделительные сопла), быстро амортизируются и постепенно выводятся из эксплуатации. Но рынок ядерного топлива и спрос на него продолжают расти. В ближайшие 10 – 15 лет мировая энергетика может столкнуться с нехваткой современных разделительных мощностей в объеме до 10 млн. ЕРР/год. Перспективный метод лазерного разделения изотопов при всех своих очевидных преимуществах упирается в низкий КПД и невысокую мощность лазеров с электропитанием. И в этом сегменте предлагаемые в данном Проекте ЛЯН (ЛБЭ) могут показать высокую эффективность по всем техническим и экономическим показателям. Рыночная стоимость 1 ЕРР - \$130. При этом в мире сегодня объем услуг 60 миллионов ЕРР/год, из них 45% рынка занимает РФ. Удельные кап/вложения на 1ЕРР/год порядка \$1500 - \$2000. Таким образом рынок для нашего оборудования в этом сегменте услуг потенциально может составить 10 млрд.\$ до 2030 года.

Таким образом, весь Проект, состоящий из двух автономных исследовательских частей, по срокам исполнения занимает от 24 месяцев до 30. 6 месяцев инициаторы Проекта резервируют на возможные технические задержки, связанные с возможными отсрочками в проведении работ и экспериментов в подрядных организациях (могут быть временно заняты лаборатории или производственные линии предприятий-исполнителей иными заказами). Также возможны задержки на этапе ОКР при работах по проектированию лазерных систем. Это связано с необходимостью взаимных корректировок проектных показателей частей оборудования, разрабатываемых в разных учреждениях-исполнителях. На стоимость Проекта и отдельных его этапов данные задержки влияния не окажут, так как условия исполнения заказов с учетом этих корректировок будут жестко прописаны в договорах.

Стоимость первой части Проекта оценивается: в усеченном варианте 45 миллионов рублей при сроке исполнения 12 месяцев; в расширенном варианте 65 миллионов рублей при сроке исполнения 18 месяцев. Стоимость второй части Проекта оценивается в 190 миллионов рублей при сроке исполнения от 24 до 30 месяцев. Общая максимальная стоимость Проекта оценивается в 255 миллионов рублей при сроке завершения не более 30 месяцев.

Дополнительно следует отметить, что от 70% до 80% стоимости Проекта – это оплата услуг и продукции государственных научных и производственных учреждений высокой степени компетенции в тематике Проекта. Инициаторы Проекта оставляют за собой лишь компетенцию центрального КБ (разработку концепции Проекта) и функции заказчика с выше означенными компетентными организациями.