

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Доклад**  
**о комплексном плане научных исследований (КПНИ)**  
**«Фундаментальные проблемы интеллектуальных**  
**энергетических систем и пути их решения»**

КПНИ реализуется в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы по направлению «III.17. Основы эффективного развития и функционирования энергетических систем на новой технологической основе в условиях глобализации, включая проблемы энергобезопасности, энергосбережения и рационального освоения природных энергоресурсов».

Организации-участники:

1. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН, Иркутск);
2. Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (ИТ СО РАН, Новосибирск);
3. Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН, Якутск);
4. Институт вычислительных технологий СО РАН (ИВТ СО РАН, Новосибирск);
5. Институт динамики систем и теории управления СО РАН (ИДСТУ СО РАН, Иркутск);
6. Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (ИСИ СО РАН, Новосибирск);
7. Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН, Владивосток);
8. Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (ИЭиОПП СО РАН, Новосибирск);
9. Институт энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН, Москва);
10. Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН, Москва);
11. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН, Москва).

Сроки реализации: 2017-2020 гг.

Автор доклада: Воропай Николай Иванович, научный руководитель ИСЭМ СО РАН, чл.-корр. РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, +7(3952)424700, [voropai@isem.irk.ru](mailto:voropai@isem.irk.ru)

Иркутск, 31.03.2017

## 1. Анализ структуры и проблем развития науки в направлении реализации комплексного плана научных исследований.

К середине XXI века следует ожидать кардинальных изменений в облике энергетики. Эти изменения связаны не только с внутренними для энергетики процессами (интенсивное развитие энергетических технологий, качественный сдвиг в масштабах применения интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий и средств для управления энергетическими объектами и системами), но и с принципиальным изменением парадигмы развития и функционирования энергетических систем как клиентоориентированных инфраструктурных систем для надежного и эффективного обслуживания отраслей экономики и социальной сферы. К инфраструктурным энергетическим системам относятся прежде всего системы электро-, тепло- и газоснабжения, имеющие развитую транспортную и распределительную сетевую инфраструктуру. В определенном смысле к инфраструктурным можно отнести системы нефте- и нефтепродуктоснабжения, хотя они не имеют развитых распределительных сетей. К инфраструктурным относятся также системы водоснабжения.

Можно выделить общие тенденции в развитии и функционировании будущих энергетических систем (электроэнергетических, теплоснабжающих и газоснабжающих):

1. Увеличение масштабов рассматриваемых энергетических систем, расширение обслуживаемых ими территорий.

2. Усложнение структуры энергетических систем вследствие увеличения многообразия силовых элементов в больших диапазонах технологий и мощностей, включая распределенную генерацию, и усложнения конфигурации сетевой инфраструктуры.

3. Широкое использование инновационных технологий при производстве, транспорте, распределении и потреблении энергоресурсов и конечных видов энергии, в том числе основанных на возобновляемых источниках энергии.

4. Рост активности поведения потребителей в плане управления собственным энергопотреблением в темпе процесса при использовании дифференцированных по времени цен на потребляемые энергоресурсы.

5. Широкое использование информационно-коммуникационных технологий для измерения параметров состояния энергетических систем, передачи, обработки и представления текущей информации для мониторинга режимов и управления ими.

6. Повсеместное активное применение идеологии интеллектуальных энергетических систем как технологической платформы будущих энергетических систем.

7. Существенное изменение свойств будущих интеллектуальных энергетических систем как объектов мониторинга их состояния и управления их режимами.

8. Создание условий для формирования интегрированных интеллектуальных энергетических систем как единых технологических комплексов с общей системой управления благодаря не только традиционным факторам интеграции на уровне производства энергии (например, ТЭЦ, производящих электроэнергию и тепло при применении газа в качестве топлива), но и в связи с наличием альтернативных технологий использования разных видов энергии для одной и той же цели у потребителей (например,

отопление от централизованной теплоснабжающей системы либо за счет электрообогревателей).

На протяжении последних 10 – 15 лет ведущими специалистами мира активно обсуждается и развивается проблема создания интеллектуальных электроэнергетических систем (ЭЭС) – Smart Grids. Во многих странах активный интерес к идеологии интеллектуальных ЭЭС как технологической платформе энергетики будущего обусловлен несколькими основными факторами: ожидаемым широким распространением сильно флуктуирующих возобновляемых источников энергии, дополнительным спросом на электроэнергию, связанным с постепенным переходом на электромобили, а также развитием информационных технологий, позволяющих создать качественно новые высокоэффективные системы мониторинга и управления ЭЭС. Под эгидой международных организаций ежегодно проводятся международные конференции, посвященные проблематике интеллектуальных ЭЭС (Innovative Smart Grid Technologies, IEEE PES General Meeting, IEEE Power Tech, IEEE Power Con и множество других).

Идеология Smart Grid уже начинает применяться не только в электроэнергетике, но и в системах тепло- и газоснабжения, которые имеют существенный методический, технологический и информационный потенциал для развития в данном направлении, особенно применительно к условиям России. Этому способствует успешно развиваемый рынок доступных по стоимости современных технологий интеллектуализации, систем управления и учета, телекоммуникаций и информационного обеспечения, малой генерации на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и др.

В России проблематика интеллектуальных энергосистем развивается активно и динамично. Сформирован существенный задел в этой области, позволяющий надеяться на появление в ближайшем времени прорывных научно-технических разработок. В то же время, имеет место неодинаковый уровень результатов по отдельным направлениям и по разным энергетическим системам. Кроме того, состояние разработок в России представляется недостаточным по сравнению с зарубежным опытом. Все это требует активизации и комплексной интеграции фундаментальных исследований проблем интеллектуальных энергетических систем и путей их решения с выходом на конкретные прикладные разработки и активным сотрудничеством с зарубежными научными организациями.

## 2. Цели, задачи, структура работ и основные результаты реализации комплексного плана научных исследований.

**Основная цель** - это обеспечение международной конкурентоспособности отечественной фундаментальной науки об интеллектуальных энергетических системах как инновационной технологической платформе будущей энергетики на прорывных ее направлениях на основе концентрации ресурсов и интеграции компетенций, системного планирования и координации исследований организаций-участников и организаций-партнеров.

**Важнейшие задачи** комплексного плана:

- Развитие междисциплинарного многоуровневого системного подхода к обоснованию формирования интеллектуальных энергетических систем будущего с иерархической интегрированной структурой и управления функционированием таких систем на основе прорывных энергетических технологий, передовых интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий, современных методов теории управления и оптимизации, для обеспечения эффективности развития и функционирования интеллектуальных энергетических систем, качества поставляемых потребителям энергоресурсов и надежности энергоснабжения.

- Формирование фундаментального научного задела для опережающего развития России в области создания интеллектуальных энергетических систем и управления ими с выходом на эффективные прикладные разработки с целью реализации интеллектуальной технологической платформы будущей энергетики страны с учетом международной энергетической кооперации.

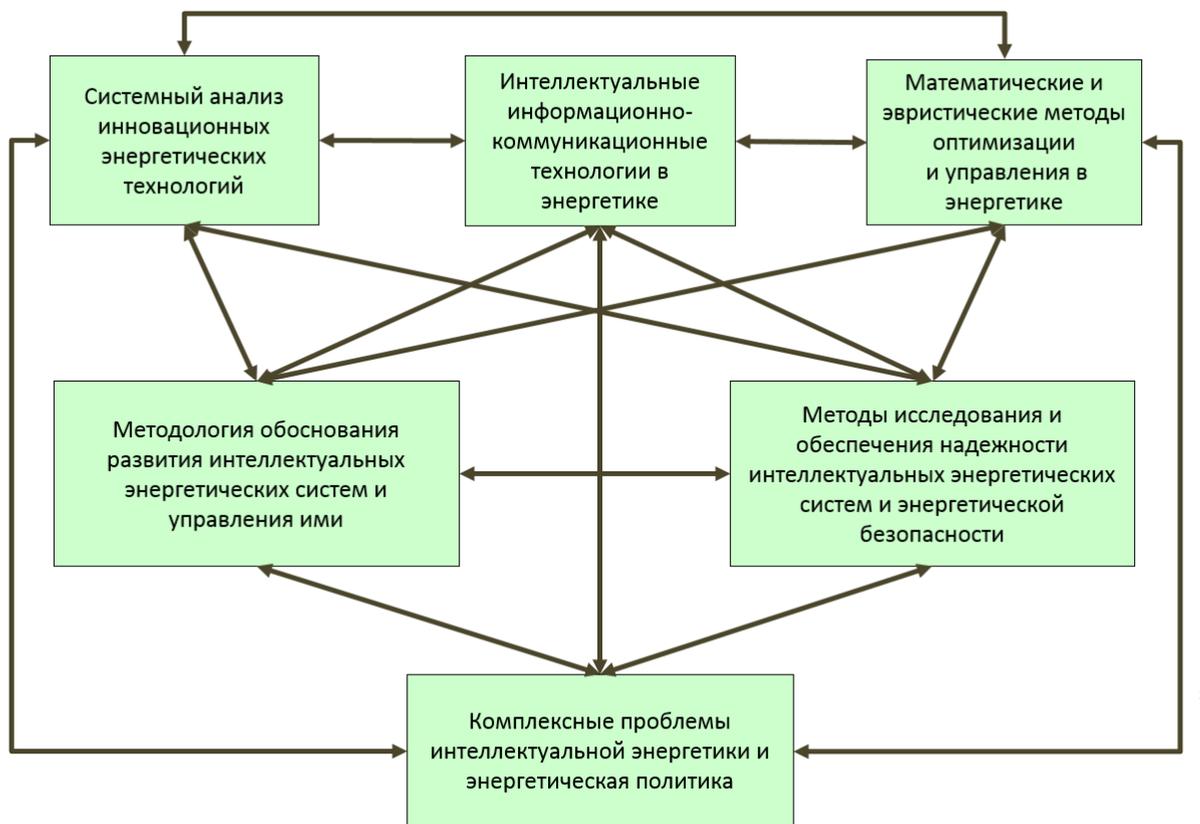
- Координация и интеграция кадровых, материальных и интеллектуальных ресурсов для обеспечения эффективности междисциплинарных и мультидисциплинарных фундаментальных исследований с отработкой механизмов вовлечения результатов исследований в реальный сектор российской экономики и с обеспечением популяризации знаний об интеллектуальных энергетических системах.

Организация научных исследований по КПНИ предполагает выполнение научно-исследовательских проектов в рамках взаимосвязанных тематических блоков (см. рис. 1).

1. Системный анализ инновационных энергетических технологий;
2. Интеллектуальные информационно-коммуникационные технологии в энергетике;
3. Математические и эвристические методы оптимизации и управления в энергетике;
4. Методология обоснования развития интеллектуальных энергетических систем и управления ими;
5. Методы исследования и обеспечения надежности интеллектуальных энергетических систем и энергетической безопасности;
6. Комплексные проблемы интеллектуальной энергетики и энергетическая политика.

Выбор блоков обусловлен комплексом взаимосвязанных объективных факторов, определяющих идеологию интеллектуальных энергетических систем.

Для аккумуляции профильных результатов и эффективного использования компетенций исполнителей тем фундаментальных научных исследований с целью реализации полученных результатов в реальном секторе экономики РФ дополнительно предполагается проведение ориентированных на реализацию исследований по направлениям:



*Рис. 1. Структура основных тематических блоков комплексного плана научных исследований «Фундаментальные проблемы интеллектуальных энергетических систем и пути их решения».*

1. Научные основы разработки стратегических документов по обоснованию инновационного развития ТЭК и составляющих его энергетических систем на основе интеллектуальных технологий с формированием механизмов реализации соответствующих стратегий и программ.

2. Методические основы создания интеллектуальных, в том числе интегрированных, энергетических систем городов и их районов, локальных и изолированных территорий, регионов и их групп, других территориальных образований, на основе инновационных энергетических технологий, интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий, современных математических и эвристических методов оптимизации и управления.

3. Теория и методы разработки интеллектуальных систем управления режимами интеллектуальных, в том числе интегрированных, энергетических систем с использованием идеологии «виртуальной электростанции», объединяющей единой системой управления источники и накопители энергии и активных потребителей.

В рамках этих ориентированных направлений полученные организациями-участниками и организациями-партнерами результаты будут использованы при выполнении крупных проектов и контрактов в интересах федеральных, межрегиональных и региональных органов власти, российских и международных энергетических компаний,

международных и неправительственных организаций, а также для повышения качества высшего профессионального образования в вузах с целью подготовки высококлассных специалистов в соответствии с требованиями времени.

В результате выполнения КПНИ будет создана теоретическая база мирового уровня для исследования фундаментальных проблем и путей их решения в области создания интеллектуальных энергетических систем.

Важнейшие ожидаемые результаты с возможностью практического использования в Российской Федерации:

- инновационные технологические схемы, конструктивные и режимные параметры высокоэффективных теплоэнергетических и энерготехнологических установок широкого диапазона и назначения;

- экологически чистые энергетические технологии с использованием возобновляемых источников энергии в системах распределенной генерации и абсорбционных парокомпрессионных преобразователей теплоты в централизованных и автономных системах энергоснабжения;

- технологические схемы и технические решения для построения высоконадежных и эффективных систем электро- и теплоснабжения;

- инновационные электротехнические технологии для условий Арктической зоны РФ;

- рекомендации по развитию и внедрению инновационных энергетических технологий для энергетических и энергомашиностроительных компаний;

- рекомендации по архитектуре, концептуальным системным решениям, интеллектуализации моделей, вычислительных методов и программно-алгоритмического обеспечения для информационно-вычислительных комплексов по мониторингу состояния и режимов работы энергетических объектов и систем и по управлению ими;

- прототипы систем мониторинга сложных динамических процессов в энергетических объектах и системах для отображения, облегчения восприятия и анализа информации;

- прототипы интеллектуальных адаптивных систем управления динамическими процессами в энергетических объектах и системах;

- развитые методы исследования критических инфраструктурных энергетических систем с учетом требований кибербезопасности;

- методология интеллектуальной поддержки принятия стратегических решений в интегрированных интеллектуальных энергетических системах на основе концепции ситуационного управления;

- рекомендации по практическому применению прогрессивных интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий и систем управления для энергетических компаний и разработчиков оборудования;

- информационно-аналитическая программно-вычислительная система для прогнозирования и мониторинга развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны и ее регионов, составляющих его энергетических систем с учетом требований энергетической безопасности, надежного энергоснабжения, эффективности и энергосбережения, взаимодействия и взаимовлияния энергетики и отраслей экономики, мировой энергетической конъюнктуры и экологических ограничений;

- рекомендации по формированию пилотных проектов интегрированных интеллектуальных энергетических систем и систем управления их режимами, прежде всего применительно к интеграции инфраструктурных систем электро-, тепло-/холодо- и газоснабжения на уровнях производственно-транспортного и распределительного сегментов, а также потребителей;

- рекомендации по основам энергетической политики государства и механизмам ее реализации в областях развития и использования инновационных энергетических технологий и устройств, определения направлений и пропорций развития ТЭК и энергетических систем в стране в целом и в различных ее регионах с учетом международной энергетической конъюнктуры;

- рекомендации по экономическим, правовым и институциональным принципам и механизмам координации различных субъектов отношений в энергетике;

- предложения к стратегическим документам и рекомендации для федеральных и региональных органов власти и энергетических компаний по развитию интеллектуальной энергетики будущего и интеллектуальному управлению энергетическими системами и комплексами.

Основные потребители результатов исследований – это федеральные и региональные органы исполнительной власти, компании энергетического сектора, в том числе Министерство энергетики РФ, Министерство регионального развития РФ, Министерство образования и науки РФ, Российское энергетическое агентство Минэнерго РФ, правительства субъектов РФ, Межрегиональная ассоциация "Сибирское соглашение", а также ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО "Российские сети", ПАО "ИНТЕР ПАО ЕЭС", ПАО "Русгидро", ПАО "Газпром", ПАО «Роснефть» и др.

### 3. Участники реализации комплексного плана научных исследований, научные заделы и предполагаемая схема кооперации.

Организации-участники комплексного плана научных исследований:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)**, адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, тел. (3952) 424700.

Головная организация-координатор КПНИ. Лидер в стране в области больших систем энергетики, интеллектуальных энергетических систем, разработки методов системного анализа и математического моделирования в энергетике. В 2010-2012 гг. ИСЭМ СО РАН по инициативе ПАО «ФСК ЕЭС» (совместно с ИПУ РАН и НТЦ «ФСК ЕЭС») при участии ряда организаций разработал концепцию интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. Еще ранее под эгидой 7-й рамочной программы ЕС-Россия выполнен проект «Интеллектуальная координация оперативного и противоаварийного

управления энергообъединениями Европейского Союза и России», в котором ИСЭМ СО РАН координировал работу 14 организаций. Эти работы послужили методической базой для развития исследований в России в области интеллектуальных технологий и интеллектуальных ЭЭС. В 2014 году по итогам открытого конкурса Сколковского института науки и технологий (Сколтех) ИСЭМ СО РАН выбран базовой организацией России для интеграции фундаментальных и прикладных исследований в сфере энергетики по направлениям развития интеллектуальных и интегрированных энергосистем, межгосударственных энергообъединений и рынков, член всех технологических платформ в сфере энергетики.

2. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)**, адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1, тел. (383) 330-70-50.

Лидер в исследованиях сложных теплофизических процессов и в разработке передовых энергетических технологий;

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФТПС СО РАН)**, адрес: 677891, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, тел. (4112) 39-06-00, (4112) 33-66-65.

Лидер в области исследований развития и функционирования систем энергетики в сложных условиях северных регионов РФ, в т.ч. Арктической зоны;

4. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИВТ СО РАН)**, адрес: 630090 Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 6, тел. +7 (383) 330 6150.

Лидер в области разработки информационно-вычислительных технологий в задачах поддержки принятия решений, математического и информационное моделирования;

5. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН)**, адрес: 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 134, тел. (3952) 42-71-00.

Лидер в области разработки методов оптимизации, вычислительных методов решения задач оптимального управления;

6. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)**, адрес: 690041, Владивосток, ул. Радио, 5, тел. (423) 2310439.

Лидер в области разработки автоматизированных процессов управления;

7. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения**

**Российской академии наук (ИЭиОПП СО РАН)**, адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 17, тел. (383) 330-0530.

Лидер в области стратегического планирования социально-экономического развития регионов и отраслей;

8. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН)**, адрес: 117186, ул. Нагорная, д 31, к.2, тел. (499) 127-46-64, (499) 123-98-78.

Лидер в области прогнозирования стратегического развития ТЭК и его отраслей, исследований мировой энергетики и мировых энергетических рынков.

9. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)**, адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-89-10.

Лидер по разработке систем управления сложными объектами и системами, в том числе интеллектуальными.

Помимо организаций-участников в реализацию комплексного плана планируется вовлечение основных российских и зарубежных организаций-партнеров (институты, университеты), а также индустриальных партнеров (крупные энергетические компании), участвующих в выполнении работ за счет собственных средств и/или привлеченного финансирования. Среди потенциальных зарубежных партнеров:

- Университет Дортмунда (Германия);
- Университет Отто-фон-Герике (Магдебург, Германия);
- Институт Фраунхофера (Магдебург, Германия);
- Университет Тасмании (Хобарт, Австралия);
- Корейский электро-технологический институт (Республика Корея);
- Азиатско-Тихоокеанский энергетический исследовательский центр (Япония) и др.

Для управления и координации работ по КПНИ создаются:

1. Координационный межведомственный совет из представителей организаций-участников КПНИ, организаций-партнеров, индустриальных партнеров, профильных технологических платформ, отраслевых организаций, представителей ФАНО России, РАН, независимых экспертов;
2. Руководящий комитет из представителей организаций-участников КПНИ.

Основные функции Координационного межведомственного совета:

- участие в формировании стратегии развития и приоритетов Комплексного плана;
- координация межведомственного взаимодействия;
- рекомендации по формированию тем фундаментальных научных исследований и проектов ориентированных направлений КПНИ;
- содействие вовлечению результатов КПНИ в реальный сектор энергетики и экономики РФ.

Основные функции Руководящего комитета:

- рассмотрение, корректировка и утверждение планов фундаментальных научных

исследований и перечня научно-организационных мероприятий КПНИ;

- формирование системы оперативного мониторинга достижения индикаторов в рамках отдельных тем фундаментальных научных исследований и ориентированных направлений КПНИ;

- обсуждение и утверждение отчетов, анализ материалов, касающихся реализации КПНИ, и выработка рекомендаций по его эффективному выполнению;

- выявление и анализ научных, технических и организационных проблем в ходе реализации КПНИ и выработка предложений по их решению;

- оценка степени влияния выделения ресурсов на показатели (индикаторы) тем фундаментальных научных исследований.

Положения и составы Координационного межведомственного совета и Руководящего комитета разрабатываются организацией-инициатором КПНИ и утверждаются решением Общего собрания организаций-участников.

Базовыми элементами КПНИ являются темы проектов, входящих в планы НИР организаций-участников (рис. 2). Планы НИР формируются по предложениям Ученых советов организаций-участников и Координационного межведомственного совета, утверждаются Руководящим комитетом. Принцип организации фундаментальных научных исследований в рамках КПНИ предполагает нелинейную структуру кооперации между его участниками в рамках приведенных на рис. 1 тематических блоков с функциями адаптации. Предметная координация и интеграция при планировании и выполнении исследований создает заинтересованность организаций-участников в успехе друг друга. Общая схема кооперации приведена на рис. 2.

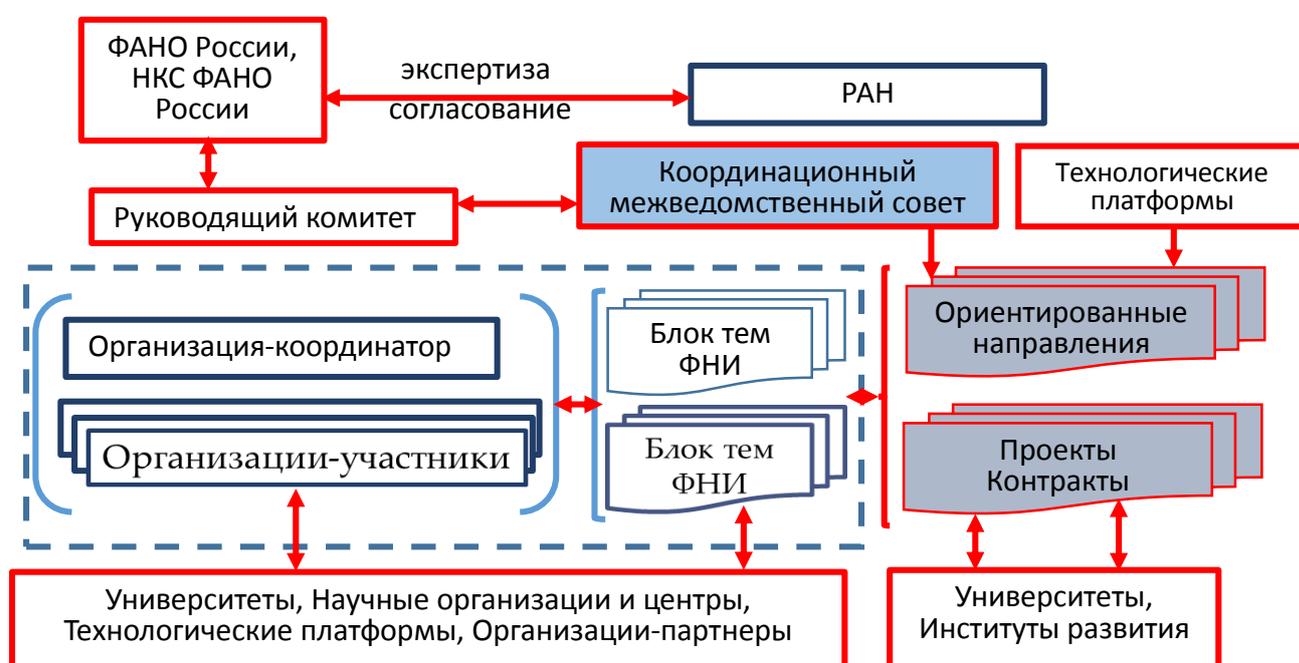


Рис. 2. Структурная схема управления и организации работ по КПНИ.

#### 4. Риски реализации комплексного плана научных исследований.

Основные риски реализации комплексного плана заключаются в замедлении модернизации и научно-технологического развития экономики РФ и, как следствие, в технологическом отставании и неготовности к внедрению современных инновационных технологий энергетики на интеллектуальной основе. Отдельно стоит обратить внимание на риски, связанные с дополнительной необходимостью развития технологий обеспечения кибербезопасности (Cyber Security) интеллектуальных энергетических систем.

#### 5. Оценка социально-экономического эффекта реализации комплексного плана научных исследований.

Основные социально-экономические эффекты при реализации КПНИ существенны и лежат в плоскости радикального повышения качества управления энергетическими системами и активизации ресурсов на стороне потребителя, что может привести к снижению на 30% издержек по отдельным направлениям работы топливно-энергетического комплекса страны. Снижение издержек ведет в свою очередь к снижению энергоемкости российского ВВП, повышению конкурентоспособности промышленности, решению проблем энергетической безопасности – важнейших задач, стоящих перед Российской Федерацией.

Наиболее важные эффекты от реализации КПНИ – это:

1. Рост использования генерации потребителей и их участия в общем энергоснабжении, способствование формированию взаимовыгодных для всех участников условий на внутренних и внешних энергетических рынках.
2. Качественное повышение управляемости систем энергоснабжения разного масштаба и за счет этого обеспечение их устойчивости, живучести, надежности.
3. Сокращение необходимости ввода новой генерации, так и снижение уровня резервирования, за счет более эффективного использования распределения энергии и быстрой адаптации систем энергоснабжения к меняющимся условиям.
4. Снижение аварийности, появление принципиально новых способностей энергетических систем к эффективной самоорганизации и восстановлению после аварий.
5. Глубокая информатизация энергетики на базе единых информационно-коммуникационных платформ, обеспечивающих наблюдаемость, контроль состояния, управление, обмен энергией и торговыми энергетическими сервисами.
6. Повышение уровня доступности и требуемого качества электрической энергии необходимой для многих современных высокотехнологичных производств.
7. Повышения качества жизни населения за счет создания и развития новых инфраструктурных потребительских сервисов в сфере энергоснабжения.
8. Повышение конкурентоспособности распределенной генерации энергии для обеспечения пространственного развития РФ, в т. ч. территорий Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны.