



# ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ

Следуя мировым трендам по внедрению возобновляемых источников (ВИЭ), более десяти лет назад Казахстан с принятием закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» присоединился к освоению «зеленой энергетики». Затем в рамках «Концепции перехода РК к «зеленой» экономике» правительством были поставлены амбициозные цели по достижению доли ВЭС и СЭС от выработки электроэнергии не менее 3% на уровне 2020 года и в целом альтернативной энергетики 30% на уровне 2030 года и 50% на уровне 2050 года.



ВАЛЕРИЙ  
ТЮГАЙ

Член Совета директоров Казахстанской ассоциации солнечной энергетики.

Был запущен механизм государственной поддержки развития ВИЭ в виде фиксированных тарифов, благодаря которому начался активный процесс по их внедрению, доля выработки которых в 2018 году достигла 1,3%, и продолжается дальнейший рост. С февраля 2018 года был внедрен механизм аукционных торгов для организации прозрачного конкурентного отбора, снижения тарифа и оптимального размещения ВИЭ по территории Казахстана.

В настоящее время текущие уровни и темпы развития ВИЭ вызывают озабоченность Системного оператора (СО) в связи с возможным негативным



ВЭС Бадамша-1, 3РУ-35 кВ



влиянием ВИЭ на устойчивость энергосистемы, с учетом следующих особенностей работы энергосистемы Казахстана:

- размещения крупных генерирующих источников, вблизи топливно-энергетических ресурсов - угля в северном, газа в западном, водных ресурсов в юго-восточном регионах;

- высокой концентрации генерирующих мощностей и удаленных центров электрических нагрузок потребителей от генерации;

- площади территории более 2700 тыс. кв. км, протяженность которой с запада на восток - более 3000 км, с юга на север - 1700 км, и протяженных линий электропередачи класса напряжения 110-220-500 кВ;

- пропускной способности электрических сетей, определяемой зачастую не термической стойкостью проводников, а устойчивостью параллельной работы энергоузлов.

Вопросы влияния ВИЭ на энергосистему Казахстана неоднократно рассматривались в ряде работ, выполняемых ТОО «Energy System Researches» (далее - ESR) совместно с международными экспертами. В рамках данных работ была выполнена оценка влияния ВИЭ на работу энергосистемы Казахстана при различной степени проникновения, оценка пропускной способности, динамической устойчивости, исследованы существующие теоретический и фактический диапазоны маневренной генерации и др.

Очевидно, что для снижения риска негативного влияния ВИЭ на энергосистему необходимо тщательное исследование режимов их работы на полной рас-

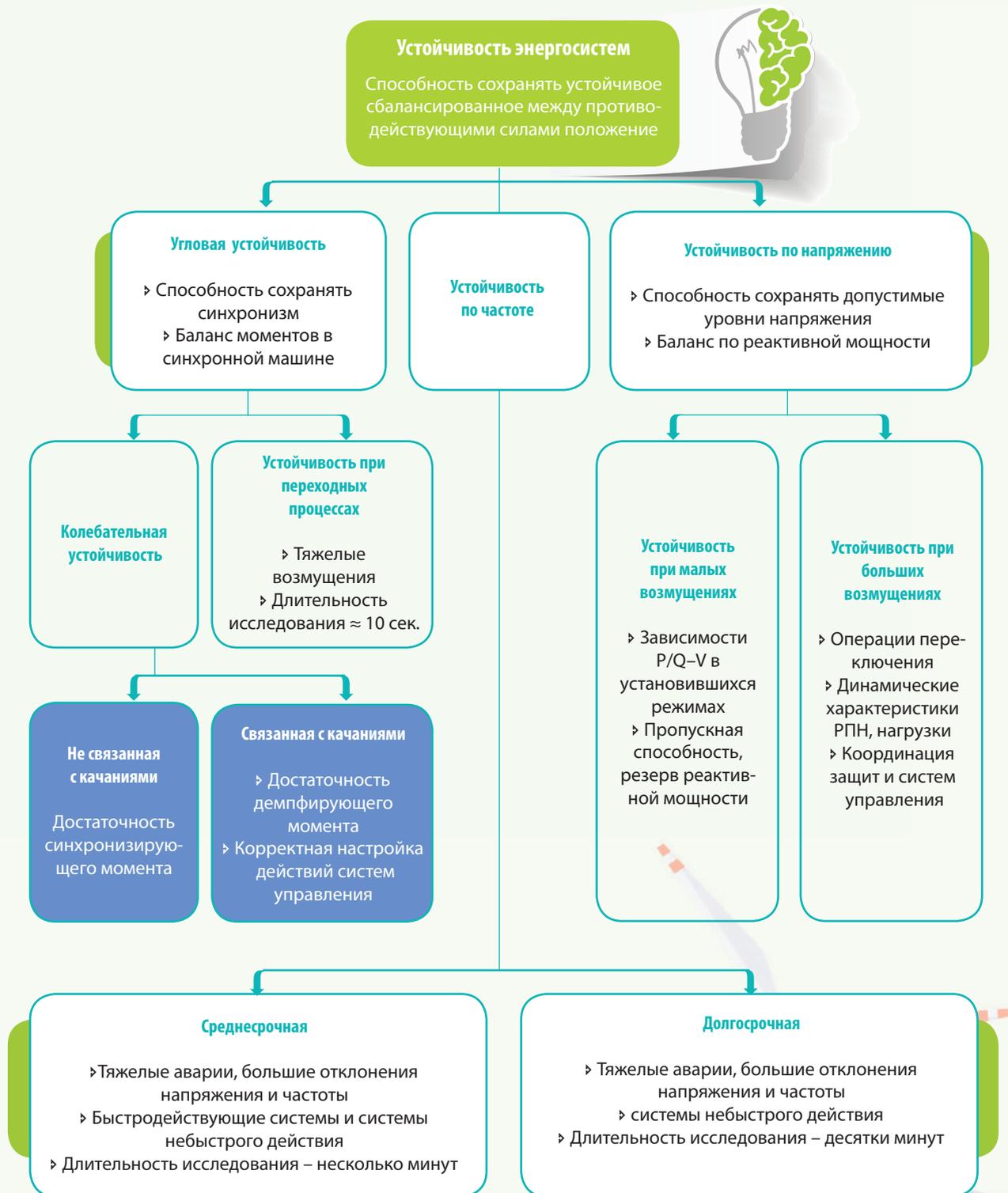
четной модели ЕЭС Казахстана с учетом энергосистем РФ и Центральной Азии.

В современной теории устойчивости энергосистем принято выделять несколько ключевых аспектов (рисунок 1). При этом опыт ESR разработки «Схем выдачи мощности...» и других исследований для ВИЭ в Казахстане показал, что каждый из указанных аспектов может быть определяющим в конкретном случае, однако среди них имеются наиболее распространенные.

Далее в статье рассмотрен один из таких аспектов - устойчивость узла по напряжению - и проиллюстрирована его взаимосвязь с диапазоном регулирования реактивной мощности ВИЭ.

**Устойчивость по напряжению** - это способность энергосистемы поддерживать допустимый уровень напряжения во всех узлах в нормальном режиме и после возникновения возмущения. Энергосистема считается устойчивой по напряжению, если увеличение генерации реактивной мощности приводит к увеличению напряжения во всех узлах энергосистемы. Если же увеличение генерации реактивной мощности приводит к снижению напряжения для одного из узлов энергосистемы - устойчивость по напряжению нарушена.

**Неустойчивость по напряжению** - локальное явление, часто сопровождающееся неустойчивостью по углу, и при отсутствии превентивных мер может привести к лавине напряжений. Нарушение устойчивости происходит в случае нарушения баланса реактивной мощности, таким образом, устойчивость по напряжению зависит от типа нагрузки и соотношения активная/реактивная мощность - напряжение ( $P/Q-V$ ).



Источник: Kundur P. Power system stability and control. 1993.

Рисунок 1. Классификация аспектов устойчивости энергосистем

В качестве примера на рисунке 2 рассмотрена 18-узловая система.

Расчетные кривые зависимости активной и реактивной мощности от напряжения (PV и QV, см. рисунок 3 ниже) для нагрузочных узлов были получены с использованием программы DigSILENT Power Factory и наглядно показывают, что наиболее устойчивым узлом по напряжению является узел 3, наименее устойчивым - узел 14.

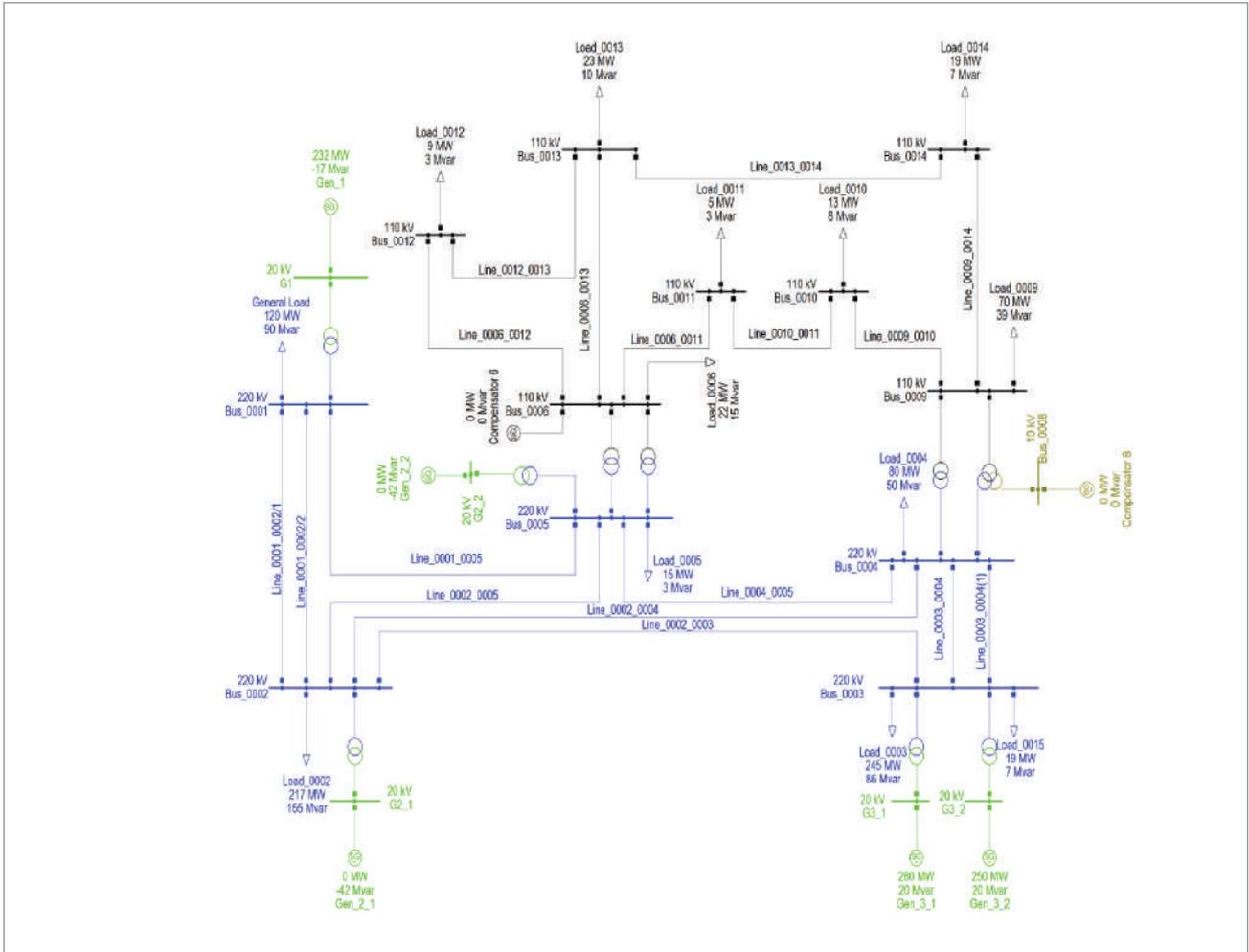
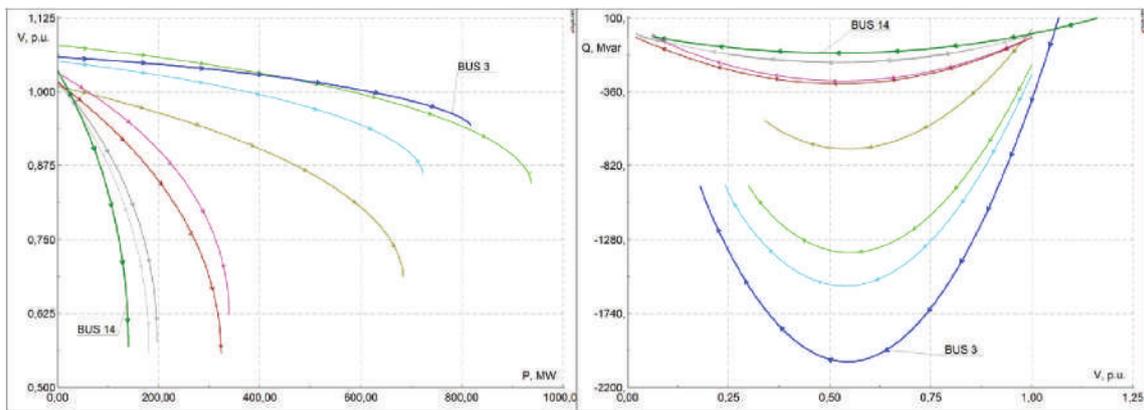


Рисунок 2. Однолинейная схема 18-узловой системы



PV график

QV график (P = 0)

Рисунок 3. PV и QV графики исследуемой схемы

Так, дополнительное потребление / генерация 50 МВар реактивной мощности приводит к изменению напряжения в узле 14 на 10%, в то же время для изменения напряжения на те же 10% в узле 3 требуется около 700 МВар.

Другими словами, при подключении электростанции ВИЭ требования СО по регулированию реактивной мощности в различных узлах должны быть индивидуальными:

- в узле 14 - необходимым условием устойчивой работы энергосистемы является расширенный диапазон регулирования Q (как вариант с использованием дополнительных источников реактивной мощности - ИРМ),
- в узле 3 - применение дополнительных устройств регулирования Q будет являться избыточным и приводит к необоснованному увеличению капиталовложений со снижением экономической привлекательности проекта.

В данном случае будет достаточно стандартного регулировочного диапазона Q, предоставляемого инверторами.

Далее приводится пример из реальной работы ESR, в которой исследовались различные аспекты устойчивости,

в том числе устойчивости по напряжению, в узле 1 - ПС 220 кВ в Жамбылской области и в узле 2 - подстанция 110 кВ в Туркестанской области (рисунок 4). Оба узла находятся в Южной зоне Казахстана, и присоединяемая мощность электростанции ВИЭ рассматривалась одинаковой - 50 МВт, при этом результаты моделирования принципиально отличаются.

На рисунке 5 показаны QV кривые для рассматриваемых узлов без и с учетом подключения ВИЭ. При подключении ВИЭ рассмотрен наиболее узкий диапазон регулирования  $Q = \pm 20$  МВар ( $-0,4 \div 0,4 P_n$  - требование СО) при  $P = 0$  МВт.

Из рисунка видно, что при размещении ВИЭ в Туркестанской области выполнение требования СО по диапазону реактивной мощности существенно увеличивает устойчивость по напряжению на 40 МВар ( $\approx 44\%$ ) в точке подключения, в то же время при размещении ВИЭ в Жамбылской области выполнение требования приводит к увеличению устойчивости узла по напряжению лишь на 5 МВар ( $\approx 0,6\%$ ).

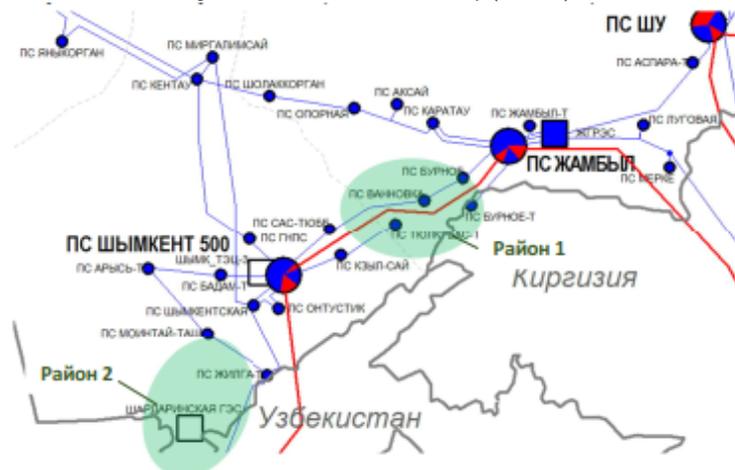


Рисунок 4. Карта-схема сетей 220 кВ и выше Жамбылской и Туркестанской областей

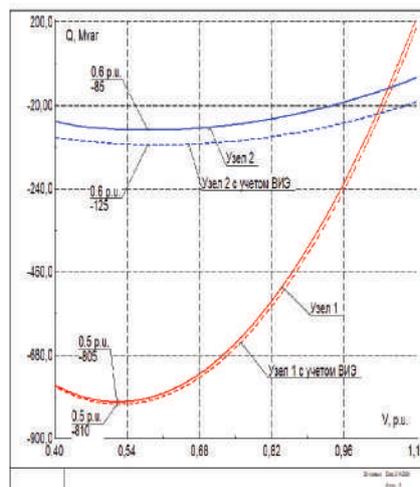


Рисунок 5. QV кривые для рассматриваемых узлов 1 и 2 без и с учетом подключения ВИЭ ( $P = 0$  МВт,  $Q = -0,4 \div 0,4 P_n$ )



Приведенный пример показал, что при разработке Схемы выдачи мощности ВИЭ вопросы устойчивости необходимо рассматривать более глубоко, в частности выполнять анализ устойчивости по напряжению. Выполнение данного анализа возможно только путем моделирования энергосистемы на специализированном программном обеспечении (ПО).

Исходя из опыта ESR, в целях минимизации рисков, соблюдения баланса интересов всех участников последовательность реализации проектов ВИЭ в Казахстане следующая:

1) На ранних стадиях Рабочего проектирования для возможности учета рекомендаций и дополнительного оборудования (при необходимости), выполняются Обосновывающие расчеты по интеграции и устойчивой работе электростанции в энергосистеме с использованием специализированного ПО и математической модели оборудования ВИЭ, предоставляемой производителем (требование ПТЭ п. 701).

Среди прочих, при выполнении расчетов решается и согласовывается с СО ряд принципиальных вопросов:

- достаточность диапазона регулирования реактивной мощности, при необходимости обосновывается тип и установленная мощность дополнительных компенсирующих устройств;
- параметры участия станции в регулировании частоты и активной мощности, при необходимости корректируется состав оборудования и настройки системы управления

станции (Power plant controller);

- параметры толерантности станции при глубоких снижениях напряжения в энергосистеме (Low voltage ride through), при необходимости корректируется состав оборудования или настройки системы управления станции;
- показатели качества электроэнергии, вырабатываемой источником ВИЭ в точке подключения к энергосистеме, на предмет соответствия требованиям нормативных документов (отклонения по напряжению и частоте, несинусоидальность, несимметрия, доза фликера и прочие). При необходимости предусматриваются дополнительные мероприятия или фильтро-компенсирующие устройства.

2) До начала пуско-наладочных работ разрабатываются и согласовываются: Программа опробования напряжением (ПОН), Программа комплексного опробывания (ПКО) вновь смонтированного оборудования, а также Программа натурных испытаний (ПНИ) на соответствие требованиям «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей».

3) Выполнение согласованных программ в процессе ввода в эксплуатацию ВИЭ с привлечением заинтересованных сторон.

В период 2019-2020 годов по указанной последовательности компанией ESR выполняется сопровождение ввода в эксплуатацию ВЭС 48 МВт в районе поселка Бадамша Актюбинской области. 

## Выводы:

1. При разработке Схемы выдачи мощности ВИЭ вопросы устойчивости необходимо рассматривать более глубоко, в частности выполнять анализ устойчивости по напряжению.
2. На ранних стадиях Рабочего проектирования выполняются Обосновывающие расчеты по интеграции и устойчивой работе электростанции в энергосистеме.
3. До начала пуско-наладочных работ разрабатываются и согласовываются ПОН, ПКО, ПНИ на соответствие требованиям «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» с привлечением заинтересованных сторон.
4. Исследования по применяемому оборудованию должны выполняться на модели энергосистемы ЕЭС Казахстана (не локально) квалифицированными специалистами и компаниями с использованием современного программного продукта (например, DigSILENT Power Factory, PSS/E Siemens).
5. Грамотное, с учетом опыта передовых стран, планирование, моделирование и анализ оптимального размещения ВИЭ и выбора их мощности позволит избежать многих рисков при реализации проектов в Казахстане.



## ИНФОРМАЦИЯ ПО ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### ТОО «Energy System Researches» (Компания «Исследования энергосистем»)

ТОО «Energy System Researches» является частной независимой инженерно-консалтинговой компанией и занимается исследованиями по поиску оптимальных решений перспективного развития электроснабжения промышленных предприятий, городов и регионов в комплексе с развитием генерирующих источников, ВИЭ и системообразующих электрических сетей ЕЭС Казахстана. ESR обладает ключевыми компетенциями в части принятия технически и экономически оптимальных решений с рассмотрением полного жизненного цикла проекта.

Компания является резидентом Республики Казахстан, была основана в 2011 году и расположена в городе Алматы.

**МИССИЕЙ ESR** является поиск и продвижение оптимальных энергоэкологических решений в сфере производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

#### Конкурентными преимуществами ESR являются:

1. Уникальный многолетний опыт в проектировании развития электроэнергетической системы Казахстана и новейшие направления и методы планирования.
2. Актуальная систематизированная информация по существующему состоянию и перспективному развитию электрических сетей ЕЭС Казахстана с моделями в наиболее распространенных видах программного обеспечения (RASTR, PSS/E, DlgSILENT Power Factory, WindPro, PVsyst и др.).
3. Опыт сотрудничества с зарубежными компаниями и партнерами, возможность ведения деловых переговоров, переписки и презентаций на английском языке.
4. Ориентация работы на результат – техническое сопровождение решений вплоть до этапа внедрения и конкретной реализации.
5. Устойчивое финансовое положение с достаточным уровнем операционного резерва. За годы деятельности компания не допускала просрочек по своим финансовым обязательствам перед налоговыми органами, сотрудниками и контрагентами. В компании на регулярной основе проводится аудит финансовой отчетности.

*Основные виды деятельности ESR включают, но не ограничиваются следующими видами работ:*

- маркетинговые исследования и прогнозирование уровней электропотребления, электрических нагрузок, развития электрических станций, балансов электрической мощности и энергии и другие;
- развитие электрических сетей 35 кВ и выше промышленных предприятий, городов и областей, сетей 220 кВ и выше ЕЭС Казахстана;
- схемы выдачи электрической мощности электростанций как традиционных (КЭС, ТЭЦ, ГТЭС, ПГУ, ГЭС), так и возобновляемых (малых ГЭС, ВЭС и СЭС и др.);
- схемы внешнего электроснабжения промышленных предприятий, месторождений и горно-обогатительных комбинатов, электрифицируемых участков железных дорог, магистральных нефте- и газопроводов, водоканалов и др.;
- технико-экономические обоснования строительства электросетевых объектов и возобновляемых источников энергии;
- рабочее проектирование электросетевых объектов и возобновляемых источников энергии;
- авторский надзор за строительством и вводом объектов в эксплуатацию;
- исследования электрических явлений в промышленных и распределительных сетях, микроэнергосистемах (электромагнитные и электромеханические переходные процессы, квазистационарные и коммутационные перенапряжения), проблемы устойчивости параллельной и изолированной работы;
- исследования совместной работы электроэнергетических систем Казахстана и стран Центральной Азии (Киргизии, Узбекистана, Таджикистана, Туркмении);
- обосновывающие расчеты по интеграции и устойчивой работе ВИЭ в энергосистеме (ПОН, ПКО, ПНИ и т. д.).

*За ряд лет с участием специалистов ESR разработаны и реализованы следующие проекты:*

- строительство второй цепи транзита Север – Юг Казахстана с ПС 500 кВ «Шу»;
- строительство межрегиональной ЛЭП Северный Казахстан – Актюбинская область (ВЛ 500 кВ Житикара – Ульке);
- строительство ПС 500/220 кВ «Алма» с присоединением к НЭС Казахстана линиями 500, 220 кВ;
- строительство третьего транзита 500 кВ Север – Восток – Юг Казахстана;
- разработаны ТЭО строительства ВЛ 500 кВ ЮКГРЭС-Жамбыл, ТЭО объектов выдачи мощности Балхашской ТЭС, ТЭО усиления электрических сетей Западного Казахстана;
- по поручению МЭ РК и заказу АО «KEGOC» выполнялась «Исследовательская работа по определению допустимого уровня развития ВИЭ при существующих возможностях ЕЭС Казахстана», разрабатывался и актуализировался «Прогнозный баланс электрической энергии и мощности ЕЭС Казахстана»;
- завершено строительство и введены в эксплуатацию наиболее крупные ВИЭ: вторая очередь (расширение на 50 МВт) СЭС «Бурное» в Жамбылской области, СЭС «Байканыр» мощностью 50 МВт в Кызылординской области, СЭС «Нургиса» мощностью 100 МВт в Алматинской области, СЭС «Задарья» мощностью 14 МВт в Туркестанской области и другие.

Компания ESR имеет лицензионное программное обеспечение мирового уровня и высокопрофессиональных специалистов для решения сложных исследовательских задач, в том числе по интеграции ВИЭ, на актуальной модели сети 220 кВ и выше энергосистемы Казахстана.