

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

Дронов А.П. - аспирант, Соколов А.О., Гольдштейн В.Г. д.т.н., профессор
Самарский государственный технический университет (г. Самара),
ООО "НПФ-НТС"

В экономике страны важнейшая роль принадлежит нефтяной промышленности, которая во многом определяет в настоящее время состояние страны. Инновационное развитие отрасли на современном этапе в значительной мере определяют важнейшие направления – энергоэффективность и энергосбережение в основных технологических процессах таких, как бурение, добыча, транспорт, переработка и др. Работа технологического оборудования нефтяной отрасли в целом, его безаварийность и эксплуатационная гибкость полностью зависят от надежности и качества электроснабжения.

Поэтому задачи инновационного развития электросетевого комплекса, напрямую связанные с его надежностью, энергоэффективностью и энергосберегающими процессами и оборудованием, имеют наивысшие приоритетные оценки, как в отрасли, так и в целом в электроэнергетике. Их объединяет общее определение проблемы, озвученное федеральным и отраслевым руководством, как создание «умных», активно-адаптивных сетей (ААС). Необходимо отметить, что, несмотря на внешнее отличие надежности, энергоэффективности и энергосбережения, как основных ингредиентов развития электроэнергетики, они неразрывно связаны единством и идеологией построения ААС или, как их еще называют теперь, интеллектуальных сетей.

Целью настоящей работы является разработка и внедрение в электроснабжении нефтяной отрасли инновационных технологий, мероприятий и средств для целенаправленного управления параметрами ЭФВ в виде перенапряжений для обеспечения ЭМС, повышения энергоэффективности и надежности. Реализация этой цели предполагает аналитическое, компьютерное и экспериментальное исследования процессов возникновения и развития перенапряжений и их эффективного ограничения.

Среди проблем создания интеллектуальных сетей на ряде федеральных и отраслевых форумов и совещаний выделена раз-

работка новых типов силового оборудования ЛЭП и подстанций (коммутационное и защитное оборудование и соответствующие технологии, силовые и измерительные трансформаторы, провода и кабели с улучшенными характеристиками и др.), а также обеспечение ЭМС электрооборудования ЭССЭ при воздействиях перенапряжений. Это определяет круг технико-экономических задач, среди которых значительное место занимает управление параметрами перенапряжений, то есть их ограничение до величин, допустимых для электроустановок 6 ÷ 35 кВ ЭССЭ.

Актуальность. Работа технологического оборудования нефтяной этой отрасли в целом, его безаварийность и эксплуатационная гибкость полностью зависят от надежности и качества электроснабжения. Задачи инновационного развития электросетевого комплекса на современном этапе имеют наивысшие приоритетные оценки, как в отрасли, так и в целом в электроэнергетике. Они в значительной мере связаны с повышением его энергоэффективности, энергосбережения, модернизации оборудования и его эксплуатации в технологических процессах бурения, добычи, транспорта и переработки энергоносителей.

Все это объединяет общее научно-техническое направление - создание отраслевых интеллектуальных («умных») электрических сетей и систем электроснабжения (ЭССЭ), как активно-адаптивных электротехнических комплексов (ААЭТК). Ряд федеральных и отраслевых форумов и совещаний констатировал необходимость кардинального улучшения в ААЭТК обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) линий электропередачи и подстанций (ЛЭП и ПС) при разнообразных эксплуатационных физических воздействиях (ЭФВ).

Для этого, в частности, необходимы исследования в области изучения перенапряжений для разработки мероприятий и средств защиты электрооборудования ЭССЭ предприятий нефтяной отрасли, связанными с

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

разработкой новых методов исследования и их многочисленными применениями.

Среди научно-технических задач этой проблемы значительное место занимает научное обоснование и практическая реализация интеллектуального инновационного подхода к управлению параметрами перенапряжений, то есть их гарантированному ограничению до величин, допустимых для электроустановок 6 ÷ 35 кВ ЭССЭ нефтяной отрасли.

Научную новизну проекта определяют следующие положения и разработки.

- Системный комплексный подход к глубокому ограничению перенапряжений в ЭССЭ нефтяной отрасли как целевому управлению их параметрами с помощью совместного применения инновационных и существующих средств, мероприятий и защитной аппаратуры.

- Научное обоснование предельных кратностей перенапряжений как граничных условий (критериев) ЭМС при названных электромагнитных переходных процессах, в котором ключевым звеном являются новые представления о средствах, мероприятиях и защитной аппаратуре.

- Предложены принципы и пути реализации применения в системах защиты от перенапряжений инновационных элементов таких, как новые типы вакуумной и элегазовой коммутационной аппаратуры, реклоузеров, ОПН, изолированных (защищенных) проводов, длинно-искровых разрядников и др.

- Комплексные физико-математические модели процессов развития и инновационных средств и мероприятий по снижению уровней дугowych и коммутационных перенапряжений.

Характеристика аналогов. Обзор большого числа работ, выполненных в направлении повышения надежности систем электроснабжения нефтяной отрасли [см. монографию «Повышение надежности работы электрооборудования и линий 0,4 – 110 кВ нефтяной промышленности при воздействиях перенапряжений» / Ф.Х. Халилов, В.Г. Гольдштейн и др. - М.: Энергоатомиздат, 2006. - 356 с.], позволил выявить узкие места, требующие модернизации и усовершенствования средств и мероприятий по защите от внешних грозowych и внутренних перенапряжений. Это особенно необходимо в связи с общим старением действующего электрооборудования, которое должно надежно работать вместе с современными электроустановками. В частности, в известных работах недоста-

точно освещены или полностью отсутствуют информация о решении проблем, связанных с широким внедрением и распространением таких новых устройств, мероприятий и аппаратов как: вакуумной и элегазовой коммутационной аппаратуры; реклоузеров; нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), изолированных (защищенных) проводов; длинно-искровых разрядников и др.

Основные методы научных исследований.

- Построение моделей для проведения исследования переходных процессов, возникающих при электромагнитных возмущениях в ЭССЭ 6 ÷ 35 кВ нефтяной отрасли на основе уточненного анализа аварийности электрооборудования вследствие грозowych и внутренних перенапряжений.

- Усовершенствованные математические модели защиты линий электропередачи, подстанций средних классов напряжения и высоковольтных электрических машин от грозowych перенапряжений. Научное обоснование подходов к грозозащите собственно ВЛ упомянутых классов напряжения и грозозащите их ослабленных мест, например, пересечений ВЛ между собой, пересечений ВЛ с реками, железной дорогой и др.

- Разработка математических моделей и характеристик дугowych и коммутационных перенапряжений, возникающих на изоляции электроустановок, с учетом особенностей, связанных с работой коммутационных аппаратов.

Полученные результаты.

- Определены уровни электромагнитных помех в виде кратностей перенапряжений на стороне питания и изоляции электрооборудования (электродвигателей, трансформаторов и др.) в сетях 6 ÷ 35 кВ нефтяной отрасли.

- Вопросы обеспечения ЭМС электроустановок электроснабжения нефтедобычи, транспорта и переработки нефти решены на основе концепции их глубокого ограничения с помощью разнообразных мероприятий и средств защиты от них, в частности, с помощью новых типов ОПН.

- На основе уточненного анализа установлено, что низкая импульсная прочность изоляции 6 ÷ 35 кВ определяет малую эффективность грозозащитных тросов, являющихся основным грозозащитным мероприятием на линиях классов напряжения 110 кВ и выше. Это вызвано значительным (в 1,5 ÷ 2 раза) увеличением вероятности обратных перекрытий при ударах молнии в опору или в

трос при обычных значениях сопротивления заземления опор и является обоснованием отказа от тросов на этих линиях (кроме особо ответственных линий 35 кВ на металлических опорах).

- По результатам анализа компьютерных экспериментов и эксплуатационной статистики можно констатировать, что число индуктированных перенапряжений, способных вызвать перекрытие изоляции линий 35 кВ на металлических опорах, в пять раз больше, чем число перенапряжений, опасных для сети 110 кВ вследствие низкой импульсной прочности изоляции.

- Наличие изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтрали в сетях 6 ÷ 35 кВ снижает количество импульсных перекрытий изоляции. Гашению дуги однофазного замыкания на землю, междуфазных перекрытий или одновременных перекрытий с нескольких фаз на землю способствует высокая (до 0,7) вероятность погасания дуги из-за малой величины градиента рабочего напряжения вдоль пути перекрытия.

- Результатами компьютерных исследований и данными эксплуатации для современных условий для линий 6 ÷ 35 кВ на деревянных опорах (с учетом импульсной прочности дерева траверсы и стойки опоры) обосновано снижение в 1,5 ÷ 1,8 раза вероятностей перекрытия и перехода импульсного перекрытия в дугу короткого замыкания. Однако для реализации в полной мере этого очевидного, но все реже используемого преимущества деревянных опор, обязательным является реализация шунтирования деревянных частей опор токоотводящими металлическими спусками как известного мероприятия предотвращения щепления деревянных траверс и стоек опор при прямых ударах молнии.

- Научно обосновано количественное определение показателей ЭМС при грозовых перенапряжениях на подстанциях глубокого ввода 6 ÷ 35 кВ сетей предприятий нефтяной промышленности (в частности, показателя надежности - числа лет безаварийной работы).

- Для защиты от повреждений при достаточном частых случаях попадания молнии в молниеотводы, установленные на трансформаторном или шинном портале, отдельно стоящие, а также тросовые, выполняемые в виде воздушных перемычек между отдельными частями подстанции, необходимо установить нелинейные ограничители перенапряжений или вентильные разрядники между выводами обмотки НН и корпусом трансфор-

матора, а также обеспечить достаточное удаление заземляющих проводников электрооборудования от заземления и токоотводящего спуска молниеотвода. Особое значение эти рекомендации приобретают для подстанций, размещенных в условиях высоких удельных сопротивлений грунта, где используются различные специальные способы построения заземлителей.

- Разработана методология компьютерного моделирования на основе графических редакторов и их адаптация к современным информационно-аналитическим системам для исследования квазистационарных и переходных процессов и перенапряжений, возникающих при ЭМВ в сетях средних классов напряжения.

- Для сетей средних классов напряжения предложена полная трехфазная модель системы электроснабжения предприятий нефтяной промышленности и при исследовании перенапряжений уточнено влияние параметров элементов расчетных схем, таких как нагрузка на шинах, момент замыкания контактов выключателя, мощность объекта, режим заземления нейтрали, длина питающего кабеля.

Экономическая эффективность определяется, прежде всего, реализацией концепции глубокого ограничения перенапряжений. В частности, применение усовершенствованных методов построения защиты с помощью ограничителей перенапряжений позволила получить следующие технические результаты, имеющие значительный экономический эффект.

1. При отсутствии ОПН в сети 6 кВ одного из месторождений ОАО «Самаранефтегаз» дуговые перенапряжения имели максимальную кратность до $K = 3,4$. Установка ОПН-6 снизила максимальные кратности до уровня $K = 2,4$.

2. В этой же схеме сети 6 кВ при коммутациях ненагруженного силового трансформатора неограниченные перенапряжения имели максимальную кратность не более 6,0, а ограниченные с помощью ОПН-6 перенапряжения имели максимальную кратность не более 2,7. Это максимально проявляет эффективность данных защитных аппаратов. Такая же тенденция имеет место и при ограничении феррорезонансных перенапряжений.

3. В аналогичной сети 10 кВ зафиксированы ограниченные и неограниченные перенапряжения, искусственно возбужденные при дуговых замыканиях одной из фаз на землю; в первом случае максимальная кратность

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

составила $K_{max} = 4.6$, а во втором - $K_{max} = 2.2$, что значительно ниже кратности испытательного напряжения соответствующих машин. Еще более эффективно ОПН-6 ограничивает перенапряжения при феррорезонансных явлениях.

4. Измерения в сети 35 кВ показали еще большую эффективность ОПН при глубоком ограничении перенапряжений. Так, перенапряжения, возникающие при коммутациях силовых трансформаторов 35 кВ без ОПН, имели кратность $K_{max} = 6.5$, при феррорезонансных явлениях - $K_{max} = 7.0$. Подключение ОПН к сети снизило максимальные кратности, соответственно, до уровней 2,9 и 3,1.

Эти результаты позволяют снизить на годовом интервале аварийность от перенапряжений в сети исследованного месторождения при внедрении разработанных положений и рекомендаций на 15%, а недобор нефти ~ на 4300 тонн.

План коммерциализации полученных результатов предполагает использование результатов в ОАО «Самаранефтегаз» и «Нижневартовскнефтегаз» при реализации программ снижения рисков отказов в системах их электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дронов А.П., Засыпкин И.С., Гольдштейн В.Г. Аварийность электрооборудования систем электроснабжения 6-110 кВ. «Электроэнергетика глазами молодежи»: научн. тр. Всерос. науч.-техн. конф.: сбор. статей. В 2 т. Екатеринбург: УРФУ. 2010 г. Т. 2,- С. 166-169.

2. Гольдштейн В.Г. Дронов А.П., Соколов А.О. и др. Обеспечение электромагнитной совместимости электрических машин, гальванически связанных с воздушными сетями при грозовых воздействиях. Сб. тез. докл. XVI-ая Междунар. науч.-техн. конф. «Радиотехника, электротехника и энергетика». Том 3. Издательский дом МЭИ. –М.: 2010. С. 481-482.

3. Дронов А.П., Засыпкин И.С. и др. Математическое моделирование передачи импульсных и

квазистационарных напряжений через обмотки силовых трансформаторов. Изв. Вуз. «Электромеханика». Сп. вып. 2009 г. С. 67 – 69.

4. Дронов А.П., Засыпкин И.С. и др. Перенапряжения при коммутациях индуктивных элементов. Изв. Вузов «Электромеханика». Сп. выпуск. 2009 г.-С. 52 – 53.

5. Дронов А.П., Засыпкин И.С., Соколов А.О. и др. Перенапряжения при коммутациях в сетях 6 ÷ 35 кВ.– Н. Новгород: НГТУ, 2009.-С. 125 – 128.

6. Дронов А.П., Засыпкин И.С., Гольдштейн В.Г. Анализ повреждаемости воздушных линий систем электроснабжения 6 ÷ 110 кВ. «Электроэнергетика глазами молодежи»: научн. тр. Всерос. науч.-техн. конф.: сбор. статей. В 2 т. Екатеринбург:УРФУ. 2010 г. Т. 2.-С. 155-158.

7. Дронов А.П., Гольдштейн В.Г. и др. О перенапряжениях при коммутациях электродвигателей нефтедобычи вакуумными выключателями. Сб. тез. докл. XVII-ая Междунар. науч.-техн. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Том 3. Издательский дом МЭИ. –М.: 2011.-С. 355-356.

8. Дронов А.П., Засыпкин И.С., Степанов В.П. О феррорезонансных процессах в цепях с трансформаторами напряжения. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. -С. 75 – 78.

9. Дронов А.П. О проблемах повышения надежности электрических сетей на основе обеспечения электромагнитной совместимости при перенапряжениях. Сб. статей II-ой Междунар. науч.-практ. конф. «Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах». Пензенский госуниверситет. 2011.-С. 42 – 46.

10. Дронов А.П., Гольдштейн В.Г., Халилов Ф.Х., Проблемы грозозащиты электрооборудования и линий предприятий нефти и газа. Изв. Вузов «Электромеханика». Спец. выпуск. 2010 г.-С. 37 – 39.

11. Дронов А.П. Анализ процессов и рекомендации по улучшению защиты подстанций от прямых ударов молнии. Сб. статей II-ой Междунар. науч.-практ. конф. «Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах». Пензенский госуниверситет. 2011.-С. 47 – 52.