

Особенности релейной защиты и автоматики вдольтрассовых линий электропередачи

КРЮКОВ О.В.

Приведен комплексный анализ существующих систем релейной защиты и автоматики для вдольтрассовых воздушных линий 6(10) кВ, включая принципиальные схемы секционирующих пунктов и 10/0,4 кВ. Представлена методика расчета токовых отсечек при одностороннем питании линейных участков линий электропередачи и детально обоснован выбор параметров токовой защиты секционирующих пунктов на базе современных реклоузеров. Рассмотрены принципы проектирования современных систем электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистрального транспорта газа. Представлены особенности применения аппаратных средств релейной защиты и алгоритмов работы автоматики линий электропередачи.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, система электроснабжения, вдольтрассовые потребители, релейная защита, автоматика, реклоузер

В настоящее время электроснабжение линейного электротехнического оборудования магистральных газопроводов (МГ) – электрохимической защиты, аппаратуры телемеханики и связи, задвижек [1, 2] – в большинстве случаев обеспечивается вдольтрассовыми магистральными воздушными линиями (ВЛ) электропередачи напряжением 6–10 кВ. Эти линии обладают рядом особенностей, затрудняющих применение традиционных принципов построения релейной защиты и автоматики (РЗА):

значительная протяженность (длина вдольтрассовых линий электропередачи может составлять более 100 км) с низким уровнем токов короткого замыкания (КЗ) в конце линии;

малые установленные мощности линейных потребителей электроэнергии с общей номинальной мощностью всех электроприемников до 10÷50 кВт;

неравномерность распределения нагрузок по длине ВЛ;

большое число секционирующих пунктов, что при обеспечении селективности максимальных токов защит приводит к недопустимо большой выдержке времени максимальной токовой защиты (МТЗ) головного выключателя линии;

высокие требования к надежности электроснабжения линейных потребителей МГ, обуславливающие применение сетевых устройств автоматического ввода резерва (АВР) и многократных устройств автоматического повторного включения (АПВ).

Широко применяемые сейчас микропроцессорные терминалы РЗА [3, 4] с традиционным подходом к автоматическому секционированию ВЛ не всегда позволяют обеспечить селективность работы РЗА и управления выключателями секционирующих пунктов вдольтрассовых линий электропередачи. В связи с этим в настоящее время актуальна проблема выбора устройств РЗА и коммутирую-

щей аппаратуры для установки на вдольтрассовых воздушных линиях МГ, а также задача разработки алгоритмов работы автоматики секционирующих пунктов и ее взаимосвязи с РЗА.

Применение РЗА для вдольтрассовых ВЛ 6(10) кВ. Вдольтрассовые воздушные линии 6(10) кВ МГ подключаются, как правило, к сетевым подстанциям с высшим напряжением 35, 110 кВ, ЗРУ-6(10) кВ КС, а также к ВЛ 6(10) кВ, находящимся на балансе организаций АО «Энерго» [1, 4]. Большинство вдольтрассовых линий 6(10) кВ МГ питают трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ (6/0,4 кВ) мощностью 10÷100 кВА. Эти ТП подключаются к ответвлениям от ВЛ через плавкие кварцевые предохранители типа ПКТ. В местах установки ТП в магистраль линии для автоматического секционирования устанавливаются вакуумные выключатели (рис. 1).

Назначение автоматического секционирования вдольтрассовых линий 6(10) кВ МГ – быстрое отделение поврежденного участка от остальной линии. Автоматическое секционирование в сочетании с устройствами АПВ на секционирующих и головных выключателях является одним из эффективнейших средств повышения надежности электроснабжения линейных потребителей МГ. Это относится к радиальным (тупиковым) ВЛ 6(10) кВ и к линиям с двусторонним питанием, в особенности при сочетании устройств секционирования с сетевыми АВР.

Автоматическое секционирование уменьшает объем аварийных отключений потребителей при повреждениях на линии, позволяет сократить основную зону действия релейной защиты на головном выключателе. При установке секционирующих пунктов чувствительность защиты головного выключателя должна обеспечиваться только при повреждениях до места установки ближайшего сек-

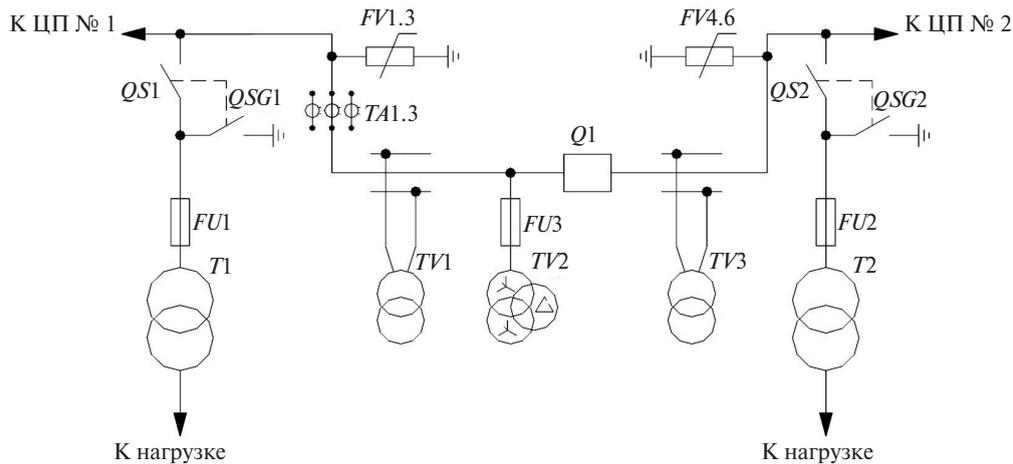


Рис. 1. Принципиальная схема секционирующего пункта и ТП 10/0,4 кВ вдольтрассовой ВЛ 10 кВ МГ

ционирующего выключателя, где токи короткого замыкания значительно больше, чем в удаленных точках линии. Кроме того, автоматическое секционирование ускоряет процесс локализации повреждений на линии, позволяет быстрее готовить рабочие места при ремонтных работах и повышает культуру эксплуатации ВЛ.

Вдольтрассовые ВЛ 6(10) кВ МГ выполняются, как правило, с двусторонним питанием [1, 5], при этом автоматическое секционирование применяется в сочетании с сетевым АВР. При такой схеме любой поврежденный участок может быть автоматически отключен с двух сторон (выделен), а остальные участки будут продолжать питаться либо от одного, либо от второго центра питания (ЦП) (рис. 2).

В качестве РЗА вдольтрассовых ВЛ 6(10) кВ МГ на головных выключателях и секционирующих пунктах устанавливаются двухступенчатые направленные токовые защиты, первая ступень которых выполнена в виде селективной токовой отсечки, а вторая — в виде МТЗ с зависимой или независимой выдержкой времени. Применение направленных защит необходимо для исключения режима прохождения мощности через головной выключатель в питающую сеть (например, при коротком замыкании в питающей сети) и режима параллельной работы двух источников питания вдольтрассовых ВЛ 6(10) кВ. Для защиты от однофазных замыканий на землю применяются направленная токовая защита нулевой последовательности, измерительные органы которой используют в качестве измерительных преобразователей трансформаторы тока нулевой последовательности, и неселективная сигнализация по напряжению нулевой последовательности (устройство контроля изоляции сети 10 кВ). Также на

головных выключателях устанавливается защита минимального напряжения (делительная автоматика), отключающая выключатель в бестоковую паузу перед включением АВР.

Вдольтрассовые воздушные ЛЭП 6(10) кВ с двусторонним питанием работают в разомкнутом режиме. Это обусловлено рядом преимуществ разомкнутых режимов работы сетей по сравнению с замкнутыми:

- уменьшение токов КЗ;
- упрощение РЗА;
- возможность питания отдельных участков сети от источников с разными уровнями напряжений, большим угловым сдвигом между напряжениями и несинхронно работающих источников;
- удобство при развитии и реконструкции существующих сетей.

Для обеспечения быстрого перехода с основного источника питания на резервный на вдольтрассовых ВЛ используются сетевые АВР, которые:

- переключают питание участка ВЛ на резервный источник при отключении рабочего;
- предотвращают подачу напряжения от резервного источника на поврежденный (устройства делительной автоматики минимального напряжения, действующие перед срабатыванием сетевого АВР);
- выполняют автоматическую перестройку РЗА перед действием сетевого АВР;
- выполняют переключения с целью изменения первичной схемы сети и повышения надежности электроснабжения.

На вдольтрассовых воздушных линиях электропередачи 6(10) кВ МГ применяются сетевые АВР одностороннего и двустороннего действия. При этом схема АВР запускается при исчезновении напряжения со стороны любого из двух источников

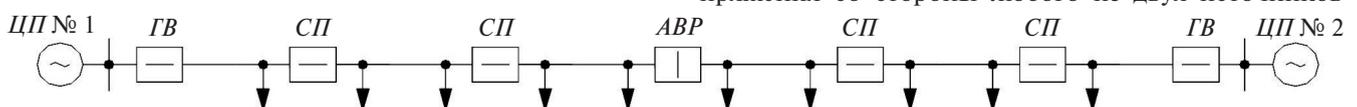


Рис. 2. Схема вдольтрассовой ВЛ 6(10) кВ с последовательным секционированием и устройством сетевого АВР

питания и при наличии напряжения со стороны другого источника питания. Делительная автоматика, устанавливаемая на головных выключателях, предназначена для ограничения радиуса действия сетевого АВР, а также предотвращения подачи напряжения от резервного источника питания на поврежденный элемент рабочего питания.

Порядок расчета токовых отсечек вдольтрассовых линий электропередачи. В связи со значительной протяженностью вдольтрассовых ВЛ 10 кВ МГ [4–6] они имеют низкий уровень токов КЗ в конце линии. Вместе с тем, это мало влияет на чувствительность МТЗ, установленной на секционирующих пунктах (СП) из-за малых установленных мощностей линейных потребителей электроэнергии.

Большая длина вдольтрассовых линий создает значительные трудности при применении и расчете первых ступеней направленных токовых защит – токовых отсечек (ТО), используемых в качестве дополнительных защит. Рассмотрим типичную схему вдольтрассовой ВЛ 10 кВ с односторонним питанием (рис. 3).

Приведем методику упрощенного расчета токовой отсечки [3, 7], установленной на СП_n без учета комплексного характера величин, сопротивления системы, параметров короткого замыкания и т.п. Ток трехфазного КЗ в точке установки СП_n:

$$I_{k \max n}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}Z_n}, \quad (1)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное линейное напряжение сети; Z_n – полное сопротивление сети до места установки СП_n.

Ток трехфазного КЗ в точке установки СП_{n+1}:

$$I_{k \max n+1}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}Z_{n+1}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}(Z_n + \Delta Z)}, \quad (2)$$

где Z_{n+1} – полное сопротивление сети до места установки СП_{n+1}; ΔZ – значение сопротивления линии от точки установки СП_n до точки установки СП_{n+1}.

Находим ток срабатывания ТО, установленной на СП_n:

$$I_{\text{срТО}n} = k_H I_{k \max n+1}^{(3)} = \frac{k_H U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}(Z_n + \Delta Z)}, \quad (3)$$

где k_H – коэффициент надежности.

Условие чувствительности токовой отсечки:

$$\frac{I_{k \max n}^{(3)}}{I_{\text{срТО}n}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}Z_n} \frac{\sqrt{3}(Z_n + \Delta Z)}{k_H U_{\text{НОМ}}} = \frac{Z_n + \Delta Z}{Z_n k_H} \geq 1,2; \quad (4)$$

$$\frac{\Delta Z}{Z_n} \geq 1,2 k_H - 1. \quad (5)$$

Примем, что вдольтрассовая ВЛ 10 кВ по всей длине выполнена из одного и того же типа провода. Получаем:

$$\frac{\Delta Z}{Z_n} = \frac{Z_{\text{уд}} \Delta l}{Z_{\text{уд}} l_n} = \frac{\Delta l}{l_n} \geq 1,2 k_H - 1. \quad (6)$$

Из (6) видно, что при среднем значении коэффициента надежности $k_H = 1,2$ для обеспечения требуемой по ПУЭ чувствительности селективной токовой отсечки необходимо, чтобы длина секционированного участка была не менее ~45% всей длины линии, предшествующей рассматриваемому секционированному участку. На практике это означает, что применение токовой отсечки для защиты вдольтрассовых ВЛ МГ оправдано только для головных участков линий, где выполняется условие (6). На остальных участках линий условие (6) в большинстве случаев не выполняется.

Таким образом, в общем случае выбор мест установки секционирующих аппаратов на ВЛ должен проводиться, исходя, главным образом, из следующих условий:

- 1) обеспечение чувствительной, селективной и по возможности быстродействующей релейной защиты всей ВЛ;
- 2) повышение надежности электроснабжения, и, как следствие, уменьшение ущерба от перерывов электроснабжения;
- 3) повышение культуры эксплуатации электрооборудования.

С технической точки зрения определяющим является условие (1). Вместе с тем, выбор мест установки секционирующих пунктов на вдольтрассовых ВЛ 10 кВ обуславливается конфигурацией распределения электрических нагрузок вдоль ВЛ, которая определяется технологической частью МГ.

Таким образом, расчет РЗиА вдольтрассовых ВЛ 10 кВ проводится с учетом заданного размещения секционирующих пунктов вдоль трассы ВЛ [1,

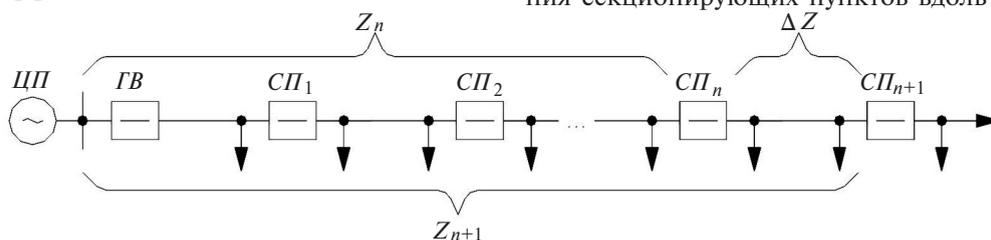


Рис. 3. Схема вдольтрассовой ВЛ 10 кВ с односторонним питанием

3, 6], что создает определенные трудности в обеспечении условия (6) при расчете токовой отсечки.

Выбор параметров МТЗ секционирующих пунктов на базе реклоузеров. При расчете МТЗ секционирующих пунктов вдольтрассовых ВЛ 10 кВ МГ, несмотря на отсутствие трудностей с обеспечением требования чувствительности защит, существует проблема их селективной работы. Причинами этой проблемы являются, в основном, две существенные особенности вдольтрассовых линий 10 кВ:

большое число секционирующих пунктов на протяжении ВЛ;

особенности, связанные с балансовой принадлежностью источников питания ВЛ.

Число СП, устанавливаемых в пределах участка ВЛ, потребители которого в нормальном режиме подключены к одному источнику питания (число СП до СП с АВР), на вдольтрассовых воздушных линиях электропередачи может достигать 10 шт. С учетом того, что минимальная степень селективности, реализуемая в современных устройствах РЗиА, составляет 0,1 с, традиционное согласование защит по ступенчатому принципу не позволяет уложиться в объективно реальные выдержки времени защит на головных выключателях, которые не превышают 0,5–1 с. Кроме того, головные выключатели ВЛ 10 кВ часто находятся на балансе сетевых организаций АО «Энерго», что приводит к дополнительным сложностям организационного характера при необходимости изменения уставок МТЗ.

Возможным решением проблемы согласования МТЗ секционирующих пунктов при последовательном секционировании является применение зависимых времятоковых характеристик при расчете защит. Однако на практике данный метод не всегда позволяет обеспечить требование селективности РЗиА при большой протяженности ВЛ 10 кВ из-за небольшого уровня токов КЗ в месте установки СП в конце линии, при котором происходит согласование МТЗ смежных элементов сети.

В настоящее время одним из наиболее перспективных способов решения проблем автоматизации воздушных сетей вдольтрассовых линий 10 кВ МГ является применение пунктов автоматического секционирования на базе *реклоузеров* [1–3]. Основными составными частями этих автономных устройств являются необслуживаемый вакуумный выключатель и устройство релейной защиты, автоматики и управления. Реклоузеры специально предназначены для обеспечения автоматического секционирования и децентрализованной автоматизации сети ВЛ 6(10) кВ.

Набор функций микропроцессорной системы РЗиА реклоузера обеспечивает эффективную реализацию системы автоматизации воздушных сетей 6–10 кВ. Рассмотрим это на примере реклоузера РВА/TEL. Набор токовых защит реклоузера

РВА/TEL имеет четыре независимые группы уставок, позволяющие быстро изменить настройки РЗиА при запланированных изменениях в первичной сети. В каждом наборе уставок могут быть использованы следующие виды защит и автоматики.

1. Трехступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ. Каждая ступень может выполняться направленной или ненаправленной, и каждая ступень уставки для прямого и обратного направления потока мощности выбирается независимо. Это является необходимым требованием к РЗиА пунктов секционирования, применяемых в схеме с автоматическим сетевым резервированием, когда необходимо автоматически изменять уставки при переключении питания на резервный источник. Высокое быстродействие защиты и силового выключателя позволяет реализовать по специальному алгоритму совместную работу реклоузеров и установленных на ответвлении сети предохранителей. Токовая защита от междуфазных КЗ предусматривает возможность отстройки от бросков токов намагничивания при включении трансформаторов.

2. Защита от замыканий на землю выполняется одноступенчатой и может быть как направленной, так и ненаправленной. Имеет две группы уставок – по одной для каждого направления мощности.

3. Защита минимального напряжения предусмотрена в двух видах: по фазным напряжениям (реагирует на снижение всех фазных напряжений ниже уставки) и по линейным напряжениям (реагирует на снижение хотя бы одного линейного напряжения).

4. В реклоузере реализовано трехкратное АПВ, что позволяет реализовывать «быстрые» циклы АПВ для мгновенного восстановления питания и традиционные циклы с увеличением выдержки времени бестоковой паузы до 180 с. Учитывая высокий коммутационный ресурс выключателя реклоузера – до 30000 циклов ВО при номинальном токе и 100 циклов ВО при номинальном токе отключения, можно выполнять многократные АПВ для увеличения вероятности устранения неустойчивых КЗ и восстановления питания потребителей. Особенностью АПВ реклоузера является то, что пуск АПВ выполнен отдельными модулями для каждого из видов защиты. Также имеется возможность работы с разными характеристиками токовых защит в циклах АПВ.

5. При пропадании питания с одной из сторон реклоузера с односторонним или двухсторонним исполнением АВР выполняет функцию сетевого резервирования.

6. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) позволяет проводить отключение нагрузки или действовать на сигнал при снижении частоты ниже уставки.

7. Координация последовательности зон является исключительно реклоузерной функцией, предназначена для координации времятоковых характеристик последовательно установленных аппаратов. Режим предусматривает возможность перехода токовых защит от междуфазных КЗ на времятоковые характеристики соответствующего цикла АПВ по факту пуска и возврата защит. Переход осуществляется по факту регистрации превышения измеряемого тока над уставкой (пуск защиты) с последующим его уменьшением ниже тока возврата (возврат защиты) без отключения реклоузера.

Алгоритмы работы автоматики секционирующих пунктов. Важным требованием к системе РЗА пунктов секционирования и АВР является возможность измерения и индикации параметров режимов сети [1, 6]. Система РЗА реклоузера совместно со встроенными измерительными датчиками обеспечивает измерение параметров вдольтрассовых ВЛ 10 кВ магистральных газопроводов. Измеряются: фазные токи, фазные и линейные напряжения, ток и напряжение прямой и нулевой последовательности, одно- и трехфазная полная, активная и реактивная энергия, частота, коэффициент мощности и др. Данные об измеренных параметрах регистрируются в журналах. Система РЗА реклоузера позволяет отображать график нагрузки по усредненным значениям одно- и трехфазной полной, активной и реактивной мощности в прямом и обратном направлениях.

Наличие функции координации последовательности зон у реклоузера РВА/TEL позволяет в полной мере устранить трудности в организации РЗА вдольтрассовых ВЛ 10 кВ МГ, связанные с большой длиной линий электропередачи и большим числом секционирующих пунктов на ВЛ. С применением реклоузеров РВА/TEL задачу селективной локализации повреждения с учетом ограничения выдержки времени защит на головных выключателях в пределах от 0,5 до 1 с при значительном числе установленных в линии аппаратов можно решить с использованием алгоритма разборки и последовательной сборки сети. Суть алгоритма заключается в одновременном отключении группы реклоузеров до места повреждения (разборка сети), а затем поочередном их включении (сборка сети) до места повреждения.

Рассмотрим алгоритм «разборка–сборка сети» на примере ВЛ 10 кВ с двухсторонним питанием, считая, что выдержки времени токовых защит головных выключателей $ГВ1$ и $ГВ2$ составляют поряд-

ка 0,5 с (см. рис. 4). На участке ВЛ от $СП_3$ до $СП_{АВР}$ (в точке $К1$) произошло КЗ.

1. Отключается выключатель $СП_1$. Это обеспечивается соответствующим выбором уставок защит последовательно установленных реклоузеров. В результате осуществляется автоматический переход МТЗ $СП_2$ на другую характеристику за счет функции координации последовательности зон.

2. Происходит АПВ секционирующего пункта $СП_1$. При успешном АПВ нормальная работа вдольтрассовой ВЛ восстанавливается. Если короткое замыкание устойчивое, то одновременно с минимальной выдержкой времени автоматически отключаются реклоузеры $СП_2$ и $СП_3$.

3. Происходит АПВ выключателя $СП_2$ с кратковременно ускоренной ступенью МТЗ. Если бы повреждение находилось на участке от $СП_2$ до $СП_3$, ускоренная ступень защиты обеспечила бы отключение $СП_2$ раньше, чем $СП_3$.

4. При появлении напряжения со стороны центра питания происходит АПВ $СП_3$ на КЗ с кратковременно ускоренной ступенью защиты (при этом аналогичная ступень МТЗ $СП_2$ уже выведена из работы). Выключатель $СП_3$ отключается с минимальной выдержкой.

5. Происходит включение выключателя $СП_{АВР}$. Далее реклоузеры работают по аналогичному принципу при питании от резервного источника.

В результате повреждение автоматически локализовано между реклоузерами $СП_3$ и $СП_{АВР}$, а питание потребителей, подключенных к неповрежденным участкам сети, автоматически восстановлено. На весь процесс локализации короткого замыкания в линии в зависимости от числа установленных реклоузеров требуется от нескольких единиц до нескольких десятков секунд. При этом алгоритм позволяет изменять число последовательных аппаратов без изменения настроек остальных реклоузеров, что крайне важно для возможности проведения последующей реконструкции вдольтрассовых ВЛ 10 кВ [4–8].

Выводы. 1. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации показывает, что вдольтрассовые воздушные линии электропередачи 10 кВ магистральных газопроводов обладают рядом особенностей, затрудняющих применение на них традиционных принципов построения РЗА.

2. Одним из перспективных способов решения проблем автоматизации воздушных сетей вдольтрассовых линий 10 кВ представляется применение пунктов автоматического секционирования на базе реклоузера РВА/TEL.

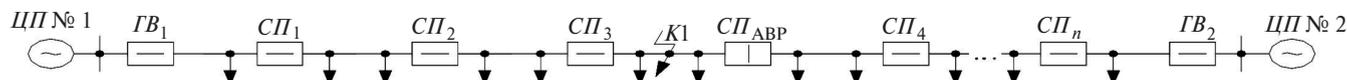


Рис. 4. Пример вольтрассовой ВЛ с двухсторонним питанием

3. Применение реклоузеров позволяет снизить риск нарушения технологического процесса и возможный ущерб от последствий аварийных процессов при транспортировке газа; снизить затраты на эксплуатацию протяженных вдольтрассовых линий 10 кВ и нагрузки на диспетчерский персонал.

4. Для учета специфики вдольтрассовых линий 6(10) кВ магистральных газопроводов необходимо тесное сотрудничество проектных организаций с заводами-изготовителями реклоузеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций, т.2/Под ред. О.В. Крюкова. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011.
2. Крюков О.В. Энергоэффективные ЭГПА газопроводов на базе интеллектуальных систем управления и мониторинга: Дис. док. тех. наук. М.: АО «Корпорация ВНИИЭМ», 2015, 312 с.
3. Крупин С.Н., Крюков О.В., Рубцова И.Е. Автоматизированные системы противоаварийной защиты компрессорных станций. — Автоматизация в промышленности, 2012, № 6, с. 57–59.
4. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В., Плехов А.С. АСУ систем электроснабжения на принципах SMART GRID

для объектов магистральных газопроводов. — Автоматизация в промышленности, 2012, № 4, с. 36–38.

5. Крюков О.В., Титов В.В. Разработка АСУ автономными энергетическими установками. — Автоматизация в промышленности, 2009, № 4, с. 35–37.

6. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий SMART GRID. — Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2013, № 2, с. 47–48.

7. Kadin S.N., Kazachenko A.P., Kryukov O.V., Reunov A.V. Questions related to the development of metrological assurance in the design of Gazprom facilities. — Measurement Techniques, 2011, т. 54, No. 8, pp. 944–952.

8. Крюков О.В. Стратегии инвариантных газотранспортных систем. — Труды XI Международ. симпозиума. Интеллектуальные системы/Под ред. К.А. Пупкова. М.: РУДН, 2014, с. 458–463.

[12.02.2018]

Автор: Крюков Олег Викторович окончил факультет автоматики и электромеханики Нижегородского политехнического института в 1978 г. В 2015 г. защитил докторскую диссертацию «Энергоэффективные электроприводы газопереключающих агрегатов газопроводов на базе интеллектуальных систем управления и мониторинга». Доцент Нижегородского университета им. Р.Е. Алексеева.

Elektrichestvo, 2018, No. 11, pp. 4–9

DOI:10.24160/0013-5380-2018-11-4-9

Specific Features of Relay Protection and Automatic Controls of a Power Line Laid along the Pipeline Route

KRYUKOV Oleg V. (Nijni-Novgorod Technical University named R. Ye. Alekseyev, Nijni-Novgorod, Russia) — Associate Professor, Dr. Sci. (Eng.)

The article presents a comprehensive analysis of existing relay protection and automatic control systems of 6(10) kV overhead power lines laid along the pipeline route, including the basic circuits of sectioning and 10/0.4 kV substations. A procedure for selecting current cut off protection stages for power line linear parts with a single-side power supply is presented, and the choice of current protection parameters for sectioning substations on the basis of modern reclosers is substantiated in a detailed manner. The principles for designing modern systems supplying power to consumers situated along the trunk gas transmission lineroute are reconsidered. The specific feature pertinent to application of relay protection equipment and operation algorithms of power line automatic controls are presented.

Key words: overhead power lines, electric power supply system, consumers along the pipeline route, relay protection, automatic controls, recloser

REFERENCES

1. Puzhailo A.F. et al. *Energoberezheniye i avtomatizatsiya elektrooborudovaniya kompressornykh stantsii, t. 2* (Energy-savings and automation of electrical equipment of the compressor stations), vol. 2/Edit. by O.V. Kryukov. N.Novgorod, Vektor TiS, 2011.
2. Kryukov O.V. *Energoeffektivnyye EGPA gazoprovod na baze intellektual'nykh sistem upravleniya i monitoring* (Effective EGPA of gas pipelines on the base of intellectual control system and monitoring). Diss. for the Degree of Dr. Sci. (Eng.). Moscow, JSC «Korporatsiya VNIIEМ», 2015, 312 p.
3. Krupin S.N., Kryukov O.V., Rubtsova I.Ye. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti — in Russ. (Automation in Industry)*, 2012, No. 6, pp. 57–59.
4. Vasenin A.B., Kryukov O.V., Serebryakov A.V., Plekhov A.S. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti — in Russ. (Automation in Industry)*, 2012, No. 4, pp. 36–38. 2009, No. 4, pp. 35–37.

5. Kryukov A.V., Titov V.V. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti — in Russ. (Automation in Industry)*, 2009, No 4, pp. 35–37.

6. Serebryakov A.V., Kryukov O.V. *Elektrooborudovaniye: ekspluatatsiya i remont — in Russ. (Electrical Equipment: exploitation and repair)*, 2013, No. 2, pp. 47–48.

7. Kadin S.N., Kazachenko A.P., Kryukov O.V., Reunov A.V. Questions related to the development of metrological assurance in the design of Gazprom facilities. — Measurement Techniques, 2011, т. 54, No. 8, pp. 944–952.

8. Krukov O.V. *Trudy XI Mezhdunarodnogo simpoziuma «Intellektual'nye sistemy»/Pod red. K.A. Pupkova. — in Russ (Proc. of the Intern. Simposium «Intellectual Systems»/Edit. by K.A. Pupkov. Moscow, Russian University of Friendship of People, 2014, pp. 458–463.*

[12.02.2018]