

УДК 621.316.13 + 621.311.449

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-61-70>

АНАЛИЗ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В РАЙОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 380 КВ ПРОВИНЦИЙ ХАТАЙ И АДАНА ТУРЕЦКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Николаев А.А., Ивекеев В.С., Ложкин И.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Качество электроэнергии является важным условием эффективной работы компактных металлургических предприятий, включающих в себя электросталеплавильные комплексы с дугowymi сталеплавильными печами и статическими тиристорными компенсаторами, функционирующих совместно с прокатными комплексами, на базе листовых и сортовых прокатных станов, а также вспомогательные агрегаты непрерывной обработки полосы. В свою очередь, показатели качества электроэнергии представляют собой совокупность характеристик, от которых зависит надежная работа ответственных потребителей на данных предприятиях. Одним из значимых показателей качества является провал напряжения, возникающий во внешней питающей сети и негативно влияющий на работу всего предприятия в целом. На сегодняшний день среди отечественных и зарубежных научных работ мало исследований, в которых рассматриваются причины возникновения провалов напряжения в районных энергосистемах. Также отсутствуют исследования, направленные на разработку комплекса мероприятий, предусматривающих поддержание напряжения на заданном уровне ещё на стадии проектирования внутрицехового электроснабжения. Существующие методики демпфирования провалов напряжения основаны на приобретении и установке нового электрооборудования, которое с определённым быстродействием реагирует на изменение уровня напряжения в распределительной сети предприятия и восстанавливает нормальный режим работы за счет переключения на резервный источник питания. Данное решение представленной проблемы экономически не выгодно, т.к. используемое оборудование является дорогостоящим. В связи с этим актуальной задачей является разработка нового подхода к проектированию систем внутрицехового электроснабжения, основанного на использовании собственных резервов реактивной мощности имеющихся статических компенсаторов для демпфирования провалов напряжения. **Цель работы** – анализ провалов напряжения в районных электрических сетях, вызванных внешними факторами, а также разработка рекомендаций по построению систем электроснабжения компактных металлургических заводов, не требующих больших капиталовложений на приобретение дополнительного дорогостоящего оборудования. **Используемые методы:** при выполнении исследований в качестве основной исходной информации были использованы экспериментальные данные о провалах напряжения на действующем металлургическом предприятии ЗАО «ММК Metalurji» (г. Искендерун, Турция) и данные о погодных условиях в исследуемом энергорайоне; статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась средствами программного приложения Microsoft Office Excel. **Новизна:** результаты исследований являются новыми, т.к. был проведен анализ зависимости провалов напряжения от возникающих грозовых разрядов, на основании которого был разработан новый подход в проектировании внутрицеховых систем электроснабжения компактных металлургических предприятий, обеспечивающий надежную защиту от провалов напряжения во внешней питающей сети. **Полученные результаты:** на примере ЗАО «ММК Metalurji» установлены закономерности возникновения провалов напряжения в зависимости от погодных условий в разное время года; определено, какая часть провалов зависит от осадков и грозовых разрядов; разработаны мероприятия по усовершенствованию цеховых систем электроснабжения с целью повышения их надежности. **Практическая значимость.** Полученные результаты исследований имеют большую практическую значимость для действующих компактных металлургических предприятий, включающих электросталеплавильное и прокатное производство. Также результаты работы могут найти практическое применение при проектировании систем электроснабжения новых строящихся заводов.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, провал напряжения, грозовые разряды, преобразователь частоты, стан горячей прокатки, электропривод прокатной клетки, дуговая сталеплавильная печь, статический тиристорный компенсатор.

© Николаев А.А., Ивекеев В.С., Ложкин И.А., 2018

Введение

Надежная работа любых систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий напрямую зависит от обеспечения основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Одним из важнейших показателей является провал напряжения, который определяется как временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения. В трехфазных СЭС за начало провала считается момент времени, когда напряжение в одной из фаз снизилось ниже порогового значения в 10%, а концом – когда это напряжение возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения [1]. Основными характеристиками провалов являются их глубина ΔU , длительность Δt (от 10 мс до 1 мин) и частота возникновения F .

Надежность работы мощных электроприемников, чувствительных к несимметрии и уровню напряжения, напрямую зависит от данного показателя. Даже кратковременное снижение напряжения может привести к остановке электрооборудования, участвующего в непрерывной технологической цепи. Так, в [2] проведен анализ влияния провалов напряжения на работу листового стана горячей прокатки 1750 ЗАО «ММК Metalurji», где главные электроприводы клетей построены на базе многоуровневых преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ). В ходе исследований было выявлено, что провалы напряжения по одной фазе глубиной 30% и длительностью 200 мс могут привести к отключению ПЧ из-за снижения напряжения в звене постоянного тока, а также из-за увеличения токов, потребляемых АВ из питающей сети.

При наличии частых провалов напряжения встает вопрос о мероприятиях, направленных на поддержание напряжения в цеховых сетях на заданном уровне. Для этого необходимо проведение анализа причин возникновения провалов напряжения, а также исследование их статистических и временных характеристик. Учитывая тот факт, что сами провалы напряжения – это события случайные, то предугадать их достаточно сложно. Причинами возникновения провалов могут быть различные факторы. К ним относятся погодные явления (гроза, дождь, снег, ветер), наледь, загрязнение изоляторов, ошибки оперативного персонала и т.д. В отечественной и зарубежной литературе опубликованы результаты исследований по прогнозированию возникновения провалов напряжения в сетях 110–220 кВ и представлены способы борьбы с ними [3–6]. В соответствии с ними наиболее частой причиной возникновения провала являются грозовые разряды [3,4]. При этом основную сложность данных исследований представляет собой сбор статистических данных. Их можно получить из записей в журналах оперативного персонала, либо длительное время проводя прямые измерения уровня

напряжения сети, или же можно применить методику расчета числа отключений линии за год в связи с попаданием в неё молний. В данной статье приведено исследование статистических характеристик провалов напряжения на примере действующего металлургического предприятия ЗАО «ММК Metalurji», получающего питание от районных электрических сетей 380 кВ провинций Хатай и Адана. Также в работе рассмотрены способы демпфирования провалов напряжения и приведены рекомендации по построению систем электроснабжения компактных металлургических заводов.

1. Описание исследуемого энергорайона Турции

Территориально металлургический завод ЗАО «ММК Metalurji» располагается в юго-восточной части Турции, в провинции Хатай, в которой преобладает субтропический климат (рис. 1, а). Воздушные линии электропередач (ЛЭП), расположенные в данном районе, проходят на открытом воздухе и с учетом их географического положения подвержены различного рода атмосферным воздействиям, которые оказывают существенное влияние на надежность электроснабжения района в целом.

Как видно из рис. 1, б, основная часть ЛЭП, составляющих СЭС представленного района, проходит недалеко от побережья Средиземного моря, что играет немаловажную роль в работе ЛЭП и в их состоянии. Данное влияние объясняется тем, что ЛЭП, расположенные вблизи морского побережья с его специфическими ветрами и дождями, подвержены образованию различного рода солевых отложений, что в свою очередь вызывает дополнительные механические нагрузки на все элементы ЛЭП. Помимо этого, возникающие отложения оказывают химическое воздействие непосредственно как на сами проводники, так и на изоляторы, траверсы и опоры, вызывая их разрушение и снижение электрических и механических свойств.

Также характерной особенностью данной местности является то, что в этом районе большая часть времени в году сопровождается дождями, которые обуславливают возникновение грозových разрядов, таким образом участок линий электропередач, питающий предприятие ЗАО «ММК Metalurji», в зимнее и межсезонные времена года находится в зоне влияния данных погодных условий. Только в летние месяцы в этом районе стоит засушливая погода. Поскольку одной из вероятных причин возникновения провалов напряжения являются срабатывания средств защиты и автоматики при отключении грозových перенапряжений [9], то необходимо проанализировать, как связаны между собой провалы напряжения в распределительной сети металлургического завода ЗАО «ММК Metalurji» и возникающие в данные периоды времени гроззовые разряды на территории исследуемых провинций.



Рис. 1. Карта провинции Хатай Турецкой республики (а) и схема районных электрических сетей 380 кВ (б)

2. Особенности районных электрических сетей 380 кВ провинций Хатай и Адана и системы внутризаводского электроснабжения ЗАО «ММК METALURJI»

Как известно, провал напряжения характеризуется резким увеличением тока и снижением напряжения в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети, с последующим его восстановлением. По сути, это кратковременное короткое замыкание в СЭС, что само по себе является аварийным режимом работы. При возникновении коротких замыканий в высоковольтных ЛЭП провалы напряжения передаются во внутризаводскую СЭС и оказывают негативное влияние на работу основных электроприемников. Глубина провала напряжения на шинах главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия зависит от удаленности точки короткого замыкания и конфигурации районных электрических сетей. На рис. 2 приведена схема замещения электрических сетей 380 кВ провинций Хатай и Адана, от которых получает питание исследуемый металлургический завод.

Главная понизительная подстанция предприятия ЗАО «ММК Metalurji» получает питание по воздушной линии электропередач от районной узловой подстанции ERZIN. Данная линия от ГПП уходит на соседний крупный металлургический комбинат IZDEMIR. В открытом распределительном устройстве (ОРУ) подстанции установлены 4 сетевых понизительных трансформатора (Т1-Т4) напряжением 380/34,5 кВ, мощностью 155 МВА, с соединением обмоток

по схеме Y/Δ . От трансформатора Т1 и Т2 получают питание шины 34,5 кВ закрытого распределительного устройства (ЗРУ), к которым подключены электроприемники станов горячей и холодной прокатки, непрерывно-травильного агрегата, агрегатов горячего цинкования и полимерных покрытий, кислородной станции и др.

Включенные на параллельную работу трансформаторы Т3 и Т4 осуществляют питание электросталеплавильного комплекса, включающего в себя дуговую сталеплавильную печь ДСП-250, с печным трансформатором мощностью 300 МВА и агрегат печь-ковш (АПК) с печным трансформатором мощностью 53 МВА. Статический тиристорный компенсатор (СТК) 330 МВАр подключен на одну секцию с ДСП и АПК и в нормальном режиме осуществляет компенсацию реактивной мощности электросталеплавильного комплекса, симметрирование и фильтрацию высших гармоник токов электросталеплавильных агрегатов. Схема электроснабжения завода представлена на рис. 3.

В питающей сети 380 кВ часто возникают однофазные провалы напряжения, которые, трансформируясь через сетевые трансформаторы, оказывают влияние на работу приводов станов горячей прокатки (СГП) и приводят к нарушению технологического процесса, сопровождающегося значительным экономическим ущербом [9].

Для разработки мероприятий по повышению надежности внутрицехового электроснабжения необходимо провести статистический анализ провалов напряжения в районных электрических сетях провинций Хатай и Адана, вызванных грозовыми разрядами.

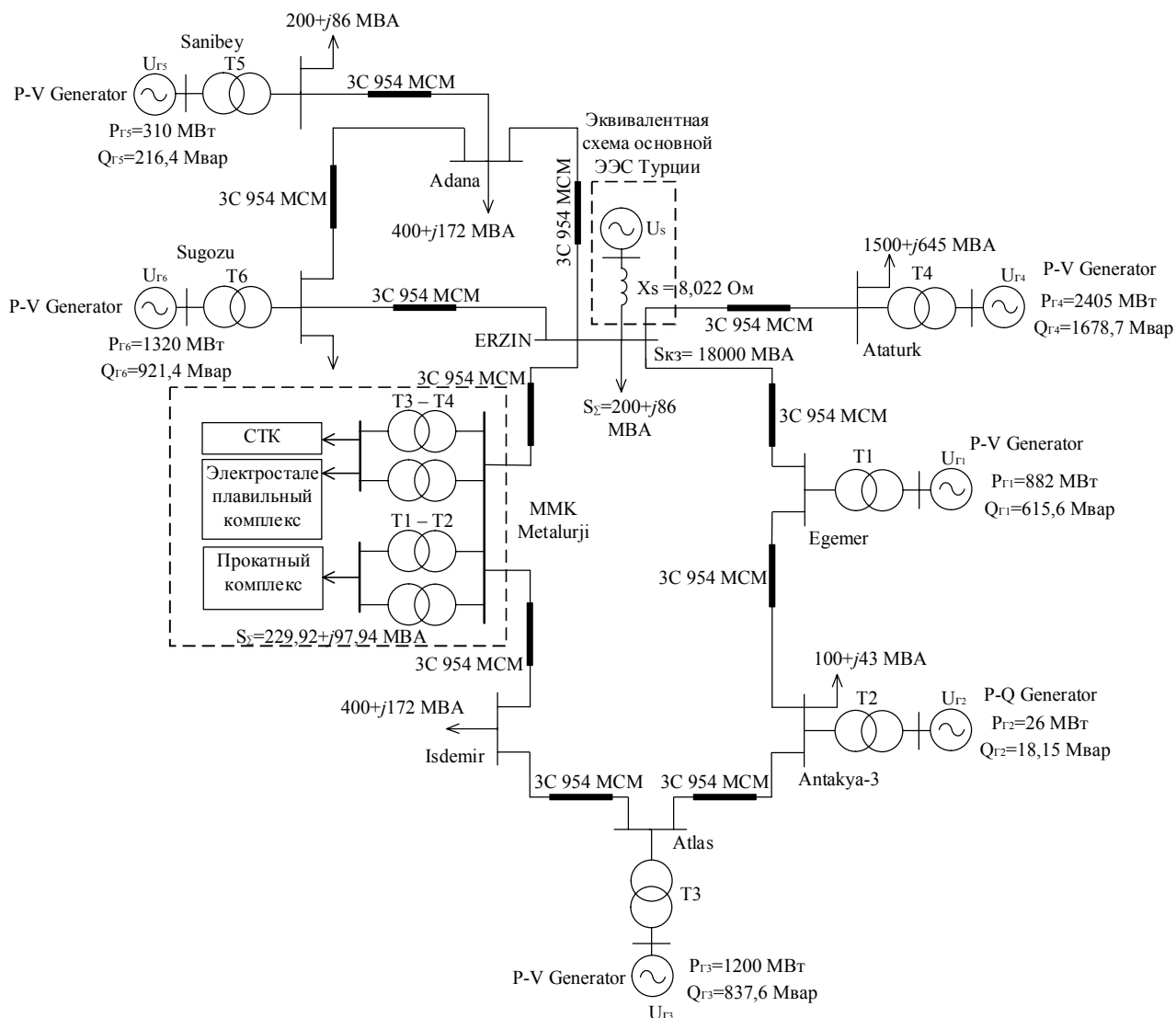


Рис. 2. Схема замещения, исследуемого энергорайона провинций Хатай и Адана

3. Статистический анализ провалов напряжения в исследуемом энергорайоне

Как говорилось ранее, при исследовании надежности систем электроснабжения немаловажным фактором являются климатические особенности данного района. Для оценки влияния погодных условий на работу СЭС был проведен анализ зависимости провалов напряжения от атмосферных осадков, сопровождающихся грозовыми разрядами.

На рис. 4 показано распределение провалов напряжения по глубине и длительности, зафиксированных в 2013 году на шинах ГПП ЗАО «ММК Metalurji». Как видно из диаграммы, наиболее распространенными являются провалы напряжения глубиной от 25 до 65 % и длительностью от 15 до 150 мс.

В качестве исходных массивов для анализа использованы данные о провалах напряжения,

зафиксированные на шинах распределительных устройств ГПП и распределительных пунктах (РП) прокатного стана 1750 предприятия ЗАО «ММК Metalurji» за 2013 год, по которым были восстановлены реальные осциллограммы мгновенных значений фазных напряжений на секциях 380 и 34,5 кВ в момент возникновения однофазного провала напряжения глубиной $\delta U = -30\%$ и длительностью $t_{\text{пров.}} = 140 \text{ мс}$ (рис. 5).

Ввиду того, что обмотки сетевых трансформаторов соединены по схеме Y/Δ , то при трансформации на секцию 34,5 кВ характер провала напряжения меняется: из однофазного провала с глубиной 30% на напряжении 380 кВ в электрической сети 34,5 кВ возникает двухфазное падение напряжения глубиной порядка 10%. Данный факт необходимо учитывать при разработке алгоритмов демпфирования провалов напряжения в распределительной сети завода.

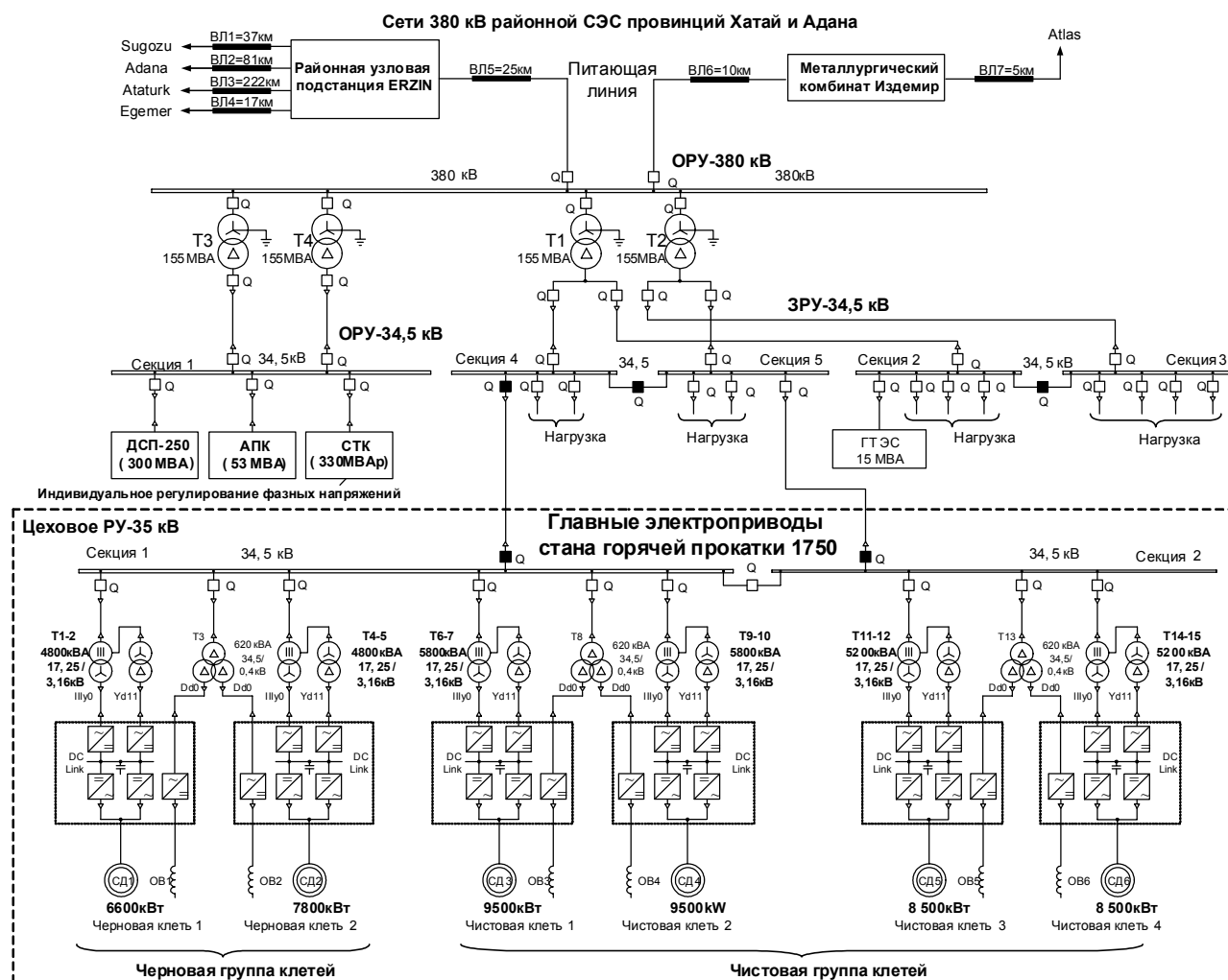
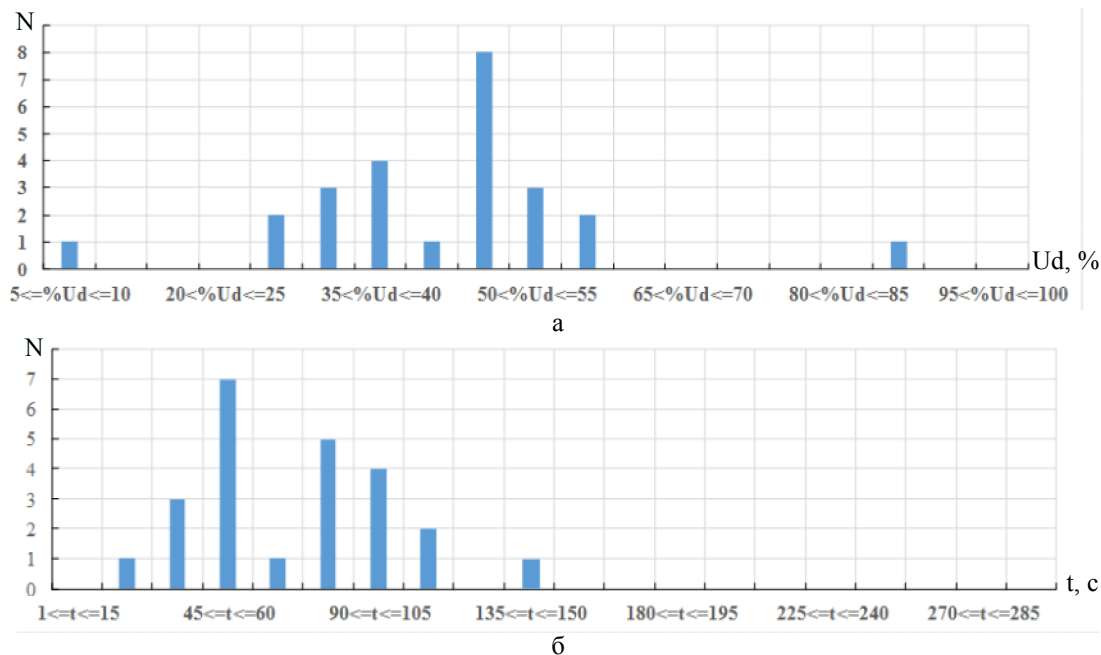


Рис. 3. Однолинейная схема электроснабжения металлургического завода ЗАО «ММК Metalurji»

Рис. 4. Гистограммы распределения провалов напряжения по глубине (U_d) и длительности (t) в сети 380 кВ (а, б) за 2013 год

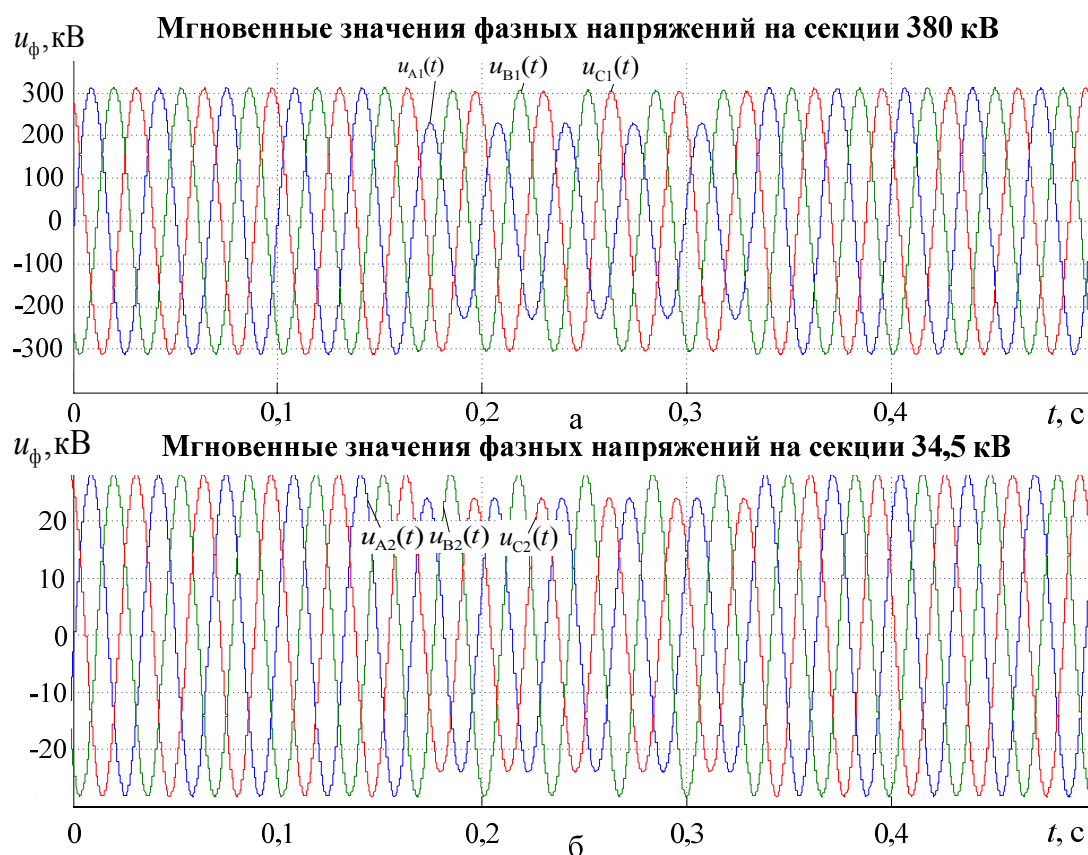


Рис. 5. Осциллограммы мгновенных значений напряжений на секциях 380 и 34,5 кВ, иллюстрирующие особенности преобразования провала напряжения на сетевом трансформаторе 380/34,5 кВ

Для предварительной оценки статистической взаимосвязи погодных условий и частоты возникновения провалов напряжения был построен график возникновения провалов напряжения в течение 2013 года с указанием количества возникновения провалов в конкретные сутки (рис. 6, а), и аналогичный график возникновения атмосферных осадков (рис. 6, б), включающий в себя количество дождей и гроз.

Как видно из рис. 6, временной интервал возникновения провалов напряжения совпадает с самыми дождливыми периодами в году. Причем в некоторых местах можно наблюдать совпадение пиков обоих графиков. В таблице указано процентное соотношение гроз в общем количестве провалов напряжения за указанные периоды.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что в 50% случаев причинами провалов напряжения являются атмосферные осадки, сопровождающиеся грозовыми разрядами. С учетом того, что возникновение гроз и осадков в исследуемом энергорайоне носит сезонный характер, то при разработке мероприя-

тий по обеспечению устойчивой работы электроприводов прокатных станков необходимо учитывать данный фактор.

Влияние гроз на провалы напряжения в процентном соотношении для разных лет

Показатели	Исследуемый календарный год		
	2012	2013	2014
Количество дней в году, когда имели место провалы напряжения, $N_{1\gamma}$	27	72	41
Количество дней в году, когда имели место грозы и осадки, $N_{2\gamma}$	125	93	115
Количество совпадений гроз и осадков с провалами напряжения N_3	17 (63%)	34 (47,2%)	19 (46,3%)



Рис. 6. Графики возникновения провалов напряжения в течение 2013 года (а);
графики возникновения дождей и гроз в районе провинций Хатай и Адана (б)

4. Разработка рекомендаций по снижению влияния провалов напряжения на работу электроприемников прокатного комплекса

С целью компенсации провалов напряжения на предприятии ЗАО «ММК Metalurji» было предложено использовать заложенные в СТК резервы реактивной мощности [10]. Данный способ потребовал модернизации существующей системы управления СТК, в которой был внедрен контроль фазных напряжений на период протекания провала, а также были приняты меры по исключению бросков напряжения в начальный и конечный моменты провала напряжения. Реализация данного способа возможна за счет прокладки дополнительной кабельной линии, что требует доработки существующей схемы электропитания (рис. 7). Было предложено объединить секции шин 34,5 кВ стана горячей прокатки и электроплавильного комплекса и рассмотреть возможность разработки графика сезонных переключений, в результате которых электроприемники СГП на время неблагоприятных метеоусловий будут защищены от негативного воздействия провалов напряжения.

Применение данного режима работы внутренней распределительной сети возможно только при наличии одного уровня напряжения на шинах стана горячей прокатки и электроплавильного комплекса. Помимо этого, необходимо предусмотреть размещение дополнительных ячеек в РУ 34,5 кВ ГПП и РУ прокатного стана. На основании статистических данных о грозовой активности и связанных с ней провалами напряжения следует предусмотреть графики переключений питающей секции цехового РП на параллельную работу с шинами РУ-35 кВ ЭСПЦ. Также необходимо обеспечить согласованную работу ДСП и электроприводов прокатного стана, исключить работу клетки при компенсации печного трансформатора и фильтрокомпенсирующих цепей СТК. Данные обстоятельства рекомендуется учитывать при проектировании вновь строящихся предприятий, на которых планируется использование ресурсов сверхмощного СТК дуговой печи для демпфирования провалов напряжения.

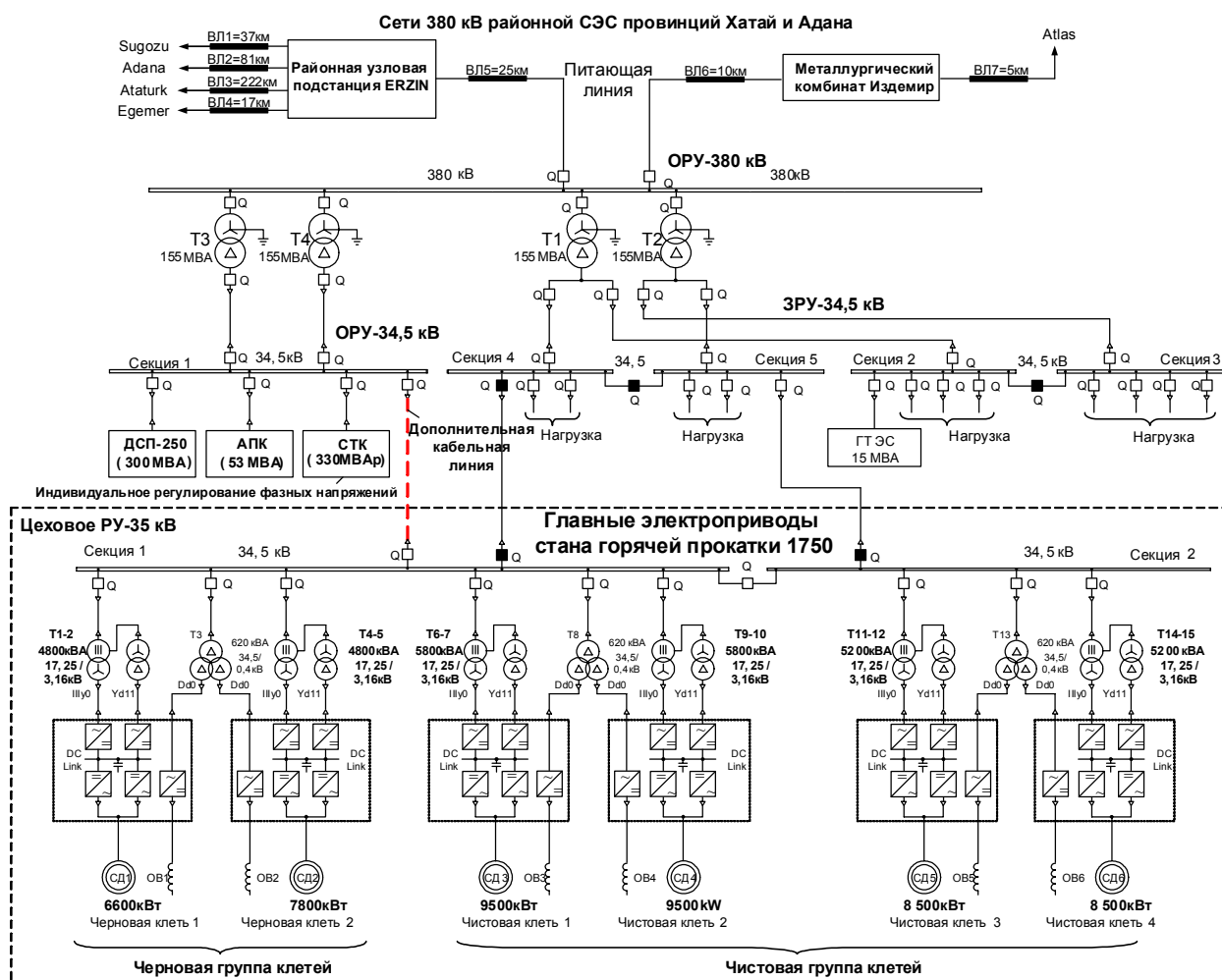


Рис. 7. Усовершенствованная однолинейная схема электроснабжения металлургического завода ЗАО «ММК Metalurji»

Выводы

1. Провалы напряжения оказывают существенное влияние на надёжную работу ответственных электроприемников и на бесперебойность всего технологического процесса металлургических предприятий.

2. В ходе исследования были проанализированы наиболее вероятные причины возникновения провалов напряжения на шинах 380 кВ завода ЗАО «ММК Metalurji», Турция. Результаты исследований показали, что в среднем 50 % случаев возникающих провалов напряжения причинами являются атмосферные осадки, сопровождающиеся грозовыми разрядами.

3. По результатам работы даны общие рекомендации по построению систем внутрицехового электроснабжения компактных металлургических заводов, имеющих в своем составе электроплавильный комплекс с установленными

сверхмощной ДСП и СТК, а также прокатное производство. Основной идеей является применение в течение года сезонных переключений, при которых обеспечивается параллельная работа стана горячей прокатки и электротехнического комплекса «ДСП-СТК» с измененной системой управления СТК.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-3230.2018.8).

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Исследование влияния провалов напряжения в системе электроснабжения завода ММК METALURJI на работу главных электроприводов стана горячей про-

- катки / А.А. Николаев, А.С. Денисевич, И.А. Ложкин, М.М. Тухватуллин // Электротехнические системы и комплексы. 2015. № 3 (28). С. 8–14.
3. Карташев И.И., Плакида А.В., Хромышев Н.К. Анализ провалов напряжения в электрических сетях 100/220 кВ // Электричество. 2005. № 4. С. 2–8.
 4. Шпиганович А.Н., Муров И.С. Провалы напряжения в электрических системах предприятий // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 2–4 (7). С. 6–7.
 5. Simulation of voltage sag events in distribution networks and utility-side mitigation methods / Mustafa S.S., Önder P., Kahraman Y., Ömer G., Necip E.A. // 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO). IEEE Conferences. Year: 2017. Pages: 211–215.
 6. Mei Fei. Classification and recognition of voltage sags based on KFCM – SVM / Mei Fei, Zhang Chenyu, Sha Haoyuan, Zheng Jianyong // 2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI). IEEE Conferences. Year: 2017. Pages: 432–437.
 7. Иванов В.И., Арцишевский Я.Л. Методика прогнозирования статистики провалов питающего напряжения в секционированных распределительных сетях электро-снабжения // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2004. № 6. С. 18–22.
 8. Особенности электроснабжения металлургического завода «ММК-METALURJI» / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А.В. Ануфриев, И.А. Ложкин, В.С. Ивекеев, Е.Б. Славгородский // Электротехнические системы и комплексы. 2012. №20. С. 235–238.
 9. Пупин В.М., Куфтин Д.С., Сафонов Д.О. Анализ провалов напряжений в питающих сетях предприятий и способы защиты электрооборудования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2011. № 4. С. 35–41.
 10. Application of static var compensator of ultra-high power electric arc furnace for voltage drops compensation in factory power supply system of metallurgical enterprises / A.A. Nikolaev, G.P. Kornilov, T.R. Khrumshin, I. Ackay, Y. Gok // Proceedings of the Electrical Power and Energy Conference EPEC-2014. Calgary, Canada. 12–14 November 2014, pp. 235–241.

Поступила 01.02.18.

Принята в печать 12.03.18.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-61-70>

ANALYSIS OF VOLTAGE FALL IN 380 KV REGIONAL ELECTRICAL POWER NETWORKS OF HATAY AND ADANA PROVINCES, TURKEY

Aleksandr A. Nikolaev – Ph.D. (Eng.), Associate ProfessorNosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: aa.nikolaev@magtu.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5014-4852>.**Vladimir S. Ivekeev** – Postgraduate Student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vivekeev@yandex.ru.

Igor A. Lozhkin – Postgraduate Student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: igor-yoha@ya.ru.

Abstract

Relevance of the task. Quality of electrical energy is a vital prerequisite for operation of compact metallurgical plants consisting of melting complexes based on electric-arc furnaces and static var compensators that work together with rolling mills consisting of flat steel and section mills as well as continuous machining of the strip. Quality parameters of electrical energy, in turn, depend upon a number of characteristics that influence operation of essential consumers at such plants. One of the most significant quality characteristics is voltage fall in the external supply network. It negatively affects plants overall. For today, there is little research among domestic and foreign researchers that deal with reasons of voltage fall in regional power networks. Also, there is no research that would deal with measures for maintaining voltage at a desired level even during designing inner electrical supply. Existing methods of damping voltage fall are based on purchasing new equipment which reacts to changing voltage in the distribution network and restores normal operation mode by switching to a standby power supply. Such a method is unfavorable economically as equipment is expensive, and not

every plant is ready to buy it. As such, the task to do is development of a new method of designing electrical power supply systems for workshops. Such method would be based on in-house reserves of reactive power accumulated in static compensators for dumping voltage falls. **Goal of the job:** analyzing voltage fall in regional electrical networks which are caused by external factors and working out recommendations on designing electrical power systems for small metallurgical plants which don't require significant investments for purchasing additional equipment. **Methods used:** the basic information for the research is datasets on voltage falls at existing metallurgical plant MMK Metalurji Ltd., Iskanderun, Turkey, and information on weather conditions within the researched power districts. Experimental data has been statically processed by Microsoft Office Excel. **Originality:** the research findings are new as there has been a research on how voltage falls depend on lightning discharges. Based on this research, a new method of designing in-shop electrical power systems has been developed which defends the electrical power systems from voltage fall in the outer power system. **Findings:** by the example of MMK Metalurji Ltd. we

can see principles of occurring voltage falls depending on weather conditions in various seasons; also, measures of improvement of in-shop power systems have been developed with the aim of making them more reliable. **Practical relevance.** The results obtained are highly significant for existing small metallurgical plants consisting of electric furnace and rolling steelmaking. Also, the results can be used at designing of new metallurgical plants.

Keywords: Reliability of power supply, voltage dips, lightning discharges, frequency converter, hot rolling mill, electric drive of the rolling stand, electric arc furnace, static var compensator.

References

1. GOST 32144-2013. *Mezhhgosudarstvennyy standart. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Normy kachestva ehlektricheskoy ehnergii v sistemah ehlektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* [State Standard 32144-2013. Russian National Standard. Electric energy. Compatibility of technical means is electromagnetism. Norms of quality of electric energy in general-purpose power supply systems]. Moscow, 2013. (In Russ.).
2. Nikolaev A.A., Denisevich A.S., Lozhkin I.A., Tikhvatullin M.M. Investigation of the influence of voltage dips in the power supply system of the plant MMK METALURJI on the work of the main electric drives of the hot rolling mill. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2015, no. 3(28), pp. 8-14. (In Russ.).
3. Kartashev I.I., Plakida A.V., Khromyshev N.K. Analysis of voltage dips in electrical networks 100/220 kV. *Elektrichestvo* [Electricity]. 2005, no. 4, pp. 2-8. (In Russ.).
4. Shpiganovich A.N., Murov I.S. Voltage dips in the electrical systems of enterprises. *Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh* [National Association of Scientists]. 2015, no. 2-4(7), pp. 6-7. (In Russ.).
5. Mustafa Selim Sezgin, Önder Polat, Kahraman Yumak, Ömer Gul, Necip Erman Atilla. Simulation of voltage sag events in distribution networks and utility-side mitigation methods. 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO). IEEE Conferences. Year: 2017. Pages: 211-215.
6. Mei Fei, Zhang Chenyu, Sha Haoyuan, Zheng Jianyong. Classification and recognition of voltage sags based on KFCM – SVM. 2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI). IEEE Conferences Year: 2017. Pages: 432-437.
7. Ivanov V.I., Artsishevsky Ya. L. The method of forecasting the statistics of supply voltage failures in the sectional distribution networks of power supply. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. EHlektromekhanika* [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Electromechanics]. 2004, no. 6, pp. 18-22. (In Russ.).
8. Komilov G.P., Nikolaev A.A., Anufriev A.V., Lozhkin I.A., Ivekeev V.S., Slavgorod E.B. Features of electricity supply to the metallurgical plant "MMK-METALURJI". *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2012, no. 20, pp. 235-238. (In Russ.).
9. Pupin V.M., Kuftin D.S., Safonov D.O. Analysis of voltage failures in the supply networks of enterprises and methods of protecting electrical equipment. *Elektrooborudovanie: ehkspluatatsiya i remont* [Electrical equipment: operation and repair]. 2011, no. 4, pp. 35-41. (In Russ.).
10. Nikolaev A.A., Komilov G.P., Khrushin T.R., Ackay I., Gok Y. Application of static var compensator of ultra-high power electric arc furnace for voltage drops compensation in factory power supply system of metallurgical enterprises. Proceedings of the Electrical Power and Energy Conference EPEC-2014. Calgary, Canada, 12-14 November 2014, pp. 235-241.

Received 01/02/18

Accepted 12/03/18

Образец для цитирования

Николаев А.А., Ивекеев В.С., Ложкин И.А. Анализ провалов напряжения в районных электрических сетях 380 кВ провинций Хатай и Адана Турецкой республики // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №1. С. 61–70. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-61-70>

For citation

Nikolaev A.A., Ivekeev V.S., Lozhkin I.A. Analysis of voltage fall in 380 kV regional electrical power networks of Hatay and Adana provinces, Turkey. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 61–70. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-61-70>