

DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-06

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В. З. Манусов^{1,a}, Г. В. Иванов^{2,b}, Е. Ю. Кислицин^{2,c}, С. В. Горелов^{1,2}

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация

^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7799-4830>, manusov36@mail.ru

^b ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8640-9605>, ivanov_gv@surgu.ru

^c ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9747-3917>, kislitsin_eu@surgu.ru

² ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9048-7104>, kese@nsawt.ru

Аннотация: в работе рассмотрены технические мероприятия, реализация которых позволит повысить качество электроснабжения электроустановок нефтегазовых месторождений, удаленных от централизованных узлов электроснабжения, а именно увеличить пропускную способность существующих промысловых воздушных линий (ВЛ) 6 кВ. В качестве примера была проанализирована работа воздушной линии протяженностью 12,338 км (с учетом проектируемой отпайки) при различных электрических нагрузках. С целью электроснабжения вновь вводимых в эксплуатацию объектов организацией, обслуживающей электроустановки рассматриваемого комплекса добычи углеводородов, было предложено строительство отпайки от существующей ВЛ 6 кВ. Поскольку подключение новых электроприемников ожидаемо приводит к увеличению нагрузки на существующую линию, кроме расчета электрических нагрузок, с целью определения расчетной токовой нагрузки и проверки сечения проводов по длительно допустимому току, был выполнен расчет величины напряжения в предполагаемой точке подключения с учетом проектируемой нагрузки, который выявил снижение величины напряжения ниже параметров, регламентированных ГОСТ 32144-2013. Предложено использовать пункт автоматического регулирования напряжения на основе вольтодобавочного трансформатора. Расчетным путем подтверждена эффективность применения вольтодобавочного трансформатора для повышения пропускной способности линии. Одним из преимуществ рассмотренного способа повышения качества электроснабжения промышленных объектов является быстрота реализации по сравнению с другими возможными способами.

Ключевые слова: вольтодобавочный трансформатор, пункт автоматического регулирования напряжения, электроснабжение, объекты нефтегазовой отрасли, линия электропередачи, качество электроснабжения.

Для цитирования: Манусов В. З., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю., Горелов С. В. Повышение пропускной способности воздушной линии с помощью вольтодобавочного трансформатора. *Успехи кибернетики*. 2024;5(1):47–53. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-06.

Поступила в редакцию: 14.02.2024.

В окончательном варианте: 10.03.2024.

INCREASING THE OVERHEAD POWER LINE CAPACITY USING A BOOSTER TRANSFORMER

V. Z. Manusov^{1,a}, G. V. Ivanov^{2,b}, E. Yu. Kislitsin^{2,c}, S. V. Gorelov^{1,d}

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

² Surgut State University, Surgut, Russian Federation

^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7799-4830>, manusov36@mail.ru

^b ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8640-9605>, ivanov_gv@surgu.ru

^c ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9747-3917>, kislitsin_eu@surgu.ru

^d ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9048-7104>, kese@nsawt.ru

Abstract: this study evaluates technical interventions aimed at enhancing the power supply quality to electrical systems within oil and gas fields that are distantly located from centralized power supply points, specifically by augmenting the capacity of existing 6 kV field overhead lines. Utilizing a case study, the

performance of an overhead line spanning 12.338 km (inclusive of anticipated desoldering) under varied electrical load conditions was examined. To facilitate the electrification of newly inaugurated facilities, the entity responsible for the electrical infrastructure of the referenced hydrocarbon extraction complex suggested the creation of a decoupling from the current 6 kV overhead line. Given the expected addition of new electrical consumers, which would result in an increased load on the pre-existing line, the study not only computed electrical loads but also estimated the projected current load and evaluated the wire cross-section for long-term allowable current. Additionally, the voltage level at the proposed connection point was calculated with the anticipated load in mind, revealing a reduction in voltage below the standards mandated by GOST 32144-2013. The implementation of an automatic voltage regulation node employing a booster transformer is recommended. The paper calculates the effectiveness of using a booster transformer to expand line capacity and highlights the method's advantage of rapid deployment compared to alternative solutions for improving power supply quality to industrial installations.

Keywords: booster transformer, automatic voltage control, power supply, oil and gas industry facilities, power transmission line, power supply quality.

Cite this article: Manusov V. Z., Ivanov G. V., Kislitsin E. Yu., Gorelov S. V. Increasing the Overhead Power Line Capacity Using a Booster Transformer. *Russian Journal of Cybernetics*. 2024;5(1):47–53. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-06.

Original article submitted: 14.02.2024.

Revision submitted: 10.03.2024.

Введение

Одной из ведущих отраслей промышленности Российской Федерации является нефтегазовая отрасль. Существование и развитие этой отрасли, как и любой другой, неразрывно связано с не менее важной – электроэнергетикой. При этом часть месторождений находятся вдали от централизованных источников питания, в районах Крайнего Севера. Электроснабжение электроустановок в этом случае является сложной технической задачей.

При разработке нефтегазовых месторождений, находящихся вдали от централизованных источников питания, целесообразно использовать локальные электростанции, построенные на базе автономных генерирующих устройств, использующих в качестве энергоносителя попутный нефтяной газ [1–3].

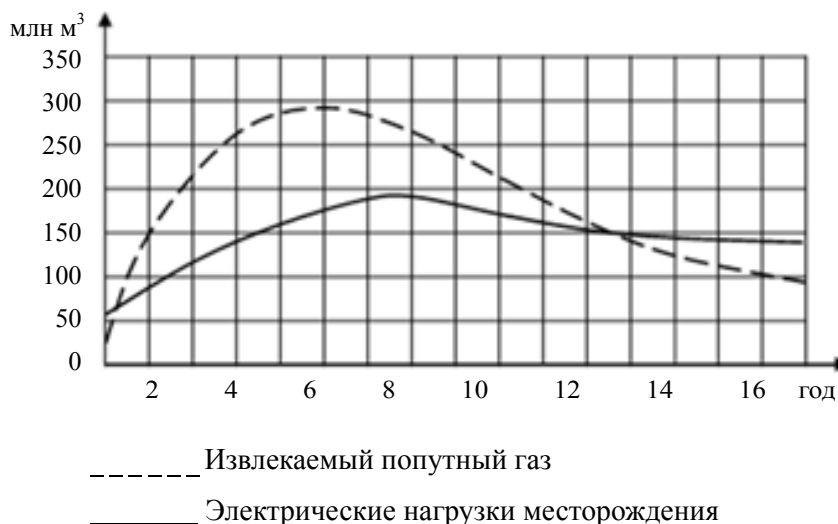


Рис. 1. Изменение соотношения между величиной электрических нагрузок и объемом попутного нефтяного газа [1]

Однако это решение не всегда удовлетворяет требованиям надежности электроснабжения электроустановок предприятий по добыче углеводородов, поскольку электрические нагрузки месторождения в период его эксплуатации не соответствуют количеству извлекаемого углеводородного сырья: на начальном этапе эксплуатации месторождения объем добываемого попутного нефтяного газа превышает потребности генерирующих электрическую энергию установок, на 12 год эксплуатации, напротив, объемов нефтяного газа недостаточно, чтобы покрыть электрические нагрузки месторождения.

В настоящее время в качестве источников электроснабжения таких систем на предприятиях по добыче углеводородов применяются такие установки, как:

- паросиловые установки, которые обеспечивают потребителя теплом и электрической энергией;
- газотурбинные установки (ГТЭС), также — генерация электрической энергии и тепла (тепло отработанных продуктов горения);
- газодизельные электростанции;
- комбинированные источники электрической энергии [4].

При недостаточном объеме попутного нефтяного газа дефицит электрической энергии восполняется строительством ЛЭП от ближайшего промысла с избыточными объемами попутного газа. Помощью таких ЛЭП объединяется ряд удаленных от узлов централизованного электроснабжения месторождений, кустовые насосные станции и прочие объекты предприятий по добыче и транспортировке углеводородов. Таким образом формируется собственная энергосистема.

Описание объекта исследования. Предлагаемое техническое решение

Промысловые электрические сети представлены преимущественно воздушными линиями электропередач, выполненными неизолированными витыми проводами типа А, АС. При этом порядка 55% от всей протяженности линий класса напряжения 6–35 кВ эксплуатируются уже более 35 лет [5]. В процессе эксплуатации месторождений нагрузка на промышленные сети возрастает в результате подключения вновь вводимых в работу объектов. В период аварийных отключений или вывода в ремонт части ГТЭС эта нагрузка достигает значений, при которых уровень напряжения на вводах энергопринимающих устройств не соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013.

Кроме того, для предприятий по добыче углеводородов характерными потребителями электроэнергии являются насосные агрегаты с приводом от электродвигателей, которые, в свою очередь, восприимчивы к изменению напряжения питающей сети [6].

Таким образом, вопрос о необходимости модернизации промышленных сетей электроснабжения 10(6) кВ в ближайшем будущем будет являться актуальным.

При этом, например, возможны такие пути решения обозначенной проблемы, как:

- 1) реконструкция ВЛ с заменой опор, арматуры, проводов;
- 2) перевод ЛЭП на более высокий класс напряжения;
- 3) установка вольтодобавочных трансформаторов;
- 4) оптимизация режима работы электроустановок месторождений.

Как уже было сказано выше, промышленные сети электроснабжения довольно часто располагаются в районе, куда затруднена доставка материалов, средств большой механизации. В этом случае в качестве быстрого эффективного способа повышения качества электроснабжения используется установка вольтодобавочного трансформатора [7, 8].

В качестве объекта исследования рассмотрим ВЛ 6 кВ, которая соединяет между собой энергопринимающие устройства объектов, относящихся к нескольким нефтяным месторождениям. С целью электроснабжения вновь вводимых в эксплуатацию объектов организацией, обслуживающей электроустановки рассматриваемого комплекса добычи углеводородов, было предложено строительство отпайки от существующей ВЛ 6 кВ (от оп. 97).

Характеристика объекта:

- протяженность 12,338 км;
- выполнена проводом А 50;
- расчетная нагрузка 785,7 кВт (с учетом проектируемой нагрузки).

Для корректного установления значения напряжения линии определялась расчетная мощность в каждом ее узле.

Напряжение в начале линии принималось равным 6,3 кВ.

Расчет параметров сети 6 кВ. Результаты расчета

Предварительный расчет падения напряжения на участке проводился по формуле:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_1 \cdot R + Q_1 \cdot X}{U_1} \cdot 0,001, \quad (1)$$

где U_1 — напряжение в начале участка, кВ; U_2 — напряжение в конце участка, кВ; P_1 — мощность в начале участка, кВт. P_1 вычисляется по формуле:

Таблица 1

Расчет падения напряжения в линии при подключении новых объектов

Назначение линии			Расчетная нагрузка линии		Марка и сечение провода	Длина участка, км	Результаты расчетов падения напряжения				
Тип	начало	конец	P , кВт	Q , кВ·Ар			U_1 , кВ	ΔU , кВ	$\Delta U_{от\text{ ип}}$, кВ	U_2 , кВ	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВЛ 6 кВ	ЗРУ-6 кВ ПС "№1" яч.4	ф."№1" оп.9 (отп.на КТП-1-25)	785,7	310,5	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,533	6,30	0,052	0,052	6,25	-0,82
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.9	ф."№1" оп.11 (отп.на КТП-2-160)	776,3	306,8	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,145	6,25	0,014	0,065	6,23	-1,04
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.11	ф."№1" оп.19 (отп.на КТП-3-160, КТП-4-160)	715,9	282,9	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,630	6,23	0,056	0,122	6,18	-1,93
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.19	ф."№1" оп.31 (отп.на КТП-5-160, КТП-6-63)	655,5	259,1	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,730	6,18	0,060	0,182	6,12	-2,88
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.31	ф."№1" оп.40 (отп.на КТП-7-160)	571,3	225,8	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,460	6,12	0,033	0,215	6,09	-3,41
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.40	ф."№1" оп.97 (отп.на КТП-8-63)	510,9	201,9	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	3,620	6,09	0,236	0,450	5,85	-7,15
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.97 (проект)	ф."№1" оп.191 (отп.на КТП-9-250, КТП-10-630, КТП-11-160, КТП-12-250)	487,1	192,5	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	6,220	5,85	0,401	0,852	5,45	-13,52

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{12}, \quad (2)$$

где P_2 — мощность в конце участка, кВт; ΔP_{12} — потери активной мощности на участке, кВт; Q_1 — мощность в начале участка, кВ·Ар. Q_1 вычисляется по формуле:

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q_{12}, \quad (3)$$

где Q_2 — мощность в конце участка, кВт·Ар; ΔQ_{12} — потери реактивной мощности на участке, кВт·Ар; R — активное сопротивление ВЛ на участке, Ом; X — реактивное сопротивление ВЛ на участке, Ом.

Потери активной мощности:

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot R. \quad (4)$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot X. \quad (5)$$

Результаты расчета показали после подключения к существующей ВЛ 6 кВ проектируемых мощностей наличие отклонения напряжения (13,52%) от номинального значения, что не соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 (табл. 1).

Для устранения падения напряжения предлагается применить пункт автоматического регулирования напряжения (ПАРН) с диапазоном регулирования 15%, состоящий из трех вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) номиналом 100А.



Рис. 2. Пример установки ВДТ в линии 10(6) кВ

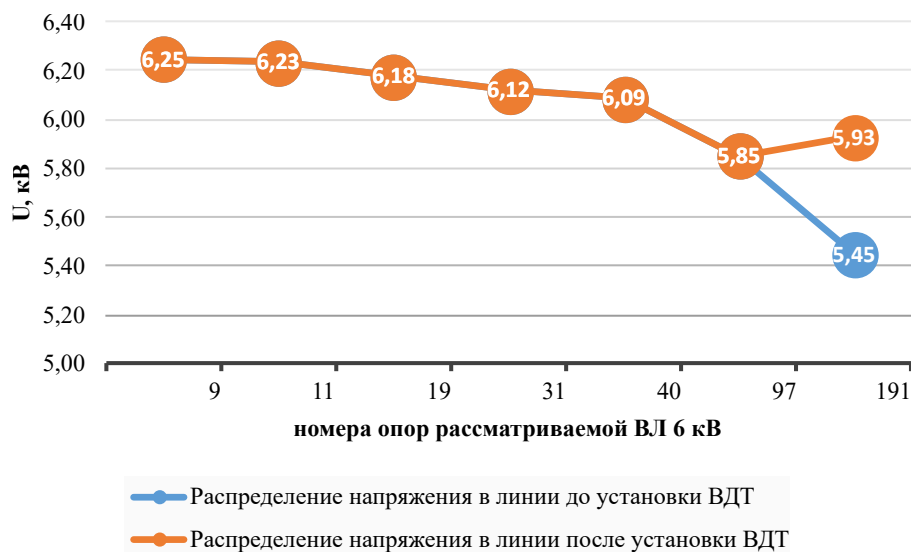


Рис. 3. Распределение напряжения в линии 6 кВ

Таблица 2

Расчет падения напряжения в линии после установки ВДТ

Назначение линии			Расчетная нагрузка линии		Марка и сечение провода	Длина участка, км	Результаты расчетов падения напряжения				
Тип	начало	конец	P, кВт	Q, кВт·Ар			U ₁ , кВ	ΔU , кВ	$\Delta U_{от\text{ ип}}$, кВ	U ₂ , кВ	ΔU , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВЛ 6 кВ	ЗРУ-6 кВ ПС "№1"яч.4	ф."№1" оп.9 (отп.на КТП-1-25)	785,7	310,5	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,533	6,30	0,052	0,052	6,25	-0,82
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.9	ф."№1" оп.11 (отп.на КТП-2-160)	776,3	306,8	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,145	6,25	0,014	0,065	6,23	-1,04
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.11	ф."№1" оп.19 (отп.на КТП-3-160, КТП-4-160)	715,9	282,9	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,630	6,23	0,056	0,122	6,18	-1,93
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.19	ф."№1" оп.31 (отп.на КТП-5-160, КТП-6-63)	655,5	259,1	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,730	6,18	0,060	0,182	6,12	-2,88
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.31	ф."№1" оп.40 (отп.на КТП-7-160)	571,3	225,8	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	0,460	6,12	0,033	0,215	6,09	-3,41
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.40	ф."№1" оп.97 (отп.на КТП-8-63)	510,9	201,9	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	3,620	6,09	0,236	0,450	5,85	-7,15
ВЛ 6 кВ	ф."№1" оп.97 (проект)	ф."№1" оп.191 (отп.на КТП-9-250, КТП-10-630, КТП-11-160, КТП-12-250)	487,1	192,5	3 х А-50 (по ГОСТ 839-80)	6,220	6,30	0,373	0,823	5,93	-5,92

Функционирование ПАРН основано на регулировании напряжения высоковольтным ВДТ с определенным диапазоном регулирования. Кроме того, конструкцией ПАРН предусмотрено централизованное управление ВДТ, с этой целью ПАРН комплектуется блоком управления на базе микропроцессорных устройств.

Расчетом было определено возможное место установки ПАРН (табл. 2).

График распределения напряжения на различных участках рассматриваемой ВЛ 6 кВ представлен на рисунке 3.

Вывод

Установка ПАРН из трех ВДТ обеспечит нормальный уровень напряжения на протяжении всей длины линии в нормальном режиме и в период аварийного отключения или вывода в ремонт части ГТЭС. Это говорит о возможности применения ВДТ как эффективного и быстрого способа повышения качества электроснабжения потребителей, расположенных вдали от централизованных источников электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турышева А. В. Повышение эффективности энергоснабжения нефтегазовых месторождений при использовании попутного нефтяного газа в качестве энергоносителя. *Современная техника и технологии*. 2014;5. Режим доступа: <https://technology.snauka.ru/2014/05/3875>.
2. Ивановский В. Н. Энергетика добычи нефти: основные направления оптимизации энергопотребления. *Инженерная практика: Российский нефтегазовый журнал о технологиях и оборудовании*. 2011;6:9–18.
3. Муровский С. П., Курзо А. Н., Муровская А. С. Эффективность внедрения децентрализованных комбинированных энергосистем на базе ВИЭ для удаленных потребителей. *Актуальные проблемы общества в современном научном пространстве*: Сб. науч. ст. Ч. 2. Уфа: Аэтерна; 2017. С. 13–16.
4. Кукула Ю. М., Глебова Л. В. Современное состояние систем энергоснабжения нефтегазодобывающих предприятий на удаленных от инфраструктуры территориях и их перспективы. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. 2020;6:85–88. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-6(120)-85-88.
5. Латыпов И. С., Сушков В. В., Хмара Г. А. Увеличение пропускной способности электрической сети и повышение энергоэффективности действующей электроэнергетической системы нефтегазопромысловых потребителей. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022;333(4):236–247. DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3497.
6. Бадрызов Д. Системы автономного энергообеспечения нефтяных месторождений. *Нефтегазовая вертикаль*. 2006;9–10:128–130.
7. Перинский Т. В., Клыков А. В. Опыт применения пунктов автоматического регулирования напряжения ПАРН серии ВДТ/VR-32 в распределительных электрических сетях 6–10 кВ. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2012;1:42–48.
8. Перинский Т. В., Родионов О. С. Повышение пропускной способности ВЛ 6–10 кВ. *Новости электротехники*. 2007;4:50–51.
9. *Группа РУСЭЛТ: производство и поставка промышленного электротехнического оборудования*. Режим доступа: <http://www.ruselt.ru>.