

to provide uninterrupted electricity and heat supply to objects and settlements of the republic at any time of the year. But this requires energy programs both at the state and local levels. It is necessary to educate the public about the benefits of clean energy, using the media and special courses in educational institutions. For such a sunny republic as Tajikistan, there is a great need for solar energy specialists who could design, install and operate solar installations not only at the household level for individual use, but also for more energy-intensive facilities and enterprises. Using environmentally friendly solar energy, we will preserve the natural resources of the republic and create comfortable living conditions for the local population.

#### References

1. Кирпичникова, И. М. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в республике Таджикистан / И. М. Кирпичникова, И. Б. Махсумов // Материалы X науч. конф. аспирантов и докторантов ЮУрГУ. – Челябинск, 2018.
2. Киргизов, А. К. Развитие и оптимизация режимов электроэнергетической системы с распределенными возобновляемыми источниками энергии методами искусственного интеллекта (на примере Республики Таджикистан) : автореф. дис ... канд. техн. наук / А. К. Киргизов. – Новосибирск : НГТУ, 2017. – 9 с.
3. Исмоилов, Ф. О. Комплексное использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных потребителей Республики Таджикистана : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф. О. Исмоилов. – М. : МЭИ, 2012. – 38 с.
4. Кирпичникова, И. М. Методика оценки потенциала солнечной энергетике в Республике Таджикистан / И. М. Кирпичникова, И. Б. Махсумов, Ю. Нуроллахи // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 3. – С. 25–34.
5. Global Solar Atlas. – Mode of access: <http://globalsolaratlas.info/downloads/Tajikistan>. – Date of access: 07.04.2018.

УДК 621.315.2

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТАХ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СИСТЕМ**

**Д. И. Зализный, Д. Г. Кроль, Ю. А. Рудченко, Д. В. Сучков**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Исследовано влияние электрического поля на пробой кабельных муфт, применяемых в системах электроснабжения погружных насосов нефтедобывающих станций ОАО «Белоруснефть». Получены картины напряженности поля в кабельной муфте в продольном и поперечном направлениях.*

**Ключевые слова:** нефтедобывающая станция, погружная система, силовой кабель, соединительная муфта, электрическое поле, пробой изоляции.

### **ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD CHARACTERISTICS IN POWER CABLES AND CONNECTING COUPLINGS FOR SUBMERSIBLE OIL PRODUCING SYSTEMS**

**D. I. Zalizny, D. G. Krol, Yu. A. Rudchenko, D. V. Suchkov**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The influence of the electric field on the breakdown of cable boxes used in the power supply systems of submersible pumps at oil-producing stations of the Belorusneft has been studied. The pictures*

*of the field strength in the cable box in the longitudinal and transverse directions are obtained.*

**Keywords:** oil producing station, submersible system, power cable, coupling, electric field, insulation breakdown.

В Республике Беларусь предприятиями ОАО «Белоруснефть» осуществляется добыча нефти в скважинах глубиной около 3 км. При этом периодически возникают нарушения в работе электрической части погружных систем, что приводит к остановке станции и соответственно к материальному ущербу для ОАО «Белоруснефть». Одними из самых распространенных видов отказов являются короткие замыкания в силовых кабелях вблизи соединительных муфт. Причины этих отказов точно не известны, и указанная проблема существует уже много лет.

В научной литературе постоянно рассматриваются результаты исследований по тематике отказов кабельных муфт. Так, в [1] основными причинами отказов соединительных муфт указаны ошибки персонала в процессе монтажа муфт и влияние частичных разрядов. В [2] предлагается применять слои усиливающей изоляции для снижения локальной напряженности поля в кабелях на напряжение 110 кВ.

В [3] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований гармонического состава напряжений и токов в силовых кабелях погружных систем ОАО «Белоруснефть». Для обследуемой станции эти результаты показали, что существенных искажений кривых напряжений и токов, способных оказать критическое влияние на работу муфты, нет.

Цель исследований – определение уровня напряженности электрического поля вблизи соединительной муфты погружной системы нефтедобывающей станции и его влияния на целостность изоляции.

Схема электроснабжения погружных насосов нефтедобывающих станций ОАО «Белоруснефть» состоит из последовательно соединенных преобразователя частоты, частотного фильтра, трехфазного повышающего трансформатора, силового кабеля марки КППБП-120 3х16, соединительной муфты и кабельного удлинителя, каждая жила которого заключена в свинцовый экран. Значение напряжения, подаваемого на силовой кабель, составляет около 1 кВ, частота напряжения может изменяться от 40 до 60 Гц. Нейтраль силового трансформатора изолирована от земли, а броня силового кабеля заземлена.

В лабораторных условиях кафедры «Электроснабжение» была собрана испытательная установка, состоящая из трех однофазных повышающих трансформаторов, соединенных в схему трехфазного трансформатора.

Трехфазная система напряжений с линейным значением около 2 кВ (в реальных условиях в скважине – около 1 кВ) подавалась на исследуемые образцы кабелей и соединительных муфт. Для измерения напряженности электрического поля применялся прибор ПЗ-50.

Получены следующие результаты измерений.

На поверхности заземленной брони напряженность электрического поля (далее – просто поля) составила около 0,1 кВ/м, т. е. практически отсутствовала.

Для исследования формы и значений поля внутри кабеля были выполнены измерения непосредственно на поверхности его изоляции при снятой броне.

Измерения выполнялись для кабелей марки КППБП-120 3х16 двух разных производителей. Результаты измерений были практически одинаковыми для обоих кабелей. Характерная полученная картина поля вокруг кабеля показана на рис. 1.

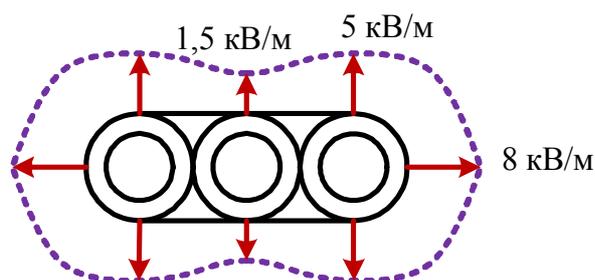


Рис. 1. Характерная картина электрического поля вблизи изоляции кабеля КПнБП-120 3 × 16

Поскольку кабель имеет плоское расположение жил, напряженность поля вокруг его изоляции неравномерна. Она минимальна в центре средней жилы и максимальна по краям кабеля. Абсолютные значения напряженности поля не превысили 11 кВ/м, что является пренебрежимо малым значением для новой изоляции из сополимера пропилена, нормируемая электрическая прочность которого составляет не менее 35000 кВ/м (35 кВ/мм).

Для исследований на кафедру «Электроснабжение» были предоставлены два образца отрезков мест соединения силового кабеля и кабельного удлинителя длиной около 60 см. Один образец был новым, а второй – после извлечения из скважины. Конструкция имеющихся образцов показана на рис. 2.

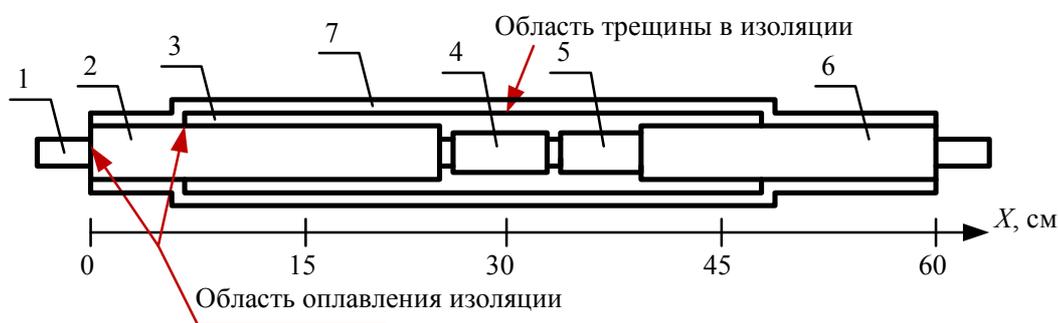


Рис. 2. Конструкция образца с соединительной муфтой:

- 1 – жила кабеля; 2 – изоляция жилы кабеля; 3 – изоляция соединительной муфты; 4 – соединительная гильза; 5 – изоляция кабельного удлинителя; 6 – броня на жилах кабельного удлинителя; 7 – поясная броня

Изоляция соединительной муфты состоит из двух слоев: фторопластовая лента (многослойная намотка) и стандартная ПВХ-изолянта (несколько слоев намотки).

При осмотре отработавшего образца выявлены следующие особенности: слой ПВХ-изолянта практически полностью разрушен; на фторопластовой изоляции в области соединительной гильзы на крайней жиле имеется сквозная трещина, а на других жилах – повреждения этой изоляции в той же области; в месте обрыва изоляции кабеля при переходе на соединительную гильзу изоляция намотана неравномерно; изоляция кабеля серьезно оплавлена, начиная с места окончания намотки фторопластовой ленты; в соединительной гильзе с одной стороны видно разуплотнение с проникшими туда загрязнениями.

С помощью прибора ПЗ-50 получены графики изменения напряженности поля вдоль оси  $X$ , показанной на рис. 2. Наибольшая напряженность поля наблюдалась при размещении оси диполя датчика электрического поля перпендикулярно оси муфты и вертикально вплотную к краю кабеля. Результаты измерений для данного случая приведены на рис. 3.

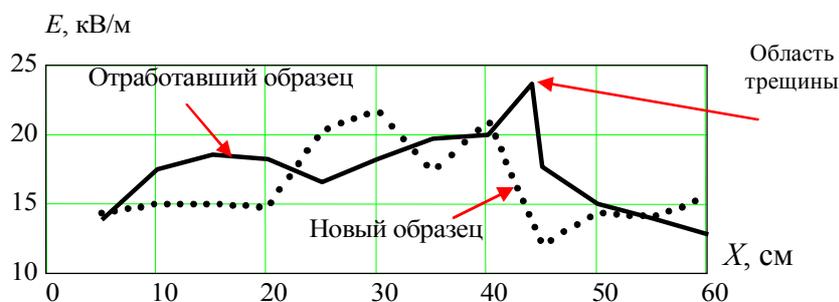


Рис. 3. График напряженности электрического поля вдоль места соединения силового кабеля и кабельного удлинителя

В процессе исследований выяснилось, что на результаты измерений существенно влияла толщина изоляции муфты, изменявшаяся неравномерно. По этой причине методическая погрешность измерений достаточно высока. Тем не менее выявлена тенденция некоторого повышения напряженности поля вблизи соединительной гильзы и максимального его значения в области обнаруженной трещины. Абсолютные значения напряженности поля крайне малы даже при испытательном напряжении 2 кВ. При напряжении 1 кВ, которое подается в реальных установках, естественно, значения напряженности поля снизятся приблизительно вдвое.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: получены картины напряженности поля в кабельной муфте в продольном и поперечном направлениях (рис. 1 и 3). Обнаружены дефекты изоляции соединительной муфты кабельной линии после ее работы в нефтедобывающей скважине. Выявлено, что напряженность поля является сопутствующим фактором при развитии пробоев изоляции в кабельных муфтах. С целью определения главного фактора, влияющего на целостность изоляции, требуются дальнейшие исследования соединительных муфт по оценке влияния тепловых процессов, качества монтажа и внешней среды.

#### Литература

1. Кучерявая, И. Н. Причины выхода из строя муфт кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее и высокое напряжение / И. Н. Кучерявая // Гидроэнергетика Украины. – 2017. – № 12. – С. 63–80.
2. Селезнев, Д. А. Применение резистивно-емкостного принципа регулирования электрического поля кабельных муфт на 110 кВ / Д. А. Селезнев, Г. В. Грешняков // Науч.-техн. ведомости СПбПУ. Естеств. и инженер. науки. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 5–14.
3. Влияние преобразователей частоты на изоляцию силовых кабелей нефтедобывающих станций / Д. И. Зализный [и др.] // Энергетика. Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. – 2011. – № 1. – С. 17–23.