

DOI: 10.15593/2499-9873/2022.1.06
УДК 621.315.232

И.Б. Кухарчук

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

АЛГОРИТМЫ ПОИСКА ДОПУСТИМОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЬНОГО КАНАЛА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ

Подавляющее большинство используемых в настоящее время кабельных изделий содержит в своей конструкции полимерные материалы, которые имеют тенденцию к деградации своих физико-электрических свойств со временем. Этот процесс усугубляется при повышении температуры изделия. Конструкция кабельных линий и условия их коллективной прокладки, например в кабельных каналах, затрудняют термический контроль их эксплуатации, при этом условия изолированного канала способствуют подогреву отдельных линий за счет соседних. Существующие инженерные методики для расчета температуры кабеля, указанные в ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009, не позволяют учесть все особенности конкретного кабельного сооружения. Поэтому весьма актуальной является задача быстрой и точной оценки термического состояния всех полимерных элементов линий, проложенных в канале.

В работе рассматривается возможность замены непосредственного наблюдения за тепловым полем кабельного канала на его эквивалентную математическую модель, способную определять устойчивые стационарные распределения температур при заданных токовых нагрузках линий. Подобная модель, помимо скорости нахождения искомых параметров, имеет такое преимущество перед реальной линией, как возможность оценить внутреннее поле температур кабеля без нарушения целостности его конструкции.

С применением математической модели в работе предлагается проводить анализ термического состояния канала, сравнивая температуры элементов кабельных линий с заранее заданной уставкой. При обнаружении факта превышения уставки запускается алгоритм выбора такой комбинации токовых нагрузок, при которой температуры элементов линий не превысят заданного значения. Дополнительным критерием подбора режима является минимальное уменьшение токов по сравнению с их исходным значением. Предложенные в работе алгоритмы универсальны и могут использоваться для каналов различной конструкции и с разным количеством линий, а также при анализе работы подобных инженерных конструкций, например, вентиляционных каналов с транзитными линиями систем кондиционирования, трубопроводов подачи горячих жидкостей и газов.

Разработанные алгоритмы функционально подходят для создания специализированного ПО, работающего в режиме советчика оператора распределительного узла электроэнергетики. ПО призвано предварительно оценивать любое изменение нагрузок линий, проверяя возможные перегревы и выдавая оператору либо одобрение режима, либо предлагая безопасный для длительной эксплуатации вариант.

Ключевые слова: кабельный канал, тепловое поле, токовые нагрузки, нагрев линий, математическая модель, управление нагрузкой, допустимый режим, алгоритм поиска решения, выборка по заданным критериям, система помощи принятия решения.

I.B. Kukharchuk

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ALGORITHMS FOR SEARCHING FOR AN ACCEPTABLE OPERATING MODE OF A CABLE CHANNEL BASED ON AN ASSESSMENT OF ITS TEMPERATURE STATE

The great majority of currently used cable products contain polymer materials in their construction, which tend to degrade their physical and electrical properties over time. This process is aggravated when the temperature of the product increases. The design of cable lines and the conditions of their collective laying, for example, in cable channels, complicate the thermal control of their operation, while the conditions of an isolated channel contribute to the heating of individual lines at the expense of neighboring ones. The existing engineering methods for calculating the cable temperature specified in IEC 60287-1-1-2009 do not allow taking into account all the features of a particular cable structure. Therefore, the task of a quick and accurate assessment of the thermal state of all polymer elements of the lines laid in the channel is very urgent.

The paper considers the possibility of replacing direct observation of the thermal field of a cable channel with its equivalent mathematical model capable of determining stable stationary temperature distributions at given current loads of lines. Such a model, in addition to the speed of finding the desired parameters, has such an advantage over a real line as the ability to evaluate the internal temperature field of the cable without violating the integrity of its design.

Using a mathematical model, it is proposed to analyze the thermal state of the channel by comparing the temperatures of the elements of cable lines with a predetermined setpoint. When the fact of exceeding the setpoint is detected, an algorithm is started for selecting such a combination of current loads at which the temperatures of the line elements do not exceed the set value. An additional criterion for selecting the mode is the minimum reduction of currents in comparison with their initial value. The algorithms proposed in this paper are universal and can be used for channels of various designs and with different numbers of lines, as well as for analyzing the operation of similar engineering structures, for example, ventilation ducts with transit lines of air conditioning systems, pipelines for hot liquids and gases.

The developed algorithms are functionally suitable for creating specialized software operating in the mode of an adviser to the operator of an electricity distribution node. The software is designed to pre-evaluate any change in line loads, checking for possible overheating and giving the operator either approval of the mode, or offering a safe option for long-term operation.

Keywords: cable channel, thermal field, current loads, heating of lines, mathematical model, load control, permissible mode, algorithm for finding a solution, sampling according to specified criteria, decision-making assistance system.

Введение

В настоящее время с активным развитием городов и ростом потребности в передаваемой электроэнергии остро встает вопрос о возможности увеличения загрузки эксплуатируемых линий электропередачи, так как реконструкция существующих или прокладка новых кабельных линий требуют больших материальных затрат, а иногда технически неосуществимы [1]. Следовательно, актуальной является задача разработки алгоритмов управления нагрузочным режимом кабельных линий с целью обеспечения безопасной эксплуатации.

Основным фактором, ограничивающим величину рабочего тока, является температура конструктивных элементов кабельной линии [2]. Поэтому процесс её эксплуатации сопряжен с необходимостью контроля температурных условий. Однако непосредственное наблюдение за нагревом линий, расположенных в подземных коллекторах, затруднено [3; 4]. Следовательно, необходимо разработать инструмент для быстрого анализа состояния линий в заданных условиях [5].

Существуют различные способы решения подобной задачи, например, натурные эксперименты, прогностические оценки эксплуатации подобных объектов, различные методы математического моделирования [6–9]. В общем случае кабельный канал можно представить в виде замкнутого объема, содержащего в себе N линий. Преимущество численной реализации задачи тепломассопереноса заключается в том, что она позволяет рассматривать произвольные конфигурации канала с различным геометрическим расположением линий, различным конструктивом и свойствами применяемых материалов.

Математическая реализация схожей задачи была проведена в [10; 11]. В работе [12] показано хорошее соответствие результатов численного моделирования реальному эксперименту, что позволяет использовать подобный подход для экономии материально-временных ресурсов при расчете возможных состояний канала.

Анализ температурного состояния кабельных линий в действующем или перспективном режиме необходим для своевременного предотвращения нагрева изоляции кабелей сверх допустимых температур, что может привести к её преждевременному старению, т.е. ухудшению эксплуатационных свойств всей линии [13; 14]. В случае вероятности возникновения перегревов необходимо определять пути решения опасной ситуации. Одним из решений является изменение токовых нагрузок некоторых линий. В работе предлагается методика, позволяющая проводить подобный анализ состояния канала средствами удаленного контроля и управлять выбором наиболее рационального режима.

Задача поиска допустимого режима эксплуатации кабельного канала

На рис. 1 представлена схема последовательности действий, позволяющая определить допустимый режим работы для определен-

ных условий, удовлетворяющий некоторым критериям. На первом этапе необходимо определить, существует ли возможность перегрева при новых значениях загрузки линий. Если по результатам проверки данный режим может привести к превышению допустимых температур, необходимо выбрать линии, на которых возможно снижение нагрузки для восстановления рабочего режима. Критериями выбора нового режима будет не превышение допустимых температур конструктивными элементами всех линий и минимальное требуемое снижение величины нагрузки.

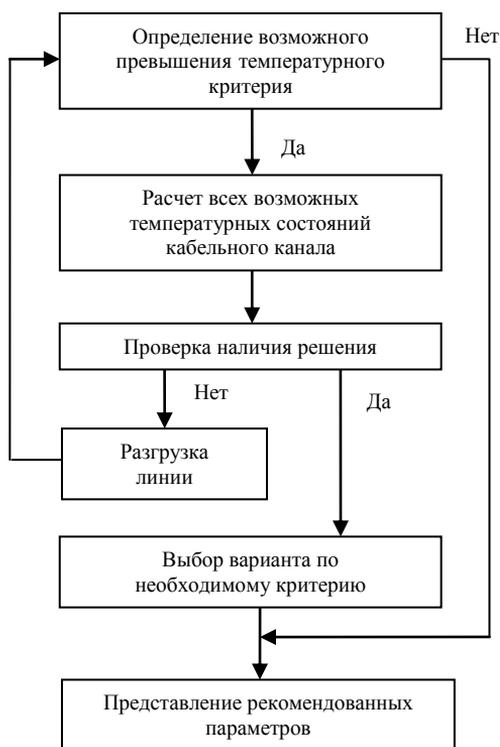


Рис. 1. Схема решения задачи поиска допустимого режима

На первом этапе расчетов необходимо проверить, соответствует ли новый режим требованиям по температуре. Расчет температурного состояния кабельных линий проводится на основании численного моделирования в пакете ANSYS. Алгоритм определения возможных превышений допустимых температур на поверхностях жил представлен на рис. 2. В счетную модель необходимо внести исходные

данные, к которым относятся: количество линий N , нагрузка каждой работающей линии I_{0i} , температурный критерий T_k . Для данных параметров рассчитывается температурное состояние канала. Полученная температура каждой линии T_i сравнивается с T_k . В случае, если заданные нагрузки не приводят к перегреву, они выдаются оператору как допустимые, иначе указываются линии с превышением температур.

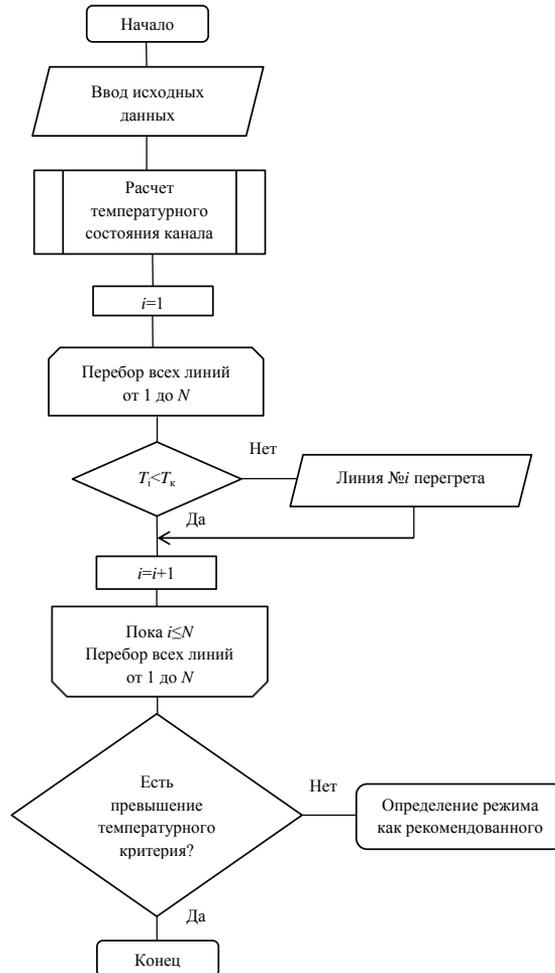


Рис. 2. Алгоритм проверки наличия возможных точек перегрева

В случае, если рассматриваемый новый режим может привести к недопустимым состояниям канала, необходимо определить, на каких линиях и насколько требуется снизить нагрузку, чтобы устранить

чрезмерный нагрев. Каждая линия обладает своим диапазоном регулирования рабочего тока, возможные шаги его понижения, а также минимальное значение. Для определения оптимального варианта воздействий необходимо рассчитать температурные состояния канала для всех возможных сочетаний нагрузок линий.

Если представить дискретный диапазон возможных токов в виде $I_i = I_i^1, I_i^2 \dots I_i^{n_i}$, где I – ток линии, i – номер линии ($i \in [1 : N]$), n_i – количество дискретных значений возможных токов регулировки i -й линии, то можно записать выражение для определения суммарного числа уникальных комбинаций токов N линий:

$$n^N = n_1 \cdot n_2 \dots n_N = \prod_{i=1}^N n_i.$$

Алгоритм расчета всех возможных комбинаций загрузки канала представлен на рис. 3. Исходными данными для приведенного ниже алгоритма являются параметры I_{0i} , N и диапазон возможных токов для каждой линии I_i . Алгоритм содержит N встроенных друг в друга циклов. Внутри цикла происходит расчет каждого возможного температурного состояния канала. Результаты расчетов записываются в массив.

Для удобства работы необходимо определить структуру массива, в котором будут храниться результаты всех возможных решений температур кабельного канала. Он должен включать в себя всю совокупность уникальных решений состояний кабельного канала, рассчитанных для конкретных токовых нагрузок. В каждую отдельную запись целесообразно включать следующие данные:

1. j – порядковый номер вычисления состояния. Он необходим для однозначной идентификации решения и последующей обработки и сортировки результатов ($j \in [1 : n^N]$).

2. T_i – совокупность температур наиболее нагретых элементов изоляции каждой линии. Этот набор температур будет получен в ходе каждого дискретного решения для своего уникального сочетания токов нагрузок линий.

3. I_{0i} – начальные токи линий. Начальные токи каждой из линий берутся до первого цикла расчета при обнаружении факта перегрева.

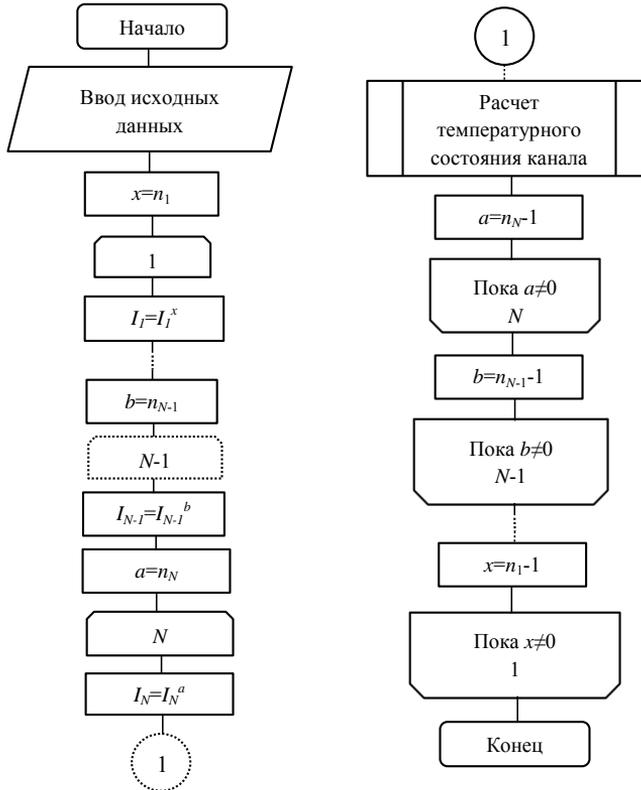


Рис. 3. Алгоритм расчета всех возможных комбинаций

4. I_i – текущие токи, для которых производится j -й расчёт.

5. ΔI_k – суммарное снижение нагрузки для данного расчета, рассчитанное относительно начальных токов.

Таким образом, массив с результатами будет иметь вид:

$$T[J, T_i, I_{0i}, I_i, \Delta I_k, i = 1..N].$$

На следующем этапе необходимо проверить, существует ли такая комбинация рабочих токов, при которой режим будет допустимым. Алгоритм проверки наличия решения представлен на рис. 4. Исходными данными для этого алгоритма являются массив, содержащий совокупность всех решений, полученных на предыдущем шаге, и температурный критерий. В каждом варианте необходимо проверить температурное условие для всех линий. В данном алгоритме T_j – это совокупность температур на всех линиях, соответствующих выбранной комбинации нагрузок. Переменная m вводится для подсчета количества состояний с температурами, превышающими критерий T_k .

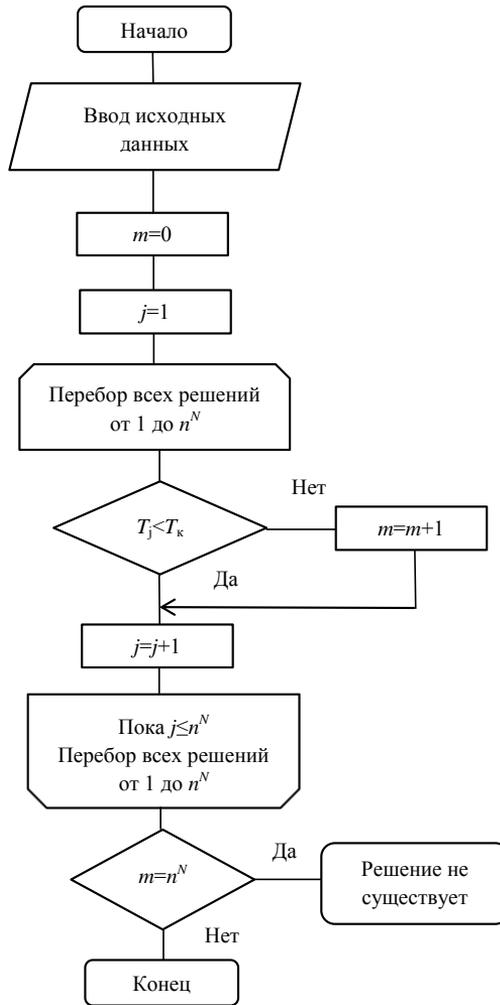


Рис. 4. Алгоритм проверки наличия решения

В случае, когда при всех возможных комбинациях загрузки канала состояние превышения температурного критерия сохраняется, единственным способом недопущения перегрева будет отключение одной или нескольких линий. Данное решение принимает оператор диспетчерской службы.

При нескольких возможных решениях задачи поиска допустимого режима необходимо провести сравнение этих решений и выбрать то, для которого суммарное изменение нагрузок линий будет минимальным. Алгоритм выбора подходящего варианта представлен на рис. 5. Исходными данными для него также являются массив всех

решений и температурный критерий. В ходе сортировки отбрасываются решения, не удовлетворяющие условию температурного ограничения. Оставшиеся решения выстраиваются в порядке критерия сортировки.

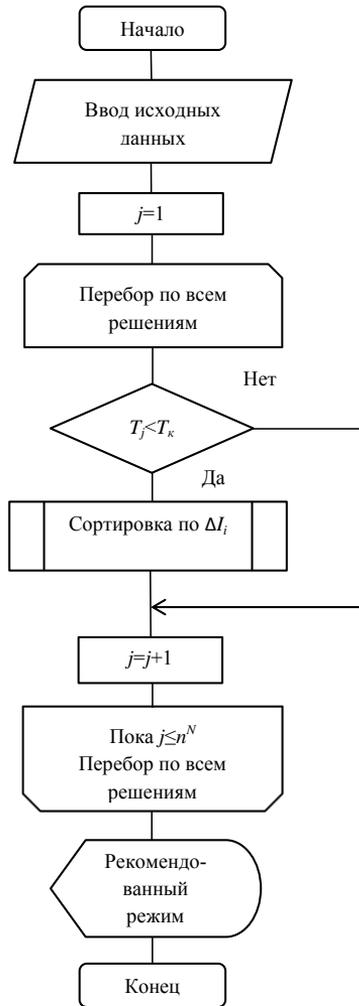


Рис. 5. Алгоритм выбора оптимального решения

В случае наличия хотя бы одного решения, удовлетворяющего температурному критерию, оператору предоставляются параметры рационального режима.

В ходе практической реализации предложенных в работе алгоритмов было обнаружено, что численная реализация конкретной задачи тепломассопереноса с использованием пакета ANSYS занимает

продолжительное время, что существенно замедляет и усложняет расчеты и не позволяет использовать предлагаемые подходы для оперативного управления. Поэтому была предложена компактная и быстро реализуемая модель на основе полиномов [15].

Заключение

Предлагаемая в работе методика может быть интегрирована в систему контроля работы линий электропередачи. Рассмотренные алгоритмы подходят для кабельных сооружений различных конструкций и могут быть практически реализованы в виде отдельного программного приложения. Внедрение подобных продуктов в систему мониторинга состояния кабельных линий способствует развитию цифровизации электроэнергетических систем.

Список литературы

1. Анищенко В.А., Гороховик И.В. Влияние перегрузочной способности маслонаполненных трансформаторов на пропускную способность электрической сети // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 310–320. DOI 10.21122/1029-7448-2018-61-4-310-320.
2. Багаутдинов И.З., Кувшинов Н.Е. Преимущества применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена // Инновационная наука. – 2016. – № 3–3. – С. 51–53.
3. Удовиченко О.В. Температурный мониторинг кабельных линий высокого напряжения на основе кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена // Линии электропередачи 2008: проектирование, строительство опыт эксплуатации и научно-технический прогресс: материалы III Российской научн.-практ. конф. с международным участием. – Новосибирск, 2008. – С. 301–304.
4. Real Time Monitoring of Power Cables by Fibre Optic Technologies. Tests, Applications and Outlook / G.J. Anders, J.-M. Braun, A. Downes John, N. Fujimoto, M.-H. Luton, S. Rizzetto // 6th International Conference on Insulated Power Cables (JiCable'03). – Paris, 2003.
5. Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. Алгоритм обучения искусственной нейронной сети факторного прогнозирования ресурса изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 2(219). – С. 59–73. DOI 10.18522/2311-3103-2021-2-59-73.
6. Лебедев В.Д., Зайцев Е.С. Алгоритм оценки температуры жилы однофазных высоковольтных кабелей с СПЭ изоляцией в режиме реального времени // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI Международной

научно-технической конференции, Иваново, 09–13 ноября 2015 года. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. – С. 95–100.

7. Программа моделирования температуры провода и потерь мощности на основе учета режимных и атмосферных факторов / А.Б. Баламетов, Э.Д. Халилов, М.П. Байрамов, К.А. Агаханова // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, №2. – С. 396–402. DOI: 10.15827/0236-235X.031.2.396-402.

8. Зализный Д.И., Широков О.Г. Адаптивная математическая модель тепловых процессов трехжильного силового кабеля // Вестник Гомельского государственного технического университета им П.О. Сухого. Электротехника и энергетика. – 2014. – № 2. – С. 51–63.

9. Comparison of Finite-Element and IEC Methods for Cable Thermal Analysis under Various Operating Environments / M.S. Baazzim, M.S. Al-Saud, M.A. El-Kady // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. – 2014. – Vol. 8, № 3. – P. 484–489.

10. Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б., Феофилова Н.В. Расчет теплового поля кабельного канала с учетом тепловых потерь в экранах кабелей // Вестник ПНИПУ. Электротехника. – 2018. – № 28. – С. 179–193.

11. Труфанова Н.М., Кухарчук И.Б. Оценка работоспособности кабельного канала на основе численного моделирования процессов термодинамики // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 35. – С. 30–42. DOI 10.15593/2224-9397/2020.3.02.

12. Кухарчук И.Б., Терлыч А.Е., Труфанова Н.М. Экспериментальное определение тока нагрузки кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в установившемся тепловом режиме // Электротехника. – 2021. – №11. – С. 19–23.

13. Олексюк И.В. Старение изоляции из сшитого полиэтилена кабельных линий // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, №2. – С. 121–129.

14. Исследование процесса старения СПЭ-изоляции кабелей под воздействием температуры / Д.А. Поляков, К.И. Никитин, Д.А. Юрчук, Г.А. Кошук // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной научно-технической конференции, Самара, 02–06 октября 2017 г. – Самара: Самарский государственный технический университет. – С. 261–264.

15. Труфанова Н.М., Казаков А.В., Кухарчук И.Б. Подходы к представлению зависимости температур кабельных линий в канале от их загрузки в виде параметрической модели // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – №40. – С. 61–75.

References

1. Anishchenko V.A., Gorokhovik I.V. Vliianie peregruzochnoi sposobnosti maslonapolnennykh transformatorov na propusknuuiu sposobnost' elektricheskoi seti [The effect of the overload capacity of oil-filled transformers on the capacity of the electrical network]. *Energetika. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG*, 2018, vol. 61, no. 4, pp. 310–320. DOI 10.21122/1029-7448-2018-61-4-310-320.
2. Bagautdinov I.Z., Kuvshinov N.E. Preimushchestva primeneniia kabelei s izoliatsiei iz sshitogo polietilena [Advantages of using cables with cross-linked polyethylene insulation]. *Innovatsionnaia nauka*, 2016, no. 3–3, pp. 51–53.
3. Udovichenko O.V. Temperaturnyi monitoring kabel'nykh linii vysokogo napriazheniia na osnove kabelei s izoliatsiei iz sshitogo polietilena [Temperature monitoring of high voltage cable lines based on cables with cross-linked polyethylene insulation]. *Linii elektroperedachi 2008: proektirovanie, stroitel'stvo opyt ekspluatatsii i nauchno-tekhnicheskii progress: materialy III Rossiiskoi nauchn.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. Novosibirsk, 2008, pp. 301–304.
4. Anders G.J., Braun J.-M., Downes John A., Fujimoto N., Luton M.-H., Rizzetto S. Real Time Monitoring of Power Cables by Fibre Optic Technologies. Tests, Applications and Outlook . 6th International Conference on Insulated Power Cables (JiCable'03), Paris, 2003.
5. Poluianovich N.K., Dubiago M.N. Algoritm obucheniia iskusstvennoi neironnoi seti faktornogo prognozirovaniia resursa izoliatsionnykh materialov silovykh kabel'nykh linii [Algorithm for training an artificial neural network for factor prediction of the resource of insulating materials of power cable lines]. *Izvestiia IuFU. Tekhnicheskie nauk*, 2021, no. 2(219), pp. 59–73. DOI 10.18522/2311-3103-2021-2-59-73.
6. Lebedev V.D., Zaitsev E.S. Algoritm otsenki temperatury zhily odnofaznykh vysokovol'tnykh kabelei s SPE izoliatsiei v rezhime real'nogo vremeni [Algorithm for estimating the core temperature of single-phase high-voltage cables with SPE insulation in real time]. *Elektroenergetika glazami molodezhi : trudy VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, Ivanovo, 09–13 noiabria 2015, Ivanovo: Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet im. V.I. Lenina, pp. 95–100.
7. Balametov A.B., Khalilov E.D., Bairamov M.P., Agakhanova K.A. Programma modelirovaniia temperatury provoda i poter' moshchnosti na osnove ucheta rezhimnykh i atmosferynykh faktorov [A program for modeling wire temperature and power losses based on the consideration of regime and atmospheric factors]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2018, vol. 31, no.2, pp. 396–402. DOI: 10.15827/0236-235X.031.2.396-402.
8. Zaliznyi D.I., Shirokov O.G. Adaptivnaia matematicheskaia model' teplovykh protsessov trekhzhil'nogo silovogo kabelia [Adaptive mathematical model of thermal processes of a three-core power cable]. *Vestnik Gomel'skogo*

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im P.O. Sukhogo. Elektrotehnika i energetika, 2014, no. 2, pp. 51–63.

9. Baazzim M.S., Al-Saud M.S., El-Kady M.A. Comparison of Finite-Element and IEC Methods for Cable Thermal Analysis under Various Operating Environments. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 484–489.

10. Trufanova N.M., Kukharchuk I.B., Feofilova N.V. Raschet teplovogo polia kabel'nogo kanala s uchetom teplovykh poter' v ekranakh kabelei [Calculation of the thermal field of the cable channel taking into account the heat losses in the cable screens]. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika*, 2018, no. 28, pp.179–193.

11. Trufanova N.M., Kukharchuk I.B. Otsenka rabotosposobnosti kabel'nogo kanala na osnove chislenного modelirovaniia protsessov termodinamiki [Evaluation of cable channel operability based on numerical modeling of thermodynamic processes]. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2020, no. 35, pp. 30-42. DOI 10.15593/2224-9397/2020.3.02.

12. Kukharchuk I.B., Terlych A.E., Trufanova N.M. Eksperimental'noe opredelenie toka nagruzki kabelei s bumazhnoi propitannoi izoliatsiei v ustanovivshemsia teplovom rezhime [Experimental determination of the load current of cables with paper impregnated insulation in a steady-state thermal regime]. *Elektrotehnika*, 2021,–no.11,–pp. 19–23.

13. Oleksiuk I.V. Starenie izoliatsii iz sshitogo polietilena kabel'nykh linii [Aging of cross-linked polyethylene insulation of cable lines]. *Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenii i energ. ob"edinenii SNG*, 2021, vol. 64, no.2, pp 121–129.

14. Poliakov D.A., Nikitin K.I., Iurchuk D.A., Koshechuk G.A. Issledovanie protsessa stareniiia SPE-izoliatsii kabelei pod vozdeistviem temperatury [Investigation of the aging process of SPE insulation of cables under the influence of temperature]. *Elektroenergetika glazami molodezhi – 2017: materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, Samara, 02–06 oktiabria 2017, Samara: Samarskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, pp. 261–264.

15. Trufanova N.M., Kazakov A.V., Kukharchuk I.B. Podkhody k predstavleniiu zavisimosti temperatur kabel'nykh linii v kanale ot ikh zagruzki v vide parametricheskoi modeli [Approaches to the representation of the temperature dependence of cable lines in the channel on their loading in the form of a parametric model]. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2021, no.40, pp. 61–75.

Статья получена: 12.02.2022

Статья одобрена: 28.02.2022

Принята к публикации: 18.03.2022

Финансирование. *Исследование не имело спонсорской поддержки.*

Конфликт интересов. *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Сведения об авторе

Кухарчук Ирина Борисовна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: kuharchuk_ib@mail.ru)

About the author

Irina B. Kukharchuk (Perm, Russian Federation) – senior lecturer of the Department of Designing and technology in electrical equipment, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, e-mail: kuharchuk_ib@mail.ru).

Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018:

Кухарчук, И. Б. Алгоритмы поиска допустимого режима эксплуатации кабельного канала на основе оценки его температурного состояния / И. Б. Кухарчук. – DOI 10.15593/2499-9873/2022.1.06. – Текст: непосредственный // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 1. – С. 109–122.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Кухарчук, И. Б. Алгоритмы поиска допустимого режима эксплуатации кабельного канала на основе оценки его температурного состояния / И. Б. Кухарчук // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 1. – С. 109–122. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.1.06

Цитирование статьи в references и международных изданиях:

Cite this article as:

Kukharchuk I.B. Algorithms for searching for an acceptable operating mode of a cable channel based on an assessment of its temperature state. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2021, no. 1, pp. 109–122. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.1.06 (*in Russian*).