

DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.04

УДК 51-74

**И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИЕЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ**

Рассмотрена задача управления линией непрерывной вулканизации изоляции кабеля. Разработана осесимметричная математическая модель технологического процесса вулканизации резиновой изоляции силового кабеля. Модель описывает процесс теплообмена внутри вулканизационной трубы и кинетику процесса вулканизации внутри изоляции.

Представленная математическая модель основана на законе сохранения энергии и представлена в виде системы дифференциальных уравнений, замкнутых граничными условиями. Математическая модель позволяет оценить влияние различных технологических и конструктивных параметров на распределение температуры по радиусу и длине кабеля. На базе кривых распределения температуры рассчитывается степень завершенности вулканизации изоляции кабеля.

Исследование вулканизационных свойств сшиваемых композиций проводилось при помощи ротационного реометра, где образцы сшиваемого материала подвергались осциллирующей нагрузке при разной температуре. В результате эксперимента было получено семейство кривых зависимости крутящего момента от времени выдержки при разных температурах. Для описания кинетики процесса вулканизации используется параметрическое выражение, основанное на экспериментально полученных зависимостях крутящего момента от времени выдержки при различных температурах. Полученная температурная зависимость коэффициентов параметрического выражения позволяет описывать процесс вулканизации с учетом неравномерного распределения температуры по радиусу и длине кабеля.

Таким образом, при помощи разработанной модели можно рассчитать скорость, при которой степень завершенности вулканизации достигнет заданной величины.

На основе математической модели предложены алгоритмы расчета и коррекции скорости линии и расхода экструдера. Представленные алгоритмы позволяют определить величины скорости и расхода экструдера для различных: конструкций кабеля, материалов изоляции, нестандартных режимов работы производственной линии.

Результаты работы можно использовать на предприятиях, занимающихся производством кабельно-проводниковой продукции со сшиваемой изоляцией.

**Ключевые слова:** вулканизация, сшивка, линия непрерывной вулканизации, изоляция, кабель, полимер, резина, математическое моделирование, теплообмен, технологический процесс, алгоритмы управления.

## **I.Ya. Diatlov, N.M. Trufanova**

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

# **POWER CABLE INSULATION PRODUCTION LINE CONTROL**

The paper considers the problem of control the cable insulation continuous vulcanization line. The axisymmetric mathematical model of the power cable rubber insulation vulcanization technological process has been developed. The model describes the heat transfer process inside the vulcanization pipe and the vulcanization process kinetics inside the insulation.

The mathematical model is based on the energy conservation equation and it is presented in the form of a differential equations system closed by boundary conditions. The mathematical model makes it possible to estimate the influence of various technological and design parameters on the temperature distribution along the radius and length of the cable. Based on the temperature distribution curves, the cable insulation vulcanization degree is calculated.

The study of the raw rubber compositions vulcanization properties was carried out by rotary rheometer, where the samples of the material were subjected to an oscillating load at different temperatures. As a result of the experiment, the curves family of the torque dependence on the curing time at different temperatures was obtained. To describe the vulcanization process kinetics, a parametric expression is used based on the experimentally obtained torque dependences. The obtained temperature dependence of the parametric expression coefficients makes it possible to describe the vulcanization process taking into account the uneven temperature distribution along the cable radius and length.

The developed model makes it possible to calculate the speed at which the vulcanization degree reaches a given value.

Algorithms for calculating and correcting line speed and extruder flow rate are proposed on the basis of a mathematical model. It allows us to determine the speed and flow rate of the extruder for various: cable designs, insulation materials, abnormal operating conditions of the production line. The results can be used at enterprises engaged in the production of cable and wire products with cross linked insulation. In cases where it is required to quickly calculate a new technological mode, make changes to the cable design, change the insulation material, and also take into account possible pressure drops inside the vulcanization pipe and deviations in the cable properties during the production process.

**Keywords:** vulcanization, curing, continuous vulcanization line, insulation, cable, polymer, rubber, mathematical model, heat transfer, technological process, control algorithms.

## **Введение**

Кабели со сшиваемой резиновой изоляцией используются при электроснабжении в разных областях: строительная техника, шахтное оборудование, подвижные установки и т.д. Продолжительность службы силовых кабелей с вулканизированной изоляцией определяется условиями эксплуатации, удачностью конструкции кабеля, качеством изоляционных покровов [1]<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> ГОСТР54547–2011. Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безроторных реометров.

На качество изоляционных покровов влияет несколько факторов: качество сырья, рецептура резиновой смеси, характеристики производственной линии, а в наибольшей степени – степень завершенности вулканизации изоляции и правильность технологических параметров.

При производстве кабелей с вулканизированной изоляцией часто возникает проблема выбора технологического режима [2, 3] из-за нестационарного давления пара в вулканизационной трубе, что обусловлено резкими перепадами при запуске соседних линий вулканизации. Аналогичный вопрос возникает при запуске в производство новых марок, с измененной толщиной изоляции или сечением токопроводящей жилы (ТПЖ), а также при смене рецептуры и материала резиновой смеси.

Процесс вулканизации начинается при нагреве изоляции выше 140 °С, скорость процесса значительно зависит от температуры [4–8]. Нагрев происходит неравномерно в радиальном направлении, поэтому наружные слои изоляции достигают максимальной температуры значительно раньше слоев вблизи ТПЖ. Исходя из этого, при расчете технологического режима важно подобрать такую скорость перемещения заготовки, при которой внутренние слои на выходе из вулканизационной трубы имели бы достаточную степень сшивки.

Для расчета оптимальных технологических параметров необходимо учесть несколько факторов: вулканизационные свойства резиновой смеси [9–12], теплофизические процессы, происходящие внутри вулканизационной трубы.

Для получения вулканизационных характеристик используется метод, описанный в работе [13], где после серии реологических испытаний резиновой смеси получено семейство кривых зависимости степени завершенности процесса вулканизации от времени при разных температурах. Результаты эксперимента преобразованы в параметрическое уравнение, позволяющее вычислять итоговую степень завершенности процесса при известной кривой нагрева слоя изоляции [14].

## **1. Математическая модель**

Разработана математическая модель процессов теплообмена внутри вулканизационной трубы, которая применяется для анализа влияния технологических параметров (скорость, размер заготовки, давление пара, начальные температуры ТПЖ и изоляции) на распределение температуры по длине заготовки.

Допущения:

- наклонная геометрия вулканизационной трубы заменена на горизонтальную;
- материал заготовки имеет постоянные теплофизические свойства;
- реализуется условие идеального теплового контакта на границе раздела токопроводящей жилы и изоляции.

Задача решается в осесимметричной постановке. Схематичное изображение исследуемой области приведено на рис. 1.

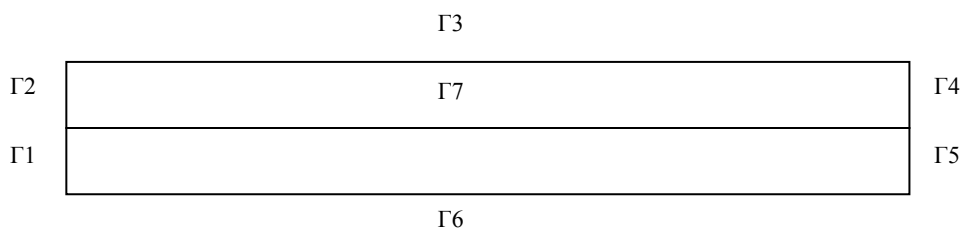


Рис. 1. Схематичное изображение исследуемой области

На входе ТПЖ Г1 и изоляции Г2 в вулканизационную трубу задается их начальная температура. На поверхности изолированной заготовки Г3 задается условие конвективного теплообмена. На выходе ТПЖ Г4 и изоляции Г5 задается условие адиабатического теплообмена. На оси ТПЖ Г6 задается ось симметрии, на поверхности ТПЖ Г7 – условие идеального теплового контакта. Заготовка движется со скоростью  $V$ .

С учетом сделанных допущений система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} c_{из} \rho_{из} v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda_{из} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right); \\ c_{тпж} \rho_{тпж} v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda_{тпж} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \end{cases}$$

В результате решения задачи теплообмена рассчитывается распределение температуры по длине и радиусу заготовки (рис. 2).

Рассчитывается степень завершенности процесса вулканизации внутреннего слоя на основе экспериментальных данных и регрессионного выражения (см. рис. 2, б).

Разработанная математическая модель позволяет оценить влияние на степень завершенности вулканизации различных факторов: конструктивных размеров кабеля, температуры среды вулканизации (давление в вулканизационной трубе), теплофизических характеристик жилы и изоляции кабеля, вулканизационных параметров материала изоляции, линейной скорости кабеля.

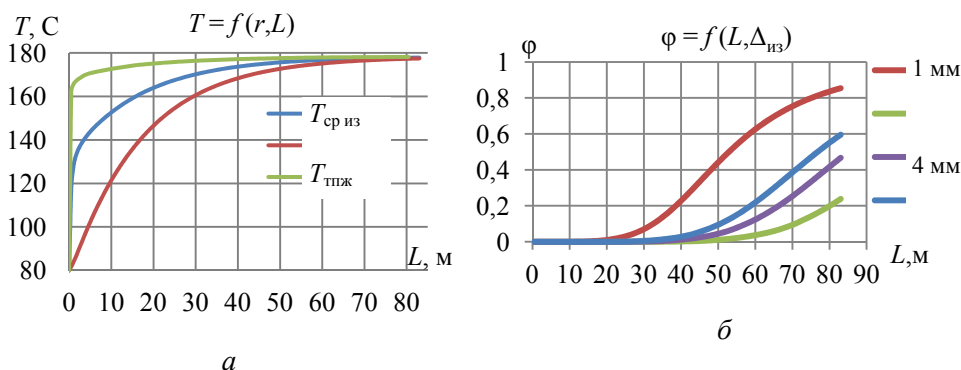


Рис. 2. Распределение: *a* – температуры внутри заготовки; *б* – степени завершенности вулканизации внутреннего слоя

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет анализировать процесс вулканизации и определять необходимые параметры технологического режима для новых конструкций кабеля и материалов изоляции с новыми свойствами или в случае перехода к нестандартным технологическим параметрам процесса. Последнее возникает при необходимости производства одновременно на двух и более линиях, что приводит к существенному падению давления в вулканизационной трубе.

## 2. Алгоритм управления

Необходимость в управлении процессом вулканизации [15] обусловлена, во-первых, широким разнообразием номенклатуры выпускаемых кабельных изделий, для каждого из которых задается свой технологический режим; во-вторых, нестандартными изменениями технологических параметров, например при падении давления пара, в-третьих, разработкой новых конструкций кабеля и использованием альтернативных материалов.

Для решения задачи управления процессом вулканизации полимерной изоляции с целью получения продукта с заданными свойствами был разработан алгоритм поиска технологических параметров.

Рассмотрим технологический процесс вулканизации как объект управления, схематичное изображение приведено на рис. 3.



Рис. 3. Схема процесса вулканизации как объекта управления:

$X$  – собственные параметры;  $Z$  – внешние воздействия;

$Y$  – выходные параметры

Вектор собственных параметров  $\mathbf{X} = \{L, D_{\text{тр}}, D_{\text{ТПЖ}}, D_{\text{из}}, \lambda, C_p, \rho, a, b, c, T_{\text{ТПЖ}}, T_{\text{из}}, P\}$  формируется совокупностью параметров изолированной жилы, геометрических параметров вулканизационной линии и параметров процесса вулканизации: диаметр ТПЖ ( $D_{\text{ТПЖ}}$ ), диаметр по изоляции ( $D_{\text{из}}$ ), теплофизические свойства материалов ТПЖ и изоляции (теплопроводность ( $\lambda$ ), удельная теплоемкость ( $C_p$ ), плотность ( $\rho$ )), кинетические коэффициенты  $a, b, c$ ; длина вулканизационной трубы ( $L$ ) и ее диаметр ( $D_{\text{тр}}$ ); температура ТПЖ ( $T_{\text{ТПЖ}}$ ) и изоляции ( $T_{\text{из}}$ ) на входе в вулканизационную трубу, давление пара в вулканизационной трубе ( $P$ ).

Вектор внешних воздействий  $\mathbf{Z} = \{V, Q\}$  формируется из скорости движения изолированной жилы ( $V$ ) и расхода экструдера ( $Q$ ).

Совокупность всех параметров и воздействий формирует вектор выходного состояния  $\mathbf{Y} = \{\Delta_{\text{из}}, \phi\}$ , состоящий из толщины изоляции ( $\Delta_{\text{из}}$ ) и степени завершенности процесса вулканизации ( $\phi$ ).

Регулирование процесса вулканизации осуществляется изменением линейной скорости кабеля, величина которой определяет время пребывания кабеля в вулканизационной трубе и, следовательно, степень сшивки на выходе из трубы. Регулирование скорости движения связано с изменением расхода экструдера ( $Q$ ), что обеспечивает получение изоляции заданной толщины. Таким образом, вектор управляющих воздействий может быть сформирован следующим образом:  $\mathbf{U} = \{V, Q\}$ .

На управляющие параметры накладываются следующие ограничения:

1. Скорость линии должна быть больше нуля и не может быть больше максимально допустимой скорости для конкретной производственной линии:  $0 < V < V_{\max}$ .

2. Должен обеспечиваться такой расход экструдера, при котором толщина изоляции находилась бы в заданном диапазоне  $\Delta_{\text{из}} = \pm 10\%$ .

Для адаптивного управления линией вулканизации изоляции кабеля предлагается использовать следующий алгоритм (рис. 4):

1. В расчетную модель передаются данные о параметрах объекта управления  $X$ , величины внешних воздействий  $Z$ , возможные отклонения от параметров изолированной жилы  $R$ . С помощью математической модели происходит расчет управляющего воздействия  $U$ .

2. В ходе производства возникают отклонения  $R$  параметров изолированной жилы и давления в вулканизационной трубе, вследствие чего меняются выходные параметры  $Y$ .

3. В ходе производства контролируются следующие величины: диаметр ТПЖ, входная температура ТПЖ, температура на выходе из формующего инструмента, давление пара  $P$ , рассчитываются выходные параметры  $Y$ . Определяется разница величин выходных параметров  $Y$  и эталонных  $Y_{\text{эт}}$ .

4. Величина отклонения  $\Delta Y$  поступает в адаптер, где сравнивается с допустимой величиной отклонения. В случае превышения отклонения от нормы происходит пересчет управляющих воздействий  $U^*$ .

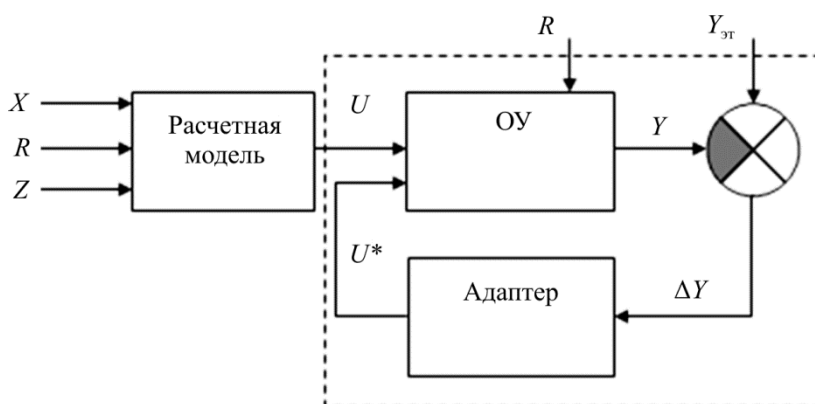


Рис. 4. Схема адаптивного управления

Для расчета линейной скорости используется следующий алгоритм (рис. 5):

1. Производится ввод данных: параметры объекта управления, конструкция кабеля, его теплофизические и вулканизационные свойства, задается минимальная величина степени вулканизации и начальная скорость, равная максимальной.

2. Происходит расчет распределения температуры в поперечном и продольном сечениях.

3. Рассчитывается степень вулканизации внутреннего слоя изоляции кабеля. Если степень вулканизации отличается от заданной, происходит корректировка скорости и возврат к шагу 2.

4. Подбор скорости производят до тех пор, пока степень вулканизации не достигнет заданной величины с определенным допуском.

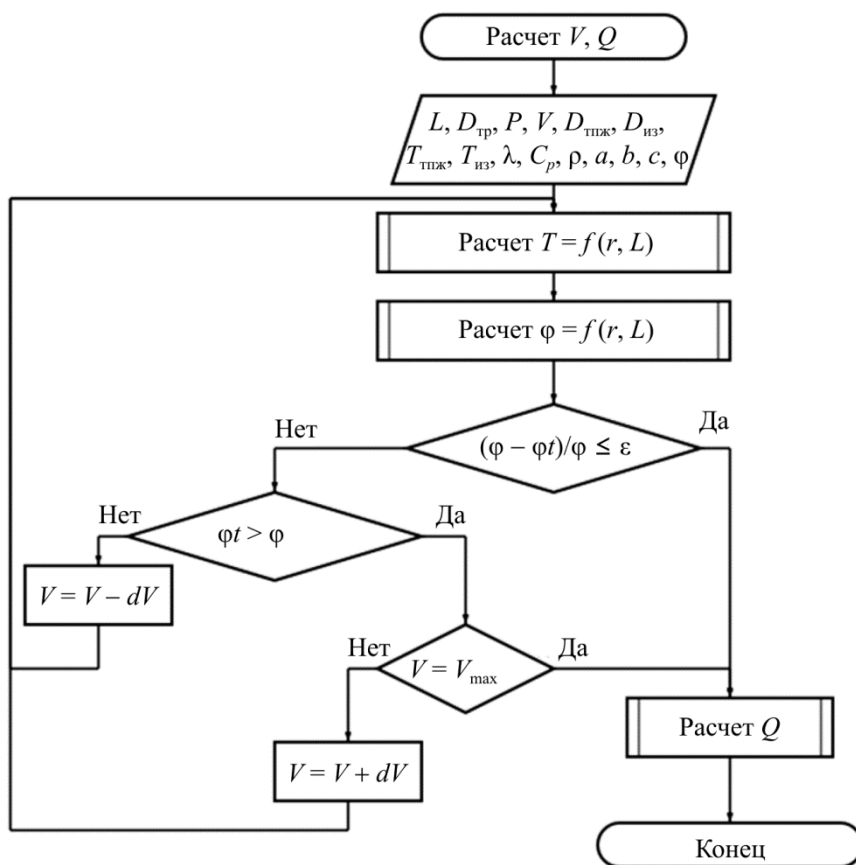


Рис. 5. Алгоритм расчета скорости линии и расхода экструдера

Для адаптивного управления используется следующий алгоритм (рис. 6):



1. Оператор вводит исходные данные: параметры объекта управления, конструкция кабеля, его теплофизические и вулканизационные свойства, задается минимальная величина степени вулканизации и начальная скорость, равная максимальной.

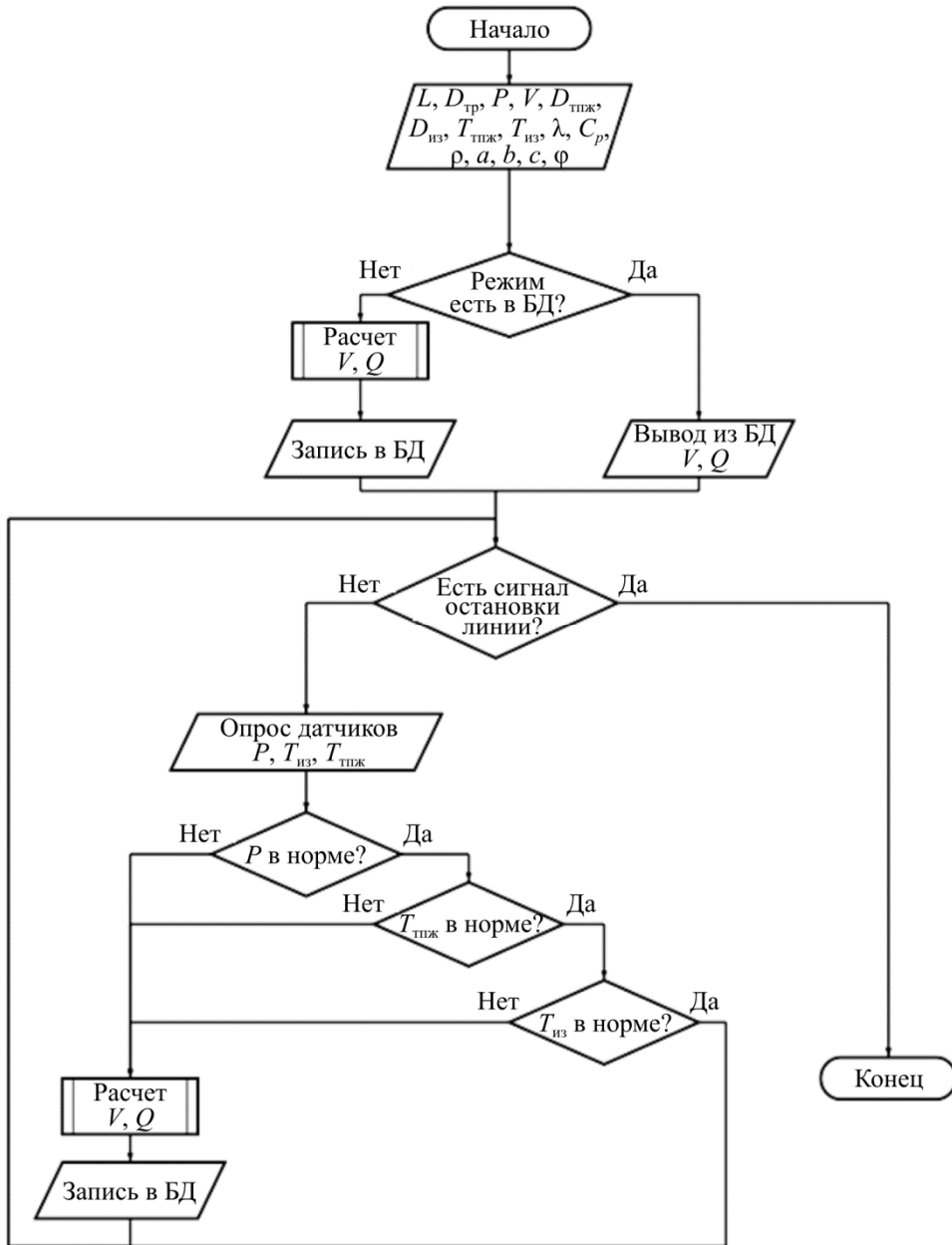


Рис. 6. Алгоритм корректировки скорости линии и расхода экструдера

2. Программа проверяет наличие величин управляющих воздействий для данного набора параметров. В случае их отсутствия происходит расчет скорости линии и расхода экструдера. Режим записывается в базу данных.

3. Периодически происходит опрос датчиков температуры жилы и изоляции, давления в вулканизационной трубе. В случае отклонения параметров от нормы происходит перерасчет скорости и расхода, полученный режим записывается в базу данных.

4. В случае получения команды остановки линии программа завершается.

### **Заключение**

В работе представлена математическая модель процесса вулканизации изоляции кабеля, являющаяся основой алгоритма управления технологическим процессом вулканизации.

Разработанный алгоритм позволяет определить величины управляющих воздействий для обширной номенклатуры маркоразмеров кабельно-проводниковой продукции, скорректировать режим при изменении параметров кабеля либо при нештатном снижении давления внутри вулканизационной трубы.

### **Благодарность**

*Работа подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 20-31-90045).*

### **Список литературы**

1. Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 54547–2011. Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безторных реометров. – М.: Стандартинформ, 2018. – 19 с.
2. Митрохин А.А., Гусев К.Ю., Бурковский В.Л. Модели прогнозирования качества продукции потенциально опасного процесса вулканизации автомобильных шин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 28–33.
3. Ghoreishy M.H.R. A state-of-the-art review on the mathematical modeling and computer simulation of rubber vulcanization process // Iran Polymer Journal. – 2016. – No. 25. – P.89–109.
4. Моделирование кинетики неизотермической вулканизации массивных резиновых изделий / В.И. Молчанов, О.В. Карманова, С.Г. Тихомиров, Ю.В. Пятаков, А.В. Касперович // Труды БГТУ. – 2014. – № 4. – С. 100–104.

5. Иванов С.Д., Гоппе Г.Г., Киргин Д.С. Математическое моделирование технологического процесса вулканизации // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 9. – С. 219–224.
6. Корелин А.А., Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Численное исследование процесса сшивки полиэтилена в вулканизационной трубе в среде азота // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 7. – С. 111–114.
7. Rafei M., Ghoreishy M.H.R, Naderi G. Development of an advanced computer simulation technique for the modeling of rubber curing process // Computational Materials Science. – 2019. – No. 47. – P. 539–547.
8. Erfanian M.-R., Anbarsooz M., Moghiman M. Three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction // Applied Mathematical Modelling. – 2016. – No. 40. – P. 8592–8604.
9. Труфанова Н.М., Пасынков Д.П. Математическая модель и численный анализ процесса вулканизации резиновой изоляции кабелей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 304–307.
10. Mechanistic modeling of reversion phenomenon in Sulphur cured natural rubber vulcanization kinetics / G. Milani, F. Leroy, F.D. Milani, R. Deterre // Polymer Testing. – 2013. – No. 32. – P. 1052–1063.
11. Milani G., Milani F. Iterative robust numerical procedure for the determination of kinetic constants in Han's model for NR cured with sulphur // Journal of Mathematical Chemistry. – 2015. – No. 53. – P. 1363–1379.
12. Milani G., Milani F. Curing degree prediction for S-TBBS-DPG natural rubber by means of a simple numerical model accounting for reversion and linear interaction // Polymer Testing. – 2016. – No. 52. – P. 9–23.
13. Кузнецов А.С., Корнюшко В.Ф. Математические модели реограмм состояния в в программах table curve 2d/3d как основа интеллектуальной системы управления процессами структурирования многокомпонентных эластомерных композитов // Программные продукты и системы / Software & Systems. – 2017. – Т. 30, № 4. – С. 770–777. DOI: 10.15827/0236-235X.030.4.770-777.
14. Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Исследование процесса вулканизации резиновой смеси при помощи ротационного реометра // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 7. – С. 91–94.
15. Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Описание вулканизационных кривых при помощи трехпараметрического уравнения // Электротехника. – 2020. – № 11. – С. 34–38.
16. Milani G., Milani F. Genetic algorithm for the optimization of rubber insulated high voltage power cables production lines // Computers and Chemical Engineering. – 2018. – No. 32. – P. 3198–3212.

## References

1. Natsional'nyi standart Rossiiskoi Federatsii GOST R 54547-2011. Smesi rezinovyie. Opredelenie vulkanizatsionnykh kharakteristik s ispol'zovaniem bezrotornykh reometrov [National standard of the Russian Federation. Rubber compounds. Measurement of vulcanization characteristics using rotorless cure meters]. Moscow, Stroizdat, 2018, 19 p.

2. Mitrokhin A.A., Gusev K.Iu., Burkovskii V.L. Modeli prognozirovaniia kachestva produktsii potentsial'no opasnogo protsessa vulkanizatsii avtomobil'nykh shin [models of forecasting of the quality of products of a potentially hazardous process of automobile tires vulcanization]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 3, pp. 28-33.

3. Ghoreishy M.H.R. A state-of-the-art review on the mathematical modeling and computer simulation of rubber vulcanization process. *Iran Polymer Journal*, 2016, no 25, pp. 89-109.

4. Molchanov V.I., Karmanova O.V., Tihomirov S.G., Pyatakov YU.V., Kasperovich A.V. Modelirovanie kinetiki neizotermicheskoi vulkanizatsii massivnykh rezinovykh izdelii [modeling the kinetics of the non-isothermal vulcanization of massive rubber products]. *Trudy BGTU*, 2014, no. 4, pp.100-104.

5. Ivanov S.D., Goppe G.G., Kirgin D.S. Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa vulkanizatsii [Mathematical modeling of the technological process of vulcanization]. *Proceedings of Irkutsk State Technical University» (Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, 2012, no. 9, pp. 219-224.

6. Korelin A.A., Diatlov I.Ia., Trufanova N.M. Chislennoe issledovanie protsessa sshivki polietilena v vulkanizatsionnoi trube v srede azota [Numerical study of cross-linking of polyethylene in vulcanization tube in a nitrogen environment]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2019, no. 7, pp. 111-114.

7. Rafei M., Ghoreishy M.H.R., Naderi G. Development of an advanced computer simulation technique for the modeling of rubber curing process. *Computational Materials Science*, 2019, no. 47, pp. 539-547.

8. Erfanian M.-R., Anbarsooz M., Moghiman M. Three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction. *Applied Mathematical Modelling*, 2016, no. 40, pp. 8592-8604.

9. Trufanova N.M., Pasyukov D.P. Matematicheskaiia model' i chislennyi analiz protsessa vulkanizatsii rezinovoi izoliatsii kabelei [Mathematical model and numerical analysis of the process of vulcanization of rubber cable insulation]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, №5, 2014, p. 304-307.

10. Milani G., Leroy F., Milani F.D., Deterre R. Mechanistic modeling of reversion phenomenon in sulphur cured natural rubber vulcanization kinetics. *Polymer Testing*, 2013, 32, pp. 1052-1063.

11. Milani G., Milani F. Iterative robust numerical procedure for the determination of kinetic constants in Han's model for NR cured with Sulphur. *Journal of Mathematical Chemistry*, 2015, no. 53, pp. 1363-1379.

12. Milani G., Milani F. Curing degree prediction for S-TBBS-DPG natural rubber by means of a simple numerical model accounting for reversion and linear interaction. *Polymer Testing*, 2016, 52, pp. 9-23.

13. Kuznetsov A.S., Kornushko V.F. Matematicheskie modeli reogramm sostoianiia v programmakh tablecurve 2d/3d kak osnova intellektual'noi sistemy upravleniia protsessami strukturirovaniia mnogokomponentnykh elastomernykh kompozitov [Mathematical models of rheograms of states in table curve 2d/3d programs as a basis of the intelligent system for managing structuring processes of multicomponent elastomer composites]. *Software & Systems*, 2017, vol. 30, no. 4, pp. 770–777. DOI: 10.15827/0236-235X.030.4.770-777.

14. Diatlov I.Ia., Trufanova N.M. Issledovanie protsessa vulkanizatsii rezinovoi smesi pri pomoshchi rotatsionnogo reometra [Investigation of the rubber compound vulcanization process using a rotary rheometer]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2018, no. 7, pp. 91-94.

15. Diatlov I.Ia., Trufanova N.M. Opisanie vulkanizatsionnykh krivyykh pri pomoshchi trekhparametricheskogo uravneniia [Describing vulcanization curves using a three-parameter equation]. *Elektrotehnika*, 2020, no. 11, pp. 34-38.

16. Milani G., Milani F. Genetic algorithm for the optimization of rubber insulated high voltage power cables production lines. *Computers and Chemical Engineering*, 2008, no. 32, pp. 3198-3212.

Статья получена: 16.04.2021

Статья принята: 16.09.2021

### Сведения об авторах

**Дятлов Илья Яковлевич** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: d.i.994@yandex.ru).

**Труфанова Наталия Михайловна** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, завкафедрой «Конструирование и технологии в электротехнике», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: trufanova@pstu.ru).

### About the authors

**Iia Ya. Diatlov** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Design and Technology in Electrical Engineering, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: d.i.994@yandex.ru).

**Natalia M. Trufanova** (Perm, Russian Federation) – Dr.Habil. in Engineering, Professor, Head of the Department of Design and Technology in Electrical Engineering, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: trufanova@pstu.ru).

### Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018:

**Дятлов, И.Я.** Управление производственной линией вулканизации изоляции силового кабеля / И.Я. Дятлов, Н.М. Труфанова. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.04 // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2021. – № 3. – С. 81–94.

### Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Дятлов И.Я., Труфанова Н.М. Управление производственной линией вулканизации изоляции силового кабеля // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 3. – С. 81–94. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.04

### Цитирование статьи в references и международных изданиях

#### Cite this article as:

Bannikov R.Yu. Urban heating system virtual stand under data incomplete conditions. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2021, no. 3, pp. 81-94. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.04