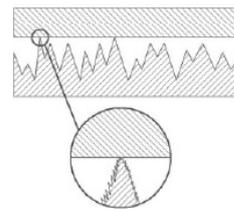


## Качество поверхностного слоя, контактное взаимодействие, трение и износ деталей машин



Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 11 (149). С. 39-48.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 11 (149). P. 39-48.

Научная статья  
УДК 62-1/-9/621.2.082.18  
doi: 10.30987/2223-4608-2023-39-48

### Условия и режимы обработки технологического процесса маслonaполнения полимерных деталей

Владимир Сергеевич Бычковский, аспирант  
Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия  
bikovskii\_vs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5507-2798>

**Аннотация.** На железнодорожном транспорте применяется большое количество полимерных деталей, работающих в сложных условиях, испытывающих на себе недопустимый износ из-за работы в открытых узлах трения с присутствием запылённости и загрязнения без какой-либо жидкостной смазки. Существующие технологии, решающие эту проблему, применяются только при изготовлении самого материала детали, которые влекут за собой изменение эксплуатационных свойств всей детали, но нет технологии, которая будет изменять эксплуатационные свойства только поверхностного слоя. Для решения данной проблемы разрабатывается новый технологический процесс повышения эксплуатационных характеристик готовых полимерных деталей. Данная технология заключается в наполнении масляной смесью их поверхностного слоя на заданную глубину большего допустимого износа. Одним из самых важных этапов разработки данного технологического процесса является определение различных условий и режимов обработки, необходимых для обеспечения параметров технологического процесса. Для решения этой цели в работе сформирована целевая функция двух параметров. В данной работе определены критерии оценивания параметров технологического процесса маслonaполнения. Для определения границ параметров целевой функции выполнены аналитические расчеты и экспериментальные исследования по определению температурных границ применения смеси для наполнения, исходя из температуры ее кипения и испарения гексана из нее. Благодаря определенным начальным и граничным условиям определены рекомендованные режимы для выполнения технологического процесса маслonaполнения. Итогом работы стало определение конкретных границ целевой функции двух параметров и порядок этапов проведения технологического процесса, что позволяет обеспечить его стабильность и производительность.

**Ключевые слова:** маслonaполнение, технологический процесс, режимы обработки, начальные условия, граничные условия, целевая функция

**Для цитирования:** Бычковский В.С. Условия и режимы обработки технологического процесса маслonaполнения полимерных деталей // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 11 (149). С. 39-48. doi: 10.30987/2223-4608-2023-39-48

### Conditions and operating modes of the procedure specification of polymer parts oil-filling process

Vladimir S. Bychkovsky, Ph.D. student  
Irkutsk State University of Railway Communication, Irkutsk, Russia  
bikovskii\_vs@mail.ru

**Abstract.** A large number of polymer parts, used in railway transport, operating in difficult conditions, significantly wear off caused by conditions in open friction units, having dust loading and other contamination without any liquid lubrication. Existing technologies, used for solving this problem, aimed at making just the material of the part, which

*results in a change in the operational properties of the whole part, but there is no technology that will be useful in changing the operational properties of the surface layer itself. In order for a decision to be adopted on, a new procedure specification is being developed to improve the performance characteristics of ready-made polymer parts. This technology consists in filling their surface layer with an oil mixture to a given depth of approved wear. One of the most important stages in the development of this technological process is the determination of various conditions and operating modes necessary to ensure the parameters of this operating procedure. For that purpose, the objective function of two parameters is formed in the work. In this paper, the criteria for evaluating the parameters of the specification procedure of oil filling are determined. The analytical calculations and experimental studies are performed for the boundary delimitation of the parameters and temperature limits for the application of the filling mixture based on the temperature of its boiling and evaporation of hexane. Due to certain initial and boundary conditions, the recommended operating modes for performing the specification procedure of oil filling are determined. The result of the work was the determination of the specific boundaries of the objective function of two parameters and the order of the stages of the procedure, which allows ensuring its stability and performance.*

**Keywords:** oil filling, specification procedure, operating modes, initial conditions, boundary conditions, objective function

**For citation:** Bychkovsky V.S. Conditions and operating modes of the procedure specification of polymer parts oil-filling process / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 11 (149). P. 39–48. doi: 10.30987/2223-4608-2023-39-48

## **Введение**

В машиностроение присутствуют узлы трения с полимерными деталями, работающими в условиях обеднённой или безжидкостной смазки. Данные детали под нагрузкой испытывают значительный износ. Примерами таких деталей могут быть втулки, вкладыши, проставки, прокладки и т. д. Подобные детали, работающие в таких условия, присутствуют в тележках грузовых или пассажирских вагонов на железной дороге. Существующие технологии, повышающие ресурс полимерных деталей, производятся только при изготовлении самого материала, при этом меняются эксплуатационные свойства всей детали.

Увеличение износостойкости (за счет добавления в расплав полимера масла, графита и т. п.), влечет за собой повышение пластичности полимера, а комбинированное решение по добавлению (например, масла и углеволокна) для увеличения жесткости и уменьшения износа, усложняет технологии по их механической обработке [1]. Исходя из этого, возникает необходимость в разработке технологии, которая позволит повысить эксплуатационные свойства только поверхностного слоя, не изменяя свойства всей детали.

Для решение данной проблемы, основываясь на том, что полимеры способны впитывать в себя влагу, например, для полиамида до 10 % [2], и согласно уже существующим технологиям пропитки полимеров для целей:

понижения износа в узлах трения, увеличения жесткости при механической обработке, наполнения краской пористой резины по Flash-технологии для штампов оттисков на бумажных документах [3, 4], возникает возможность в разработке технологии наполнения маслом готовых полимерных деталей на заданную глубину, которая будет выше допустимого износа.

Данный процесс позволит повысить качество поверхностного слоя за счет уменьшения износа, не изменяя эксплуатационные свойства всей детали, работающей в условиях отсутствия внешней жидкостной или какой-либо смазки. Данная технология обеспечит повышение срока межремонтного обслуживания и долговечность маши, имеющие в себе узлы сухого трения или в случаях долгого простоя закрытых узлов с жидкостной смазкой, в которых присутствуют полимерные или композиционные детали. Но для того, чтобы разработать данный технологический процесс наполнения полимерных деталей, необходимо определить его начальные и граничные условия, а также его режимы, необходимые для обеспечения его параметров таких как: стабильность, производительность и качество [5].

## **Материалы и методы**

Для обеспечения установленных параметров технологического процесса необходимо сформировать целевую функцию и определить критерии, по которым они будут

оцениваться [6]. Необходимо учесть, что критерий оценивания должен соответствовать следующим требованиям: иметь определенный физический смысл, иметь численное выражение, быть максимальным или минимальным для советующего параметра. Итак, критерии оценивания и их обеспечивающие факторы параметров технологического процесса:

– критерием оценивания стабильности является минимальное отклонение результатов скорости пропитки и повышение эксплуатационных характеристик поверхностного слоя при одних и тех режимах должно обеспечиваться начальными и граничными условиями, а также выполнение кондиционирования детали, согласно ГОСТ 12423-2013, перед проведением технологического процесса;

– критерием оценивания производительности является скорость пропитки, обеспечиваемая оптимальными параметрами технологического процесса;

– критерием оценивания качества готовой детали является повышение ее эксплуатационных характеристик, обеспечивается также оптимальными режимами проведения процесса маслonaполнения.

Как было выяснено для повышения производительности и качества готовой детали необходимо определить оптимальные режимы. Согласно проведенному литературному исследованию, найден технологический процесс, разработанный авторами [7], заключающийся в термовакуумном наполнении полиамидных образцов моторным маслом М8-В с добавлением в наполнитель гексана с целью повышения скорости и глубины пропитки за счет понижения его вязкости. Данные исследования были взяты за основу разработки нового технологического процесса маслonaполнения полимерных деталей.

В данной работе авторы применяли термовакуумную сушку полиамидных образцов с целью избавления от влаги в теле полимера, эти действия необходимы для освобождения места под заполнение масляной смесью в открытые поры. Исходя из этого, для повышения эффективности пропитки полимера смесью, было принято использовать электротермический способ нагрева в поле высокой частоты, заключающийся в размещении детали между двумя пластинами, имитирующими

конденсатор, в котором под действием переменного поля высокой частоты происходит нагрев диэлектрического материала средней и высокой полярности. Для этой задачи была рассмотрена технология электротермической сушки полимерных и композиционных материалов, в котором определение достижения сухого состояния осуществлялся за счет контроля анодного тока [8]. Согласно этому исследованию, для операции технологического процесса сушки технологическим режимом будет являться величина анодного тока.

Так как после выполнения операции сушки происходит само наполнение, то важно учесть, что полимерная деталь будет находиться в горячем состоянии, а полного охлаждения допустить нельзя из-за факта гигроскопичности полимеров, исходя из этого, необходимо учесть при какой температуре будет производиться пропитка при подаче наполнителя или погружение полимерной детали в наполнитель. Как было рассмотрено ранее, исходя из понижения вязкости масляного наполнителя режимами самой операции маслonaполнения будет являться: процентное содержание гексана (вязкость) и температура полимерного образца.

Исходя из проведенного анализа, стало необходимо формирование целевой функции для достижения повышения производительности или же достижения повышения качества. Так как оба эти параметра зависят от одних и тех же режимов обработки и стремятся к максимуму, целевая функция, состоявшая из двух параметров, составлена на примере скорости пропитки по достижении кратчайшего времени пропитки на заданную глубину полимерной детали (1):

$$u(T, \mu) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $u$  – скорость пропитки, мм/с;  $T$  – температура полимерной детали °С;  $\mu$  – вязкость наполнителя, Па·с.

Для выполнения данной целевой функции необходимо определение начальных граничных условий ее параметров. Для этой цели принято предварительное ограничение для вязкости:

$$\mu_{\text{гекс}} < \mu < \mu_{\text{масла}} \quad (2)$$

где  $\mu$  – вязкость гексана и масла соответственно, Па·с.

Для определения начальных температурных пределов необходимо определить начальные и граничные условия. Данные условия также обеспечивают стабильность технологического процесса и будут зависеть от температуры окружающей среды, а также вследствие присутствия гексана в смеси ввиду факта его выхода из нее из-за низкой температуры кипения по сравнению с маслом М8-В, можно делать вывод, что начальной температурной границей целевой функции будет являться температура, соответствующая нормальным условиям, а конечная температура – началом испарения гексана из смеси:

$$T_{\text{норм}} < T < T_{\text{исп}}, \quad (3)$$

где  $T$  – температура полиамидной детали, соответствующая нормальным условиям и допустимой температуре до испарения гексана.

### Результаты исследований

Дальнейшим действием стало определение итоговых границ параметров целевой функции. В целях определения конкретных границ параметров целевой функции определены начальные условия технологического процесса маслonaполнения, которые соответствуют нормальным условиям, согласно ГОСТ 8.395-80: температура  $25 \pm 2,0$  °С; давление  $750 \pm 5,0$  мм рт. ст.; влажность  $55 \pm 10$  %.

Далее стало необходимо определение граничных условий проведения процесса маслonaполнения. Определенные граничные условия определены, исходя из решения добавления гексана в масло. Поэтому первым этапом для их определения выяснено, при каких критических температурах можно проводить процесс маслonaполнения, для этого проведен расчет температуры кипения масляного наполнителя.

Для проведения расчетов было принято решение взять три основных пропорции гексана с маслом, представленных в табл. 1 в первом столбце. Само выполнение расчета основывалось на законе Рауля, при смешивании двух материалов, в котором один –

растворитель, другой – растворимое вещество, происходит процесс разбавления. Исходя из этого закона, температура кипения смеси понижается относительно температуры кипения масла. Поэтому важно знать при какой температуре для отдельной концентрации это происходит.

В данном случае гексан (С6Н14) является растворителем, а моторное масло М8-В растворимым веществом.

Температура кипения раствора определяется по формуле:

$$T_{\text{кип}} = T_{\text{кип.а}} + \Delta T_{\text{кип}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{кип.а}}$  – температура кипения растворителя, 68 °С;  $\Delta T_{\text{кип}}$  – повышение температуры кипения раствора.

Повышение температуры кипения определяется (5):

$$\Delta T_{\text{кип}} = K_3 \cdot \frac{m_b \cdot 1000}{m_a \cdot \mu_b}, \quad (5)$$

где  $K_3$  – эбуллиоскопический коэффициент;  $m_b$  – масса растворимого вещества, кг;  $m_a$  – масса растворителя, кг;  $\mu_b$  – молярная масса растворимого вещества, г/моль.

Эбуллиоскопический коэффициент рассчитывается по формуле (6):

$$K_3 = \frac{R \cdot T_a^2 \cdot \mu_a}{\Delta H_{va}}, \quad (6)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, 8,31 Дж·К<sup>-1</sup>·моль<sup>-1</sup>;  $T_a$  – температура кипения растворителя, 68 °С;  $\mu_a$  – молярная масса растворителя, г/моль;  $\Delta H_{va}$  – молярная энтальпия парообразования растворителя, 3000 Дж/моль.

Далее определена молярная масса растворимого вещества по формуле (7):

$$\mu_b = \rho_b \cdot V_m, \quad (7)$$

где  $\rho$  – плотность вещества, 0,886 кг/л;  $V_m$  – молярный объем газов, 22,4 л/моль.

Далее определяется масса веществ: моторного масла и гексана:

$$m_b = \rho_b \cdot V_b, \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность вещества, 8,86 кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_b$  – объем вещества, л.

Для расчета массы гексана используется формула:

$$m_a = M_a \cdot n, \quad (9)$$

где  $M_a$  – молярная масса вещества: гексан 86,17 г/моль, масла 19,84 г/моль;  $n$  – количество вещества, моль.

Для нахождения количества вещества необходима формула

$$n = \frac{V_b}{V_m}. \quad (10)$$

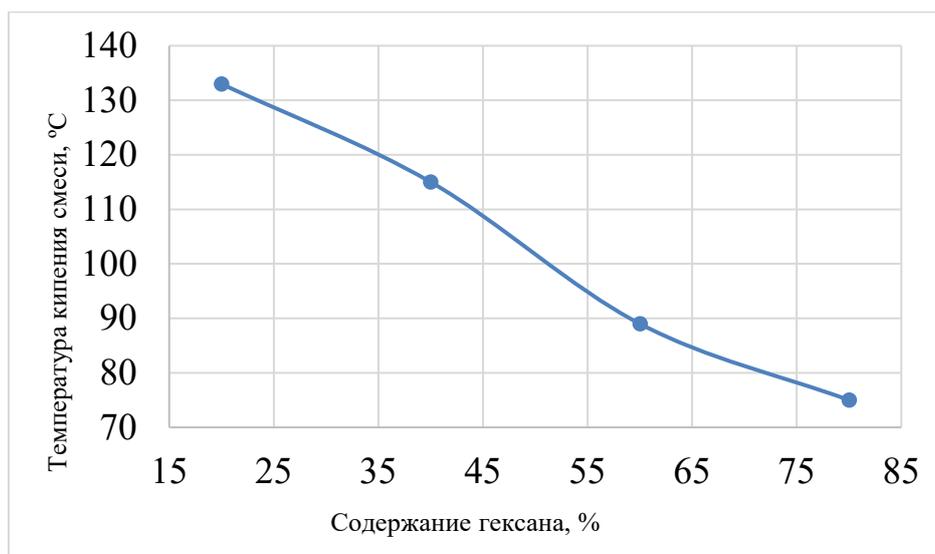
Итоги по определению температуры кипения представлены в табл. 1 и в виде графических данных на рис. 1.

### 1. Результаты расчета предельных граничных условий – температуры кипения смеси гексана и масла

#### 1. Results of calculation of the limiting boundary conditions – the boiling point of a mixture of hexane and oil

Содержание гексана, %	Масса гексана, кг	Масса масла, кг	Количество вещества (гексана), моль	Повышение температуры кипения, °С	Температура кипения масляного наполнителя, °С
20	0,0154	0,014	0,00017	65	133
40	0,03	0,011	0,00035	47	115
60	0,046	0,007	0,00053	21	89

Примечания: температура кипения моторного масла М8-В 270 °С; температурный предел эксплуатации 20...170 °С.



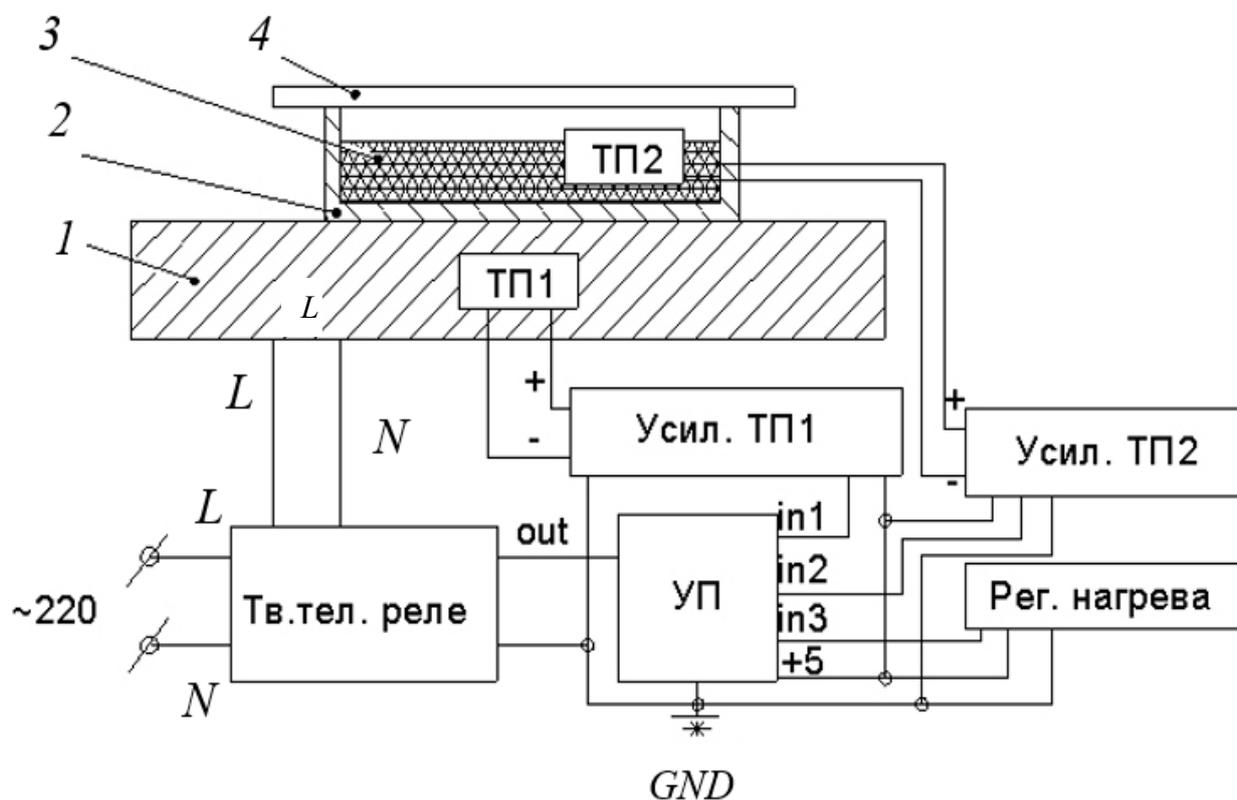
**Рис. 1.** Зависимость изменения температуры кипения от концентрации смеси

**Fig. 1.** Dependence of the boiling point change on the concentration of the mixture

Из полученных результатов видно значительное уменьшение температуры кипения смеси гексана и масла по сравнению с температурой кипения чистого масла, 190 °С. Полученные результаты указывают на критические температурные граничные условия превышения, которых нельзя допускать. Исходя из этого, необходимо определить рекомендуемые граничные условия, которые определяются исходя из условий испарения гексана из наполнителя, превышение которых может привести к снижению эффективности пропитки: снижению стабильности и производительности технологического процесса.

Для решения этой задачи проведен эксперимент по определению рекомендуемых граничных условий – определение

температуры начала испарения гексана из смеси с маслом для различных пропорций. Для данного исследования разработан нагревательный стенд (рис. 2), состоящий из нагревательного элемента 1, ванны 2, расположенного на нем с прозрачной крышкой 4, необходимой для определения процесса испарения гексана из смеси, путем образования капель на ней. Контроль температуры смеси и нагревательного элемента производится по термопарам. Поддержание заданной температуры нагревательного элемента производится с помощью твердотельного реле и регулятором нагрева. Для проведения эксперимента написана управляющая программа, загруженная в управляющую плату.



**Рис. 2. Схема экспериментальной установки:**

1 – нагревательный элемент; 2 – ванна; 3 – наполнитель; 4 – крышка для конденсата; ТП1, ТП2 – первая и вторая термопара; Усил. ТП1, Усил. ТП2 – усилитель первой и второй термопары; УП – управляющая плата; L, N – фаза и ноль сети 220 вольт; GND – заземление; Тв. тел. реле – твердотельное реле; Рег. нагрева – регулятор нагрева

**Fig. 2. Scheme of the test installation:**

1 – heating element; 2 – bath; 3 – filler; 4 – condensate cap; TP1, TP2 – first and second thermocouple; Ampl. TP1, Ampl. TP2 – amplifier of the first and second thermocouple; DB – drive board; L, N – phase and zero of the 220 volt network; GND – grounding; Solid-state relay – solid relay; Heating Reg. – heating regulator

Результаты проведенного эксперимента определения начала испарения гексана для

различных пропорций представлены в табл. 2 и на рис. 3.

## 2. Результаты эксперимента определения рекомендованных граничных условий – температуры испарения гексана из масляного наполнителя

## 2. The results of the experiment for determining the recommended boundary conditions – the temperature of hexane evaporation from the oil filler

Гексан, %	Масло, %	Гексан, мл	Масло, мл	Температура, °C
20	80	4,0	16	91
40	60	8,0	12	78
60	40	12	8,0	52

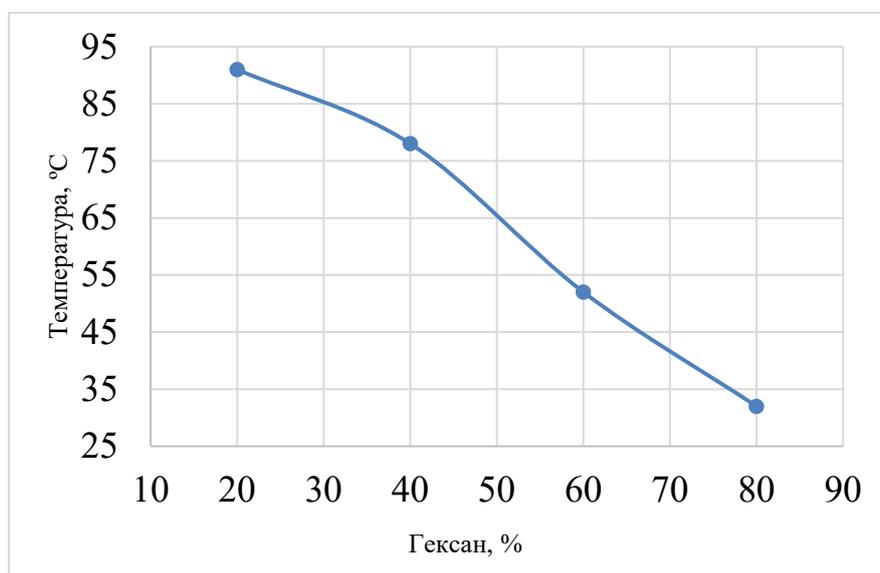


Рис. 3. График зависимости температуры испарения от содержания гексана в масле

Fig. 3. Graph of the dependence of the evaporation temperature on the hexane content in the oil

Согласно полученным данным выяснено, что для содержания гексана 20 % рекомендованная температура не выше 91 °C, а для 60 % – температура 52 °C. Данные температурные границы гарантируют обеспечение стабильности выполнения технологического процесса. Также видна схожая закономерность падения температуры как для зависимости испарения, так и зависимости кипения наполнителя от процентного содержания гексана.

Исходя из полученных результатов, следующим этапом исследования стала задача определить какие необходимо назначать режимы технологического процесса

маслонаполнения. Согласно выявленному ранее, режимами технологического процесса будут являться: для операции сушки – величина анодного тока; для проведения операции наполнения – процентное содержание гексана и температура полимерной детали. Так как уже определены значения процентного содержания гексана согласно табл. 1 и табл. 2. Далее необходимо назначить рекомендованные температуры полимерной детали, исходя из граничных условий по кипению смеси и испарению гексана из масла.

Итогом рекомендованных режимов технологического процесса маслонаполнения является следующее:

- 20 %, 40 %, 60 %, температура – 35 °С;
- 20 %, 40 %, 60 %, температура – 50 °С;
- 20 %, 40 %, температура – 75 °С.

Также стоит указать, что еще одним важным режимом технологического процесса будет время пропитки, исходя из определенной скорости наполнения для каждого конкретного полимерного материала. Данное значение режима необходимо для достижения глубины пропитки, которая должна быть больше допустимого износа полимерной детали. Определение скорости пропитки возможно определять экспериментально или с применением математической модели маслonaполнения.

Сформированные режимы технологического процесса: анодный ток; пропорции

смеси; температура детали; время пропитки; подбор данных режимов направлены на повышение стабильности и производительности процесса, а также повышение качества поверхностного слоя полимерной детали.

### Обсуждение результатов исследования

Проведенные исследования позволили сформировать целевую функцию и определить конкретные границы параметров целевой функции технологического процесса. Согласно определенным условиям и рекомендованным режимам данные границы параметров целевой функции будут иметь вид (11):

$$35\text{ °С} < T < 75\text{ °С}; \mu_{\text{Гекс.20 \%}} < \mu < \mu_{\text{Гекс.60 \%}}, \quad (11)$$

где  $\mu_{\text{Гекс.20 \%}}$ ,  $\mu_{\text{Гекс.60 \%}}$  – вязкость наполнителя при содержании гексана в нем при 20 % и 60 % соответственно.

Исходя из проведенных исследований можно сформировать предварительный порядок этапов проведения технологического процесса маслonaполнения: кондиционирование детали; подготовка смеси с необходимым процентным содержанием гексана в масле; ВЧ-сушка, контроль анодного тока; охлаждение детали до температуры советующей пропорции смеси; погружение детали в масляный наполнитель или подача масляного наполнителя; контроль достижения наполнения на заданную глубину проникновения [9, 10].

### Заключение

Результатом проведенных исследований стала разработка и определение научных подходов разработки технологического процесса маслonaполнения, путем выполнения аналитических расчетов и проведения экспериментов, что позволило определить начальные и граничные условия, а также рекомендованные режимы, благодаря которым сформирован предварительный порядок этапов проведения технологического процесса.

Также сформированная целевая функция и определённые границы ее параметров позволяют определить режимы, наиболее

благоприятно сказывающие на параметрах технологического процесса: производительность и качество, достижение наибольшей скорости пропитки и достижение наибольшего повышения износостойкости готовой полимерной детали [11].

Благодаря данной целевой функции появляется возможность в проведении исследования оптимальных режимов технологического процесса, которые дадут наилучший результат по проникновению наполнителя за кратчайшее время на заданную глубину тела не менее чем на допустимую величину износа полиамидной детали.

Результаты проведенной работы направлены на обеспечение повышения стабильности и производительности технологического процесса, а также повышение качества готовой полимерной продукции, что позволит повысить межремонтный ресурс и долговечность деталей, применяемых на железной дороге в частности, так и в машиностроении в целом.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Попов С.И., Попов А.С. Термовакuumное нанесение самосмазывающихся покрытий полимерных материалов узлов трения машин и механизмов транспортного машиностроения // Современные технологии.

Системный анализ. Моделирование. 2018. № 2 (58). С. 58–64.

2. **Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V., Popov S.I.** Analysis of failures of bearings of axle box unit with polyamide cages and prospects of increasing their service life // Article Scopus. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. P. 1001–1010.

3. **Буторин, Д.В., Чулкай И.В., Филиппенко Н.Г.** Технология маслonaполнения полимерных и композитных антифрикционных материалов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Седьмой международной научно-практической конференции, посвященной 355-летию со дня основания города Иркутска, 29 марта – 01 апреля 2016 г. Иркутск: в 2 т., Т.2. Иркутск: ИрГУПС, 2016. С. 490–495.

4. **Ярославцев В.М.** Высокоэффективные технологии обработки изделий из композиционных материалов // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 4. С. 1–24.

5. **Шахрай С.Г., Ржечицкий Э.П., Горовой В.О.** Исследование параметров технологических процессов и анализ производительности оборудования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 84–88.

6. **Тлустенко С.Ф., Коптев А.Н.** Методология оптимизации целевых функций технологических систем производства летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. № 6, Т. 22. С. 36–42.

7. **Буторин Д.В., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Егоров А.И., Грамаков Д.С.** Технология жидкофазного наполнения полимеров и композитов на их основе моторными маслами Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 2. С. 422–431.

8. **Филиппенко Н.Г.** Автоматизированная система управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1 (33). С. 101–107.

9. **Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Баканин Д.В., Фарзалиев Э.Ф.** Автоматизированный способ контроля наполнения маслом полимерных и композиционных материалов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 4 (45). С. 9–16.

10. **Bychkovsky V., Butorin D., Bakanin D., Filippenko N., Kuraitis A., Larchenko A.** Contact method of volume control of temperature of a polymer sample at high-frequency heating. // Article Scopus. Journal of physics: conference series. International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies. 2020. P. 123–158.

11. **Бычковский В.С., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Баканин Д.В., Фарзалиев Э.Ф.О.** Сравнительный анализ физико-эксплуатационных характеристик полимерных образцов, наполненных маслом // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. № 2 (47). Т. 69. С. 91–96.

## REFERENCES

1. Bychkovsky V.S., Filippenko N.G. Popov S.I., Popov A.S. Thermal vacuum deposition of a self-lubricating coating of polymeric materials of friction units of machines and mechanisms of transport engineering. Sovremennye tekhnologii. Sistemniy analiz. Modelirovanie. 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 58–64.

2. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V., Popov S.I. Analysis of failures of bearings of axle box unit with polyamide cages and pro-spects of increasing their service life // Article Scopus. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. P. 1001–1010.

3. Butorin, D.V., Chuklay I.V., Filippenko N.G. Technology of oil filling of polymer and composite anti-friction materials // Transport infrastructure of the Siberian region: proceedings of the 7-th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 355th anniversary of the founding of the city of Irkutsk, March 29 – April 01, 2016 Irkutsk: in 2 vols., vol.2, Irkutsk: IrGUPS, 2016, pp. 490–495.

4. Yaroslavtsev V.M. Highly efficient technologies for machining of products made of composite materials: textbook. Electronic scientific and technical publication "Science and Education" Moscow: Publ. house of MSTU named after N.E. Bauman, 2012, No. 4, pp. 1–24.

5. Shakhrai S.G., Rzhechitsky E.P., Gorovoy V.O. Study of parameters of technological processes, and equipment performance evaluation. // Sovremennye tekhnologii. Sistemniy analiz. Modelirovanie. 2016, No. 3 (51), pp. 84–88.

6. Tlustenko S.F., Koptev A.N. Methodology of optimization of target functions of technological systems for production of aircraft // Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2020, No. 6, vol. 22, pp. 36–42.

7. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V., Egorov A.I., Gramakov D.S. Technology of liquid-phase filling of polymers and composites with motor oils. Transport infrastructure of the Siberian region. 2017, Vol. 2. pp. 422–431.

8. Filippenko N.G. Automated control system of polymeric materials high-frequency processing. // Sovremennye tekhnologii. Sistemniy analiz. Modelirovanie. 2012, No. 1 (33), pp. 101–107.

9. Bychkovsky V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., Bakanin D.V., Farzaliev E.F. Automated method of oil filling control of polymer and composite materials // Electrotechnologies and electrical equipment in the agro-industrial complexes, 2021, vol. 68, No. 4 (45), pp. 9–16.

10. Bychkovsky V., Butorin D., Bakanin D., Filippenko N. Kuraitis A., Larchenko A. Contact method

of volume control of temperature of a polymer sample at high-frequency heating. // Article Scopus. Journal of physics: conference series. International scientific conference energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies. 2020. P. 123–158.

11. Bychkovsky V.S., Filippenko N.G., Livshits A.V., Bakanin D.V., Farzaliev E F.O. Comparative analysis of physical and operational characteristics of polymer samples filled with oil // Electrotechnologies and electrical equipment in the agro-industrial complexes. 2022, No. 2 (47). vol. 69, pp. 91–96.

Статья поступила в редакцию 29.07.2023; одобрена после рецензирования 04.08.2023; принята к публикации 11.08.2023

The article was submitted 29.07.2023; approved after reviewing 04.08.2023; accepted for publication 11.08.2023

---

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

*Вёрстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.*

Сдано в набор 17.11.2023. Выход в свет 30.11.2023.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Брянский государственный технический университет» 241035,  
Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16