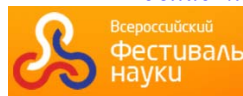




*Году экологии
в России
посвящается*

*В рамках
Фестиваля науки
в Тамбовской
области*



ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

ВЫПУСК IX

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА,
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ, ПРИБОРЫ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ
БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ
ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Научное электронное издание

**Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2017**

Министерство образования и науки Российской Федерации

Российская экологическая академия
Ассоциация «Объединенный университет им. В. И. Вернадского»
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»
Управление образования и науки Тамбовской области

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

**Сборник научных статей
молодых ученых, аспирантов и студентов**

Выпуск IX

Информатика, вычислительная техника, информационные системы
Системный анализ и управление, приборы
Материаловедение, нанотехнологии, машиностроение
Биотехнология, биомедицинская инженерия
Технология продуктов питания
Процессы и аппараты химических и других технологий
Энергетика, энергоснабжение, энергосбережение
Архитектура и строительство, транспорт
Экономика, управление качеством продукции
Проблемы техногенной безопасности

Научное электронное издание



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2017

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. С. И. Дворецкий (ответственный редактор);
д-р техн. наук, доц. М. В. Соколов (зам. ответственного редактора);
д-р техн. наук, проф. В. И. Леденев; д-р техн. наук, проф. В. В. Леденев;
д-р пед. наук, проф. Н. П. Пучков; д-р ист. наук, проф. А. А. Слезин;
д-р техн. наук, проф. Н. С. Попов; д-р техн. наук, проф. С. В. Пономарев;
д-р техн. наук, доц. П. В. Монастырев; д-р техн. наук, проф. О. С. Дмитриев;
д-р физ.-мат. наук, проф. Г. М. Куликов; д-р техн. наук, проф. В. Е. Подольский;
д-р техн. наук, проф. Ю. Ю. Громов; канд. техн. наук, доц. А. В. Майстренко;
д-р техн. наук, проф. Н. Ц. Гатапова; д-р техн. наук, проф. А. Г. Ткачев;
д-р техн. наук, проф. Д. М. Мордасов; д-р техн. наук, проф. Г. С. Баронин; М. А. Евсейчева

П78 **Проблемы** техногенной безопасности и устойчивого развития [Электронный ресурс] : сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов / ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. IX. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 75,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-1800-7

В сборнике представлены статьи участников отборочного тура программы У.М.Н.И.К. 2017 г. в рамках Двенадцатой межвузовской научной студенческой конференции Ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития», а также молодых ученых, аспирантов и студентов по приоритетным научным направлениям университета: исследования в области естественных наук; технология продуктов питания; биотехнология, биомедицинская инженерия; энергетика, энергоснабжение, энерго-сбережение; радиотехника и связь; системный анализ и управление, приборы; проблемы техногенной безопасности; архитектура и строительство; материаловедение, нанотехнологии, машиностроение; процессы и аппараты химических и других технологий; информатика, вычислительная техника, информационные системы; экономика, управление качеством продукции.

Материалы могут быть полезны преподавателям, аспирантам, студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

ББК я43

Сборник подготовлен по материалам, предоставленным в электронном варианте, и сохраняет авторскую редакцию.

Все выпуски сборника размещены в Научной электронной библиотеке (РИНЦ) elibrary.ru

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-1643-0
ISBN 978-5-8265-1800-7 (вып. IX)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2017

УДК 512.13

*А. А. Островская**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВВЕДЕНИЯ ПОНЯТИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

В настоящем сообщении интегрированы сведения о периодических (элементарных и неэлементарных) функциях, выстроены основные компоненты соответствующих понятий и фактов.

Проблемное поле исследования ([1, 2]):

1. Оптимальное определение периодической функции.
2. Конструкция определения непериодической функции.
3. Соизмеримость периодов.
4. Периодичность и существование наименьшего (положительного) периода.

Последовательно изучим данные проблемы.

1. Какое из определений периодической функции, существующих в литературе, предпочтительнее?

Определение 1. Функция $y = f(x)$ называется периодической, если существует такое число $T \neq 0$, что:

- 1) для любого $x \in D(f)$ числа $x + T \in D(f)$ и $x - T \in D(f)$;
- 2) для всех $x \in D(f)$ верно $f(x - T) = f(x) = f(x + T)$.

Наименьший из положительных периодов (если он существует) функции называется основным (главным) периодом функции.

Определения 2 и 3 отличаются от определения 1 условием 2): здесь $f(x + T) = f(x)$ либо $f(x) = f(x - T)$. Указанные три определения равносильны. С точки зрения минимальности требований предпочтительнее определения 2 или 3; однако в учебной практике нам представляется предпочтительнее первое, как наиболее информативное.

Заметим, что в приведенных определениях явно указан период функции. В литературе имеется также определение 4, в котором

* Работа выполнена под руководством канд. физ.-мат. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Д. Нахмана.

условие 2) имеет вид $f(x+T) = f(x-T)$. Здесь можно лишь утверждать, что периодом будет число $2T$ (число $T \neq 0$ возможно не будет периодом функции). В таком определении, с нашей точки зрения, утрачена наиболее важная информация.

2. Определение непериодической функции строится как отрицание определения периодической функции.

Рассмотрим следующие предикаты, в которых T – произвольное ненулевое число:

$$B(x, T) \equiv \{ \text{точка } x+T \text{ принадлежит множеству } D_f \},$$

$$C(x, T) \equiv \{ \text{точка } x-T \text{ принадлежит множеству } D_f \},$$

$$D(x, T) \equiv \{ f(x+T) = f(x) \}.$$

Согласно определению функция $y = f(x)$ называется периодической, если существует такое ненулевое число T , что для любого $x \in D_f$ справедливы высказывания $B(x, T)$, $C(x, T)$, $D(x, T)$. Другими словами, высказывание

$$P \equiv \{ \text{функция } y = f(x) \text{ является периодической} \}$$

может быть записано в следующем виде:

$$P \equiv (\exists T \neq 0)(\forall x \in D_f)(B(x, T) \wedge C(x, T) \wedge D(x, T)).$$

Отрицание \bar{P} данного высказывания имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{P} &\equiv \overline{(\exists T \neq 0)(\forall x \in D_f)(B(x, T) \wedge C(x, T) \wedge D(x, T))} \equiv \\ &\equiv (\forall T \neq 0)(\exists x \in D_f)(\overline{B(x, T)} \vee \overline{C(x, T)} \vee \overline{D(x, T)}). \end{aligned}$$

Теперь, для того чтобы убедиться, что функция $y = f(x)$ не является периодической, достаточно установить следующее: для любого $T \neq 0$ найдется такое $x \in D_f$, что не будет выполняться хотя бы одно из указанных выше условий $B(x, T)$, $C(x, T)$, $D(x, T)$.

3. Рассмотрим проблему «соизмеримости» периодов.

Период T_1 функции $y = f(x)$ и период T_2 функции $y = g(x)$ называются соизмеримыми, если их отношение есть рациональное число.

Утверждение 3.1. Если $D_f \cap D_g \neq \emptyset$ и периоды функций $y = f(x)$ и $y = g(x)$ соизмеримы, то $f(x) + g(x)$ и $f(x)g(x)$ – периодические с периодом T , являющимся общим кратным T_1 и T_2 .

Утверждение 3.2. Если непрерывная функция $y = f(x)$ имеет два несоизмеримых периода T_1 и T_2 (т.е. T_1/T_2 – иррациональное число), то $y = f(x) = \text{const}$.

Утверждение 3.3. Общим периодом периодических функций $y = f_1(x)$, $y = f_2(x)$, ..., $y = f_k(x)$, имеющих периоды $T_j = (n_j / m_j)t$, где $n_i \in \mathbb{Z} \setminus \{0\}$, $m_i \in \mathbb{N}$, $i = 1, 2, \dots, k$, $t \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$, является число $T = t \cdot \text{НОК}(n_1, n_2, \dots, n_k) / \text{НОД}(m_1, m_2, \dots, m_k)$.

Утверждение 3.4. Пусть T_1, T_2, \dots, T_n – основные периоды непрерывных периодических функций $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ ($n \geq 2$) соответственно, причем отношения T_i / T_j ($i \neq j$) иррациональные (т.е. T_i и T_j несоизмеримые) при любых i и j . Тогда функция $f_1(x) + f_2(x) + \dots + f_n(x)$ не является периодической.

4. Периодичность и существование наименьшего (положительно-го) периода.

Как оказывается, периодичность данной функции еще не означает существования у нее наименьшего положительного периода. Так, например, функция Дирихле, определяемая в виде

$$D(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \text{ – рациональное число;} \\ 0, & \text{если } x \text{ – иррациональное число,} \end{cases}$$

имеет, как легко заметить, периодом любое рациональное число, однако наименьшего положительного периода у нее не существует.

Утверждение 4.1. Если периодическая функция $f(x)$ ($x \in \mathbb{R}$) не имеет наименьшего положительного периода, то для любого $\varepsilon > 0$ существует положительный период меньше ε .

Обоснуем данный тезис. Пусть T_1 – некоторый положительный период функции $f(x)$. Из условия леммы следует, что существует положительный период $T_2 < T_1$. Аналогично существует положительный период $T_3 < T_2$ и т.д.

Зафиксируем $\varepsilon > 0$. Отрезок $[0; T_1]$ разделим на n равных частей так, чтобы $\frac{T_1}{n} < \varepsilon$. Рассмотрим числа $T_1 > T_2 > \dots > T_n > T_{n+1}$. Очевидно, что существуют T_i и T_j (не уменьшая общности, можно предположить, что $i < j$), принадлежащие одной и той же части отрезка $[0; T_1]$. Рассмотрим $T = T_i - T_j > 0$ ($i < j$), $T = T_i - T_j \leq \frac{T_1}{n} < \varepsilon$. С другой стороны, число T является периодом функции $f(x)$ и, поскольку $T < \varepsilon$, то утверждение доказано.

Определение. Говорят, что множество $X \in R$ всюду плотно в R , если любой интервал $(\alpha; \beta)$ содержит число из множества X .

Утверждение 4.2. Если периодическая функция $f(x)$ не имеет наименьшего положительного периода, то множество периодов функции $f(x)$ всюду плотно в R .

Обоснуем данное утверждение. Пусть $(\alpha; \beta)$ – некоторый интервал. Покажем, что существует период функции $f(x)$, принадлежащий этому интервалу. Согласно утверждению 4.1 существует период T_0 такой, что

$$0 < T_0 < \frac{\beta - \alpha}{2}.$$

Рассмотрим числа $\dots, -3T_0, -2T_0, -T_0, T_0, 2T_0, 3T_0, \dots$. Разность соседних чисел этой последовательности не больше $2T_0 < \beta - \alpha$, следовательно, одно из этих чисел принадлежит интервалу $(\alpha; \beta)$.

С другой стороны, любое число этой последовательности – период функции $f(x)$. Утверждение доказано.

Примером функции, множество периодов которой всюду плотно в R , является вышевведенная функция Дирихле.

Следствие 4.1. Множество периодов функции $f(x)$ или всюду плотно в R , или состоит из чисел вида nT_0 ($n \in Z, n \neq 0$), где T_0 – наименьший положительный период функции $f(x)$.

Следствие 4.2. Если непрерывная периодическая функция $f(x)$ не имеет наименьшего положительного периода, то она постоянна.

Доказательство. Обозначим через T_f множество периодов функции $f(x)$. Пусть x_1 и x_2 произвольные точки. Из непрерывности функции $f(x)$ следует, что для любого $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$ такое, что при $x \in (x_2 - \delta; x_2 + \delta)$ имеет место неравенство $|f(x) - f(x_2)| < \varepsilon$.

По лемме 2 существует $T \in T_f$ такое, что $T \in (x_2 - \delta - x_1; x_2 + \delta - x_1)$ или $x_1 + T \in (x_2 - \delta; x_2)$, следовательно, $|f(x_1 + T) - f(x_2)| = |f(x_1) - f(x_2)| < \varepsilon$.

В силу произвольности $\varepsilon > 0$ имеем $f(x_1) = f(x_2)$, т.е. функция $f(x)$ – постоянная.

Из следствия 4.2 немедленно вытекает следующее следствие.

Следствие 4.3. Отличная от постоянной непрерывная периодическая функция имеет наименьший положительный период.

Список литературы

1. **Нахман, А. Д.** Функции и их свойства : учебно-методическое пособие / А. Д. Нахман. – Тамбов : ТОИПКРО, 2006. – 61 с.
2. **Нахман, А. Д.** Концепция развития математического образования. Уровневая модель : монография / А. Д. Нахман, И. В. Аверина, И. Ю. Иванова. – LAP Lambert Academic Publishing. GmbH, Deutschland, 2015. – 115 с.

*Кафедра «Техническая механика
и детали машин» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 007.52

*Р. Р. Ковалев**

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

На рынке робототехнических изделий наблюдается интенсивное возрастание спроса на категорию изделий, относимых к обобщенному понятию сервисных роботов. Создание роботизированного комплекса, способного определять и различать объекты по их температуре, может найти применение в сфере МЧС (обнаружение малых очагов возгорания и спасение людей). На балансе подразделений МЧС по всей стране уже есть такие системы. Но, как отметил в своем докладе начальник научно-технического управления МЧС России Александр Овсяник, их недостаточно и они не всегда максимально эффективны. Генерал отметил, что роботы становятся все сложнее и сложнее, но они не подменяют и не исключают человека из процесса спасения. Наоборот, эффективны они могут быть только при наличии высокопрофессиональных операторов, которые могли бы ими управлять. А с этим, по-видимому, есть проблемы. Таким образом, требуется создать автономный робототехнический комплекс, для работы с которым не требуется персонал высокой квалификации.

На базе кафедры «Мехатроника и технологические измерения» ТГТУ под руководством заведующего кафедрой доктора технических наук, доцента А. Г. Дивина было создано шасси робототехнического комплекса с установленной системой распознавания объектов, получившее название RV-UNO. Шасси имеет три модификации: «Внедорожник», «Спринтер», «Снегоход», первая из которых («Внедорожник») представляет собой гусеничную платформу, которая позволяет преодолевать препятствия повышенной сложности, например: грязь, песчаник, болотистую местность и гравий. Шасси сборки «Спринтер» представляет собой колесную платформу. На выходных валах мотор-редукторов установлены ведущие колеса диаметром 250 мм. Роль передних опорных колес выполняют шарниры диаметром 100 мм.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Мехатроника и технологические измерения» ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Г. Дивина.

Такая конструкция позволяет получить большую скорость на ровной местности (асфальтовых и грунтовых дорогах, в помещениях). Шасси сборки «Снегоход» представляет собой совокупность ведущих колес и опорных шарнирных лыж. Ведущие колеса обладают большим пятном контакта с опорной поверхностью.

Технические характеристики:

- 1) размер:
 - а) длина 390 мм,
 - б) ширина 250 мм,
 - в) высота 240 мм;
- 2) масса 6 кг;
- 3) рабочее напряжение 12 В;
- 4) уровень шума 50 дБ;
- 5) мощность 30 Вт;
- 6) вычислительный блок шасси RV-UNO на базе одноплатного компьютера или контроллера [1];
- 7) время работы 3,5 ч.

На данный момент шасси RV-UNO имеет два вида сборки «Внедорожник», «Спринтер» и может работать в режиме «Дрон». Режим «Дрон» предназначен для управления робототехническим комплексом на большом расстоянии. Дальность работы шасси в режиме «Дрон»: 1500 (Wi-Fi) и 20 м (Bluetooth) [2]. Процессор управляет мотор-редукторами через управляющие реле, а управляющие включают силовые реле. Роль несущей конструкции выполняет стальная рама, изготовленная из трубы квадратного сечения 15×15×1,5 мм [3]. Система распознавания объектов включает в себя:

- инфракрасные датчики движения;
- отдельный вычислительный блок с установленной программой обработки изображений для системы технического зрения на базе NI VISION;
- инфракрасные датчики температуры (в том числе тепловизионную камеру фирмы FLIR или аналог);
- цифровая видеокамера с чувствительностью в области видимого излучения.

Отличительными особенностями таких датчиков являются их: надежность, низкая стоимость, высокая чувствительность и отсутствие какого-либо вредного излучения, поэтому они повсеместно используются в системах безопасности детских, общеобразовательных учреждений и объектов здравоохранения. Дальность обнаружения объекта инфракрасными датчиками составляет 15 м. Приемник преобразует энергию инфракрасного излучения, излучаемую поверхностью объек-

та, в электрический сигнал. Затем эта информация преобразуется в значения температуры. Из схожих температурных показателей, заложенных в базе данных, программа выберет тип исследуемого объекта (человек, автомобиль, огонь) оператору [4]. Для более ответственных задач, когда необходимо обследовать температурное поле объекта, роботизированная платформа оснащается тепловизионной камерой.

Применение мобильной роботизированной информационной системы обнаружения и распознавания объектов целесообразно в МЧС. Часто возникают ситуации, где необходимо обнаружить пострадавшего человека в условиях слабой освещенности, задымленности, скрытого под слоем завала. В подобных ситуациях использование камер видеонаблюдения становится невозможным. Возникает необходимость использования других средств для обнаружения человека.

Кроме МЧС предлагаемый роботизированный комплекс целесообразно использовать в сельском хозяйстве для охраны объектов различного назначения, а также в образовательных целях.

Передовые страны работают над переходом к безлюдному автоматизированному сельскому хозяйству на основе широкого применения мобильных и стационарных роботов. Как ожидается, это позволит добиться роста производительности на фоне повышения рентабельности, что обеспечит снижение себестоимости продукции. Можно выделить следующие задачи роботизации в сельском хозяйстве:

- мониторинг и прогнозирование;
- снижение себестоимости сельхозпроизводства;
- улучшение качественных показателей;
- снижение экологической нагрузки сельхозпроизводства;
- повышение конкурентоспособности средних и мелких сельскохозяйственных производителей;
- повышение безопасности сельскохозяйственного производства.

При использовании робототехнического комплекса в охранной сфере комплекс сможет предотвратить кражу и возгорания на крупных объектах (растениеводческие и животноводческие фермы, склады, заводы), где установка большого количества датчиков невыгодна.

В данный момент в нашей стране робототехническое производство находится на начальном этапе развития. Для производства и обслуживания роботизированного комплекса необходима подготовка высококвалифицированных специалистов. Данную проблему можно решить созданием практического пособия по робототехнике. Научно-технический результат можно реализовать в технических вузах, шко-

лах, колледжах, кружках по робототехнике, технопарках. Сегодня технические вузы составляют 46% от всех вузов страны. В каждом городе набирают популярность кружки по робототехнике. Для студентов вузов закупаются комплекты детских конструкторов в количестве 10 – 15 наборов. Подобные наборы не подходят для подготовки специалистов в вуз. Остается потребность в наборах, которые позволят студенту или школьнику изучать механику, электротехнику и программирование. Подобные наборы помогут получать необходимые практические знания для дальнейшей профессиональной работы.

Таким образом, разработка и внедрение предлагаемого роботизированного комплекса имеют актуальность для многих областей деятельности человека и соответствуют стратегии развития цифровой экономики в России до 2035 года.

Список литературы

1. **Момот, М. В.** Мобильные роботы на базе Arduino / М. В. Момот. – СПб. : БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.
2. **Соммер, У.** Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 256 с.
3. **Справочник** металлиста : в 5 т. / под ред. С. А. Чернавского и В. Ф. Решикова. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1976. – Т. 1. – 768 с.
4. **Пономарев, С. В.** Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений : монография : в 2 кн. / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Кн. 1. – 204 с.

Кафедра «Мехатроника и технологические измерения» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 504.056

*А. В. Попов**

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассмотрены прогнозы развития солнечной энергетики. Рассмотрено применение солнечной энергетики при реконструкции промышленных предприятий.

Солнечная энергетика – это одно из основных направлений возобновляемой энергетики, основанное на получении энергии из солнечной радиации. Она получила широкое распространение как частичная замена традиционным источникам энергии на промышленных предприятиях.

В данной работе обсуждается специфика анализа эффективности применения солнечной энергетики при реконструкции современного промышленного предприятия. Проведенный анализ показал, что эффективность внедрения нетрадиционного источника энергии может существенно сократить финансовые затраты на электроэнергию.

Солнечная энергия преобразуется в полезную энергию с помощью таких установок, как пассивные и активные солнечные системы. Для повышения коэффициента полезного действия пассивных систем при реконструкции зданий и подборе строительных материалов используют новые технологии, чтобы максимально задействовать солнечную энергию.

Активные системы применяют в своем составе солнечные коллекторы.

Пассивные солнечные сооружения – это здания, сконструированные с максимальным учетом географического положения и климатических признаков, где применяются необходимые технологии и материалы для обогрева и освещения здания за счет энергии Солнца. К ним

* Работа выполнена под руководством., д-ра техн. наук, проф ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Ушакова.

относятся специальные строительные приспособления и материал, такие как пенополистирол, теплые полы, большие окна. Такие здания, как правило, могут быть построены иногда без дополнительных затрат. В остальных случаях при строительстве и реконструкции расходы могут быть компенсированы снижением энергетических затрат. Пассивные солнечные здания являются наиболее экологически чистыми и способствуют дальнейшему увеличению энергетической независимости в будущем от исчерпаемых полезных ископаемых.

Солнечная энергия может применяться:

- в промышленности (военной, гражданской и т.п.);
- в сельскохозяйственном секторе;
- в строительной сфере.

Несмотря на увеличение использования солнечной энергии, у нее есть как свои плюсы, так и минусы.

Основные недостатки солнечной энергии:

- производство чистого кремния для фотобатарей, это весьма энергозатратное производство;
- зависимость от территориального размещения батарей и отрицательного влияния плохой погоды на эффективность работы батарей.

К плюсам можно отнести тот факт, что это один из самых экологически чистых видов энергии. Так же сырьем для изготовления солнечных батарей является один из самых часто встречающихся элементов – кремний. По мнению некоторых научных деятелей, кремний – это нефть и газ двадцать первого века: в течение тридцати лет один килограмм кремния на электростанции вырабатывает электричество, равное семьдесят пяти тоннам нефти, сожженной на тепловой электростанции [1].

Таким образом, выбор правильного места расположения предприятия с частичным замещением традиционных источников энергии солнечной является сложным решением.

Территория Российской Федерации расположена между 43 и 81 градусами сев. широты, поэтому уровень солнечной радиации изменяется от 809 кВт·ч/м² в год в северных районах до 1405 кВт·ч/м² в год в южных районах. Большое влияние на уровень солнечной радиации оказывают сезонные изменения: на ширине 56 градусов солнечная радиация в феврале составляет 1,70 кВт·ч/м², а в июле – 11,42 кВт·ч/м² в день.

Потенциал энергии Солнца из-за своего географического расположения велик на юго-западе (Северный Кавказ, район Черного и Каспийского морей), в Южной Сибири и на Дальнем Востоке [2].

На данный момент в России разрабатываются передовые технологии по преобразованию солнечной энергии в электрическую. И есть ряд организаций и предприятий, работающих над новыми разработками и усовершенствованием технологии фотоэлектрических преобразователей как на кремниевых, так и на многопереходных структурах.

Одной из наиболее благоприятных областей применения солнечной энергии является Краснодарский край.

Оснащение промышленного предприятия солнечными батареями даст значительную экономическую выгоду. В теплое время года, при наибольшей активности Солнца, возможен переход на альтернативный источник питания целых цехов.

Краснодарский край со своей сельской и промышленной инфраструктурой подходит наилучшим образом для внедрения новых проектов по частичной замене электроэнергии при строительстве и реконструкции промышленных предприятий. Строительство нового тракторно-ремонтного завода позволит внедрять новейшие технологии по замене традиционных источников энергии солнечными батареями.

Применение солнечных батарей для электроснабжения при реконструкции предприятий приносит значительную выгоду. Промышленные предприятия, специализирующиеся на выпуске и ремонте сезонной техники, могут использовать все плюсы солнечной энергии. Применение этого источника энергии в пик потребления позволяет значительно сократить затраты на электроэнергию.

По всей России ряд компаний реализуют мелкие проекты в сфере солнечной энергетики. В Москве есть экспериментальные дома, в которых подъезды и дворы освещаются с помощью новейших солнечных модулей, это сократило расходы на электроэнергию на 25%. На крыше одной из автобусных остановок на Тимирязевской улице установлены солнечные батареи, обеспечивающие работу справочно-информационной системы и Wi-Fi [3].

Для крупных промышленных предприятий, расположенных на территории Краснодарского края, целесообразно переходить на частичное замещение традиционных источников энергии солнечной. Солнечная погода обеспечит заводу необходимую мощность для нор-

мальной работы. Поэтому в этом районе наиболее благоприятно ее использование. В хорошую солнечную погоду батареи могут обеспечивать освещение на всей территории предприятия, а в плохую – аварийное. Лишнюю электроэнергию можно аккумулировать и направлять на работу энергоэкономичных приборов.

Большое количество предприятий являются градообразующими. Поэтому вблизи обсуждаемого в данной работе завода находится много домов. Такое расположение может выгодно отразиться и на экономии электроэнергии для частных домов. Ввиду малого потребления одним зданием электроэнергии возможна замена источника энергии на солнечные батареи с аккумуляторами.

Выводы:

1. Предложенный проект по частичной замене традиционных источников энергии солнечной в новом строящемся заводе может стать основополагающим в сфере альтернативных источников энергии.

2. Несмотря на все недостатки солнечная энергетика активно развивается во всем мире. За счет внедрения новых технологий «лучистая энергия» будет дешеветь и составит достойную конкуренцию иссякающим запасам газа и нефти. Поэтому рассмотренный проект перспективен.

3. В Краснодарском крае расположено большое количество промышленных предприятий. Солнечная энергия может рассматриваться как частичная замена традиционных видов электроэнергии. Широкое распространение солнечные батареи могут получить на предприятиях с сезонной работой.

Список литературы

1. **Стэн, Гибилиско.** Альтернативная энергетика : путеводитель / Стэн, Гибилиско. – М. : Изд. центр «Эксмо-Пресс», 2015. – 386 с.

2. **Сибикин, Ю. Д.** Технология энергосбережения / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : Изд. центр «Форум», 2016. – 352 с.

3. **Энергосберегающие технологии в промышленности** / А. М. Петрова, А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев, С. А. Петрова. – М. : Изд. центр «Форум», 2016. – 272 с.

Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*И. А. Серов**

АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В настоящее время существуют предприятия, при эксплуатации которых можно эффективно использовать энергию ветра.

В данной работе рассматривается проект модернизации электрообеспечения современного промышленного предприятия с использованием ветроэнергетики. Проведенный анализ места расположения предприятия и среднегодовой показатель скорости ветра показали, что энергоэффективность предприятия может быть существенно повышена за счет использования энергии ветра. Обратим особое внимание на ежегодное повышение тарифов на электроэнергию в среднем на 5...6% в год. Увидим один из главных плюсов использования энергии ветра. Цена киловатта электрической энергии, выработанной с помощью ветрогенератора, обладает низкой себестоимостью. В свою очередь это показывает нам абсолютную независимость от цен на ископаемые виды топлива.

Разработка этого проекта связана с тем, что в России с каждым годом растет потребность в энергоресурсах. По данным министерства энергетики РФ: использование электроэнергии в стране на 2015 г. составило 1036,4 млрд кВт·ч и в сравнении с 2011 г. возросло на 15,3 млрд кВт·ч [1]. За период 2011 – 2015 гг. потребление электроэнергии увеличивалось уверенными темпами. Следовательно, необходимо осваивать и разрабатывать проекты на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для экологически и экономически благоприятного будущего России.

Несмотря на то что уже многие страны обратили свое внимание на выработку альтернативной энергии (в частности использование энергии ветра), Россия же, напротив, продолжает увеличивать рост добычи и экспорта невозобновляемых источников энергии.

Одним из первых шагов по урегулированию отрасли ВИЭ стало принятие в 2007 г. поправок к Федеральному закону «Об электроэнергетике», которые заложили основы для развития отрасли.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Ушакова.

Одним из наиболее развивающихся направлений ВИЭ является ветроэнергетика.

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) используются для автономного и резервного электроснабжения.

Широкое применение получили горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветроустановки. И тот и другой класс имеют свои преимущества и недостатки.

По полученным данным EWEA, итоговая производимая мощность ветроэнергии в России за 2015 г. составила всего лишь 15,4 МВт [3], причем за последние пять лет новых мощностей практически не вводилось.

Данная ситуация связана с наличием многих факторов, которые препятствуют развитию ветроэнергетики в нашем государстве.

Во-первых, наличие больших запасов традиционных источников энергии (нефть, уголь, газ) предоставляет возможность отложить развитие не только ветроэнергетики, но и альтернативной энергетики в целом, и также формирует у власти, людей, общественности взгляд на развитие энергетики на основе нетрадиционных источников энергии как на крайне долгосрочную перспективу.

Во-вторых, недостаток информации и неправильное представление о возможностях ветроэнергетики (неосуществимость применения ВЭУ в природных условиях России, малые мощности ветроустановок) ограничивает понимание данного вида отрасли.

В-третьих, в России на данный момент слабо развиты технологии и оборудование, которые позволяют обеспечить длительные сроки эксплуатации.

Существует еще много факторов, препятствующих прогрессу в области ветроэнергетики, но, несмотря на приведенные данные, можно привести множество аргументов в пользу развития ВЭУ в нашей стране, например:

- ветроэнергетические установки не причиняют вред окружающей среде и климату. Ветрогенератор мощностью 1 МВт уменьшает ежегодные выбросы в атмосферу 1800 тонн CO_2 , 9 тонн SO_2 , 4 тонн оксидов азота;

- 70% территории, где живет 10% населения, находится в зоне, где электроснабжение потребителя от источника не имеет связи с энергетической системой (децентрализованное электроснабжение) и нуждается в использовании автономных энергоисточников. Зона децентрализованного электроснабжения практически совпадает

с зоной потенциальных ветроресурсов (Бурятия, Таймыр, Чукотка, Сахалин и др.);

– в крупных промышленных городах (Омск, Екатеринбург, Новосибирск), где годовая скорость ветра не превышает 3...5 м/с, есть возможность применения ветроустановок малой мощности с вертикальной осью вращения, что значительно улучшит экологию городов;

– строительство ВЭУ не требует больших капитальных вложений и осуществляется за короткий срок. Ветроэнергетическая установка на суше мощностью 10 МВт может быть построена за 2 месяца. Причем стоит отметить, что основное время уходит на строительство фундамента и «выдержку» бетона. Монтаж установки длится всего около 3-х дней. А установка мощностью 50 МВт может быть построена за 18 или 24 месяца. Этот срок включает в себя измерение скорости ветра на территории в течение как минимум полугода. Само же строительство ВЭУ занимает около 6 месяцев.

Несмотря на медленное развитие ветроэнергетики в нашей стране, мероприятия для стимулирования этой отрасли проводятся. Правительство России поставило цель: к 2020 г. привести объем производства и использования энергии, вырабатываемой альтернативными источниками энергии, до 4,5% от общего объема. На основании этого было введено в действие ряд нормативных актов, которые должны способствовать созданию комфортных условий для возобновляемой энергетики и простимулировать рост инвестиций в генерирующие объекты.

Так, на основании Постановления Правительства РФ от 28.05.2013 г. № 449 (ред. от 10.11.2015) «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» уже было реализовано несколько инвестиционных проектов на розничных рынках электроэнергии, в том числе в районах с децентрализованным электроснабжением.

В данной работе рассмотрена модернизация системы электроснабжения. В текущем году на территории предприятия планируется ввести в эксплуатацию ветроэнергетический комплекс. Комплекс содержит три ВЭУ суммарной мощностью 900 кВт. По прогнозам, данный комплекс будет каждый год производить больше 2 млн кВт·ч, частично заместив использование электроэнергии из централизованной сети электроснабжения, это окажет благоприятное воздействие на энергоэффективность предприятия. В скором времени планируется построить еще семь ВЭУ, вследствие чего мощность объекта достигнет около 3 МВт [1].

Выводы:

Несмотря на все недостатки, ветроэнергетика активно развивается во всем мире.

Предложенный проект модернизации промышленного предприятия за счет использования энергии ветра является инновационным для развития ветроэнергетики в Российской Федерации.

Основные плюсы использования ВЭУ:

- возобновляемый ресурс энергии, не зависящий от цен на топливо;
- отсутствие выбросов вредных веществ и парниковых газов;
- развитый мировой рынок ветроустановок;
- конкурентная стоимость электроэнергии, не зависящая от стоимости топлива;
- короткие сроки строительства ветроэнергетических станций (ВЭС) с адаптацией мощности ВЭС к требуемой нагрузке;
- возможность децентрализованного обеспечения электроэнергией для отдаленных районов.

Список литературы

1. **Безруких, П. П.** Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов / П. П. Безруких. – М. : Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации/Центр экологической политики России, 2011. – 74 с.
2. **Министерство** энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL : <http://minenergo.gov.ru/node/489>
2. **The World** Wind Energy Association. Half – yearreport 2014 [Электронный ресурс]. – URL : http://www.wwindea.org/webimages/WWEA_half_year_report_2014.pdf
3. **Wind** in power. 2015 Europeanstatistics [Электронный ресурс]. – URL : <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>

Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 621:004.896

*А. А. Дежа**

**МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ
МЕТАЛЛООБРАБОТКИ**

Важнейшим условием успешного развития предприятия сегодня является производство конкурентоспособной продукции. Основой конкурентоспособности является качество выпускаемой продукции.

Качество продукции – важнейший показатель деятельности предприятия.

Что же такое качество продукции? Данное понятие регламентировано ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения». Качество – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [1].

Методы обеспечения качества изделий можно разделить на две части: обеспечение при технологической подготовке производства и обеспечение при изготовлении.

Методы обеспечения качества изделий при технологической подготовке производства:

1. Технологическая наследственность.
2. Поверхностный слой (показатели качества поверхностного слоя; возникновение неровностей при механической обработке; упрочнение поверхностного слоя металла; остаточные напряжения).
3. Обеспечение надежности при выборе способов формообразования.
4. Обеспечение надежности при проектировании технологических процессов обработки изделий (общая методика и последовательность проектирования; выбор технологических баз и составление маршрута обработки заготовки; технический контроль при обработке заготовок; определение припусков на обработку и построение операций механической обработки; документация, фиксирующая технологические разработки).

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. В. Соколова.

Детали изделий, как правило, имеют конструктивные концентраторы напряжений. Концентрация растягивающих напряжений приводит к сильному понижению сопротивления деталей усталостному разрушению. В этих случаях, например, термическая и химико-термическая упрочняющие обработки позволяют резко изменить качество поверхности деталей и обеспечить требуемые эксплуатационные свойства (износостойкость, сопротивление усталости, жаростойкость и др.), поэтому их применение оказывается не только эффективным, но в ряде случаев единственно возможным средством для повышения надежности работы деталей. Расширение области термической и химико-термической упрочняющих поверхностных обработок стало возможным после того, как была усовершенствована технология процессов поверхностной закалки, цементации, азотирования, цианирования, а также в результате разработки новых процессов диффузионного насыщения поверхности материалов (алитирование, диффузионное хромирование, борирование и др.). Износостойкость и коррозионная стойкость могут быть существенно повышены при нанесении на рабочие поверхности деталей металлических и неметаллических покрытий с высокими эксплуатационными свойствами.

Методы обеспечения качества изделий при изготовлении:

Обеспечение качества изделий термообработкой.

Основными видами термической обработки, изменяющими структуру и свойства стали, являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск и старение.

Отжиг. Для получения структур, близких к равновесному состоянию, применяют отжиг – нагрев стали до заданной температуры, выдержку при ней и последующее медленное охлаждение. Понижая прочность и твердость, отжиг улучшает обрабатываемость на станках. Измельчая зерно, снимая внутренние напряжения и уменьшая структурную неоднородность, отжиг способствует повышению пластичности и вязкости по сравнению с полученной после литья,ковки и проката. Различают следующие виды отжига: полный, неполный, низкий, изотермический и др.

Полный отжиг применяют для уменьшения твердости, снятия напряжений и исправления структуры послековки в случае неправильного нагрева. В результате этого структура получается мелкозернистая, обеспечивающая высокую вязкость и пластичность. Неполный отжиг отличается тем, что сталь нагревают до более низкой температуры.

Неполный отжиг применяют для сталей, прошедших правильный режимковки, в целях улучшения обрабатываемости резанием в результате снижения твердости и способности к холодной пластической деформации.

Низкотемпературный отжиг применяют для снижения твердости и снятия внутренних напряжений. Изделие нагревают до соответствующей температуры, выдерживают до полного прогрева, затем охлаждают вместе с печью или на воздухе.

Закалка. Закалка заключается в нагреве стали до соответствующих температур, выдержке для завершения фазовых превращений и последующем охлаждении со скоростью выше критической. Для углеродистых сталей это охлаждение проводят чаще в воде, а для легированных – в масле или в других средах. Закалка не является окончательной операцией термической обработки. Чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь после закалки обязательно подвергают отпуску.

Инструментальную сталь в основном подвергают закалке и отпуску для повышения твердости, износостойкости и прочности, а конструкционную сталь – для повышения прочности, твердости, получения достаточно высокой пластичности и вязкости, для ряда деталей также и высокой износостойкости. Различают следующие способы закалки: полную, неполную, изотермическую и др. Способы закалки отличаются условиями нагрева и охлаждения стали. Выбор способа зависит от состава стали, требуемых свойств и сложности изделий.

Внутренние напряжения в закаленной стали. Внутренние напряжения при закалке стали возникают вследствие неравномерного охлаждения поверхности и сердцевины изделия (эти напряжения называют тепловыми), увеличения объема и неоднородности протекания мартенситного превращения по объему изделия. Напряжения, вызываемые этими превращениями, называют структурными (или фазовыми).

Отпуск закаленной стали. Отпуск заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже критической, выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью. Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которого сталь приобретает требуемые механические свойства. Кроме того, отпуск полностью или частично устраняет внутренние напряжения, возникающие при закалке. Эти напряжения снимаются тем полнее, чем выше температура отпуска. Скорость охлаждения после отпуска также оказывает большое влияние на величину остаточных напряжений. Чем медленнее охлаждение, тем меньше остаточные напряжения. Охлаждение после отпуска на воздухе дает напряжения на поверхности в 7 раз меньше, а охлаждение в масле в 2,5 раза меньше по сравнению с напряжениями при охлаждении в воде. По этой причине изделия сложной формы во избежание их коробления после отпуска при высоких температурах следует охлаж-

дать медленно. Наряду с основным влиянием на свойства стали температуры отпуска большое влияние оказывают следующие методы:

1. Обеспечение качества изделий при механической обработке (наклеп металла поверхностного слоя при механической обработке; остаточные напряжения поверхностного слоя).

2. Технологические методы повышения качества деталей изделий пластическим деформированием (пневмодробеструйное упрочнение; гидродробеструйная обработка; вибрационная обработка; обработка методом обкатывания; Метод термопластического упрочнения).

3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные характеристики деталей машин (сопротивление усталости; износостойкость).

4. Повышение качества изделий нанесением защитных покрытий [2].

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства рассмотрены при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров токарной обработки изложены в книгах [3 – 6].

Список литературы

1. **ГОСТ 15467–79.** Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

2. **Конструкторско-технологические** методы обеспечения качества изделий машиностроения : учеб. пособие / М. А. Вишняков, Ю. А. Вашуков. – Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2005. – 234 с.

3. **Алтунин, К. А.** Разработка системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2016. – 132 с.

4. **Алтунин, К. А.** Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.

5. **Алтунин, К. А.** Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 122 – 133.

6. **Altunin, K. A.** Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – N 2. – P. 67 – 77.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Т. В. Коржавина, П. В. Макеев**

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

В настоящее время вторичная переработка пластмасс ввиду быстрого роста объема их производства приобретает важное экономическое и экологическое значение. И очевидным является то, что без применения инновационных способов переработки существует большая вероятность превращения планеты в одну громадную свалку.

На сегодняшний день в промышленности применяются следующие основные направления утилизации отходов пластмасс:

- сжигание вместе с бытовыми отходами;
- захоронение на полигонах и свалках;
- термические способы утилизации;
- вторичная переработка полимерных отходов.

Наиболее перспективным способом утилизации полимерных отходов является их вторичная переработка и дальнейшее использование по прямому назначению. Использование вторичных полимерных материалов решает сырьевые проблемы, позволяя сократить потребление первичных материальных ресурсов. При этом не только достигается экономический эффект от использования в качестве сырья вторичного материала, но и существенно снижается загрязнение окружающей среды.

Однако, несмотря на все перспективы использования вторичных полимеров в качестве сырья, таким способом утилизируется лишь малое их количество, это связано с трудоемкостью сбора, разделения, сортировки, очистки, мойки и сушки отходов предварительного гранулирования и получения из гранул конечного продукта [1].

Авторами было разработано оборудование, позволяющее совместить стадии предварительного гранулирования и получения изделия, что значительно снижает себестоимость конечного продукта. Экспериментальная установка (рис. 1) выполнена на базе лабораторных вальцов Лб 200 80/80 и представляет собой горизонтально расположенные полые валки 1, 2 диаметром 80 мм и рабочей длиной 200 мм. Передний валок 1 является подвижным. Задний валок 2 является неподвижным, в нем имеется загрузочное отверстие 5, расположенное в зоне максимального давления под углом, равным углу подъема винтовой нарезки шнека. Внутри заднего валка установлен шнек 3. Шнек 3 осуществляет захват материала, транспортировку и создание давления перед формирующей головкой 4 [2].

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» П. В. Макеева.

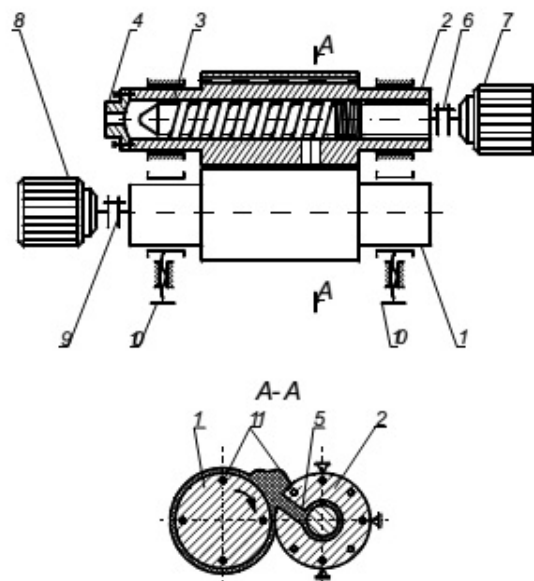


Рис. 1. Схема экспериментальной валково-шнековой установки:
 1 – валок передний; 2 – валок задний; 3 – шнек; 4 – головка формующая;
 5 – окно загрузочное; 6, 9 – муфты; 7, 8 – мотор-редукторы;
 10 – регулирующий механизм; 11 – электронагреватели

На данном оборудовании были проведены экспериментальные исследования по получению вторичного гранулятора из отходов полимерной тары и упаковки.

Далее были исследованы свойства вторичного гранулята, а именно определение кривой ползучести–восстановления полимерного материала и определение постоянных реологического уравнения при различных условиях нагружения.

Для измерения характеристик ползучести образец подвергали нагружению до заданного напряжения δ , после чего под действием этого постоянного напряжения в нем развивается деформация. В результате определяли зависимость относительной деформации от времени t при $\delta = \text{const}$, которую называют кривой ползучести.

На рисунке 2 представлена кривая ползучести–восстановления полимеров в твердом состоянии при напряжениях заметно ниже предела текучести.

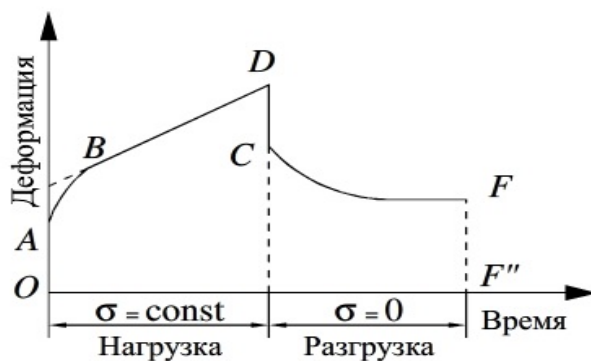


Рис. 2. Кривая ползучести–восстановления

После приложения напряжения деформация развивается мгновенно до величины OA , затем развитие деформации во времени выражается кривой AB , переходящей в прямую BD . Участок OA соответствует небольшой по величине деформации ε_{∞} , которая формально подчиняется закону Гука и называется условно-упругой деформацией. Участок AB – это участок неустановившейся ползучести. Он характеризует одновременно развивающиеся во времени высокоэластическую деформацию и деформацию течения. Прямая BD связана только с процессом установившегося течения. На кривой разгрузки (восстановления) отрезок DC , равный по величине отрезку OA , соответствует мгновенному обратимому восстановлению длины образца. Дальнейшее изменение длины происходит во времени постепенно, что соответствует высокоэластической деформации. После прекращения изменения длины образца отрезок FF'' соответствует остаточной деформации. Природа остаточной деформации после разгрузки может быть двойной. Остаточная деформация может представлять собой либо деформацию вязкого течения, либо необратимую при данной температуре часть высокоэластической деформации. Кривая изменения деформации во времени в процессе нагрузки называется прямым последствием, кривая разгрузки – обратным последствием [3, 4].

В результате проведенных исследований были построены кривые ползучести–восстановления, представленные на рис. 3 – 5.

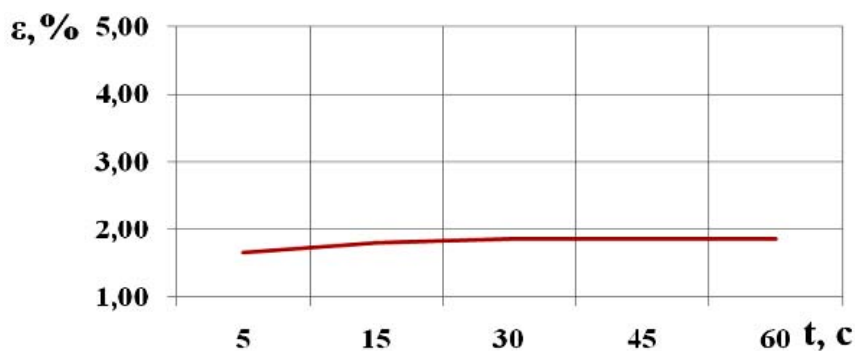


Рис. 3. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке $m_1 = 1$ кг

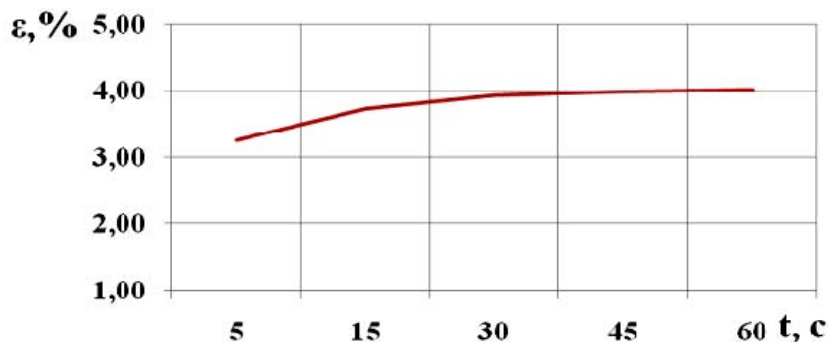


Рис. 4. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке $m_2 = 2$ кг

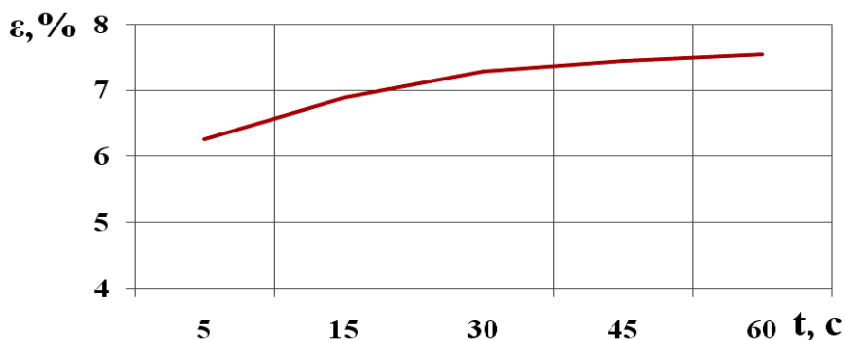


Рис. 5. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке $m_3 = 3$ кг

Данные кривые использовались для определения мгновенной начальной деформации образца ε_M и равновесной деформации образца ε_∞ , которые необходимы для определения реологических постоянных:

$$E = \sigma \frac{2\varepsilon_1 - \varepsilon_M - \varepsilon_2}{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_M \varepsilon_2};$$

$$H = \sigma \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_2}{2\varepsilon_1 \varepsilon_\infty - \varepsilon_1^2 - \varepsilon_2 \varepsilon_\infty};$$

$$\tau = -\frac{t'}{\ln\left(1 - \frac{\varepsilon(t') - \varepsilon_M}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_M}\right)}.$$

Список литературы

1. **Переработка** мусора (ТБО) – инвестиции в будущее. – URL : <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/utilizaciya-otxodov-plastmass>
2. **Утилизация** полимерной тары и упаковки : учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.
3. **Применение** интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом / А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 870 – 881.
4. **Вторичная** переработка полимерных материалов на вальцах / И. В. Шашков, А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин // Полимеры в строительстве : тез. докл. – Казань, 2004. – С. 111.

*М. Д. Мордасов**

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРМИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

Композиционные материалы и покрытия с высокой адгезией к материалам различной природы востребованы как на Российском рынке, так и зарубежном, а понимание процессов создания и эксплуатации композитов позволит обеспечить их распространение в стране. По данным стратегических исследований, можно сделать вывод, что объемы применения этих материалов в будущем будут возрастать, а области применения – расширяться. Российский строительный рынок предлагает широкий спектр смесей и растворов для обустройства защитно-декоративных покрытий строительных конструкций, часто импортного производства. Большинство таких покрытий имеет высокую себестоимость, ограниченную область применения по условиям окружающей среды. В настоящее время в строительстве широко применяются полимерцементные составы. Главным образом это связано с их высокой технологичностью, высоким качеством получаемых покрытий и другими преимуществами. Использование в этих составах минеральных наполнителей позволяет регулировать их физико-химические, физико-механические свойства, адгезионные, диэлектрические и другие свойства. Для многих регионов России характерен широкий диапазон сезонного изменения условий окружающей среды, что накладывает ограничения на применение существующих полимерцементных материалов и покрытий. Решение проблемы повышения стойкости строительных материалов и покрытий связано с повышением их физико-химических и физико-механических свойств, что может быть достигнуто путем применения связующих на основе минеральных и органических вяжущих веществ. Создание композиционных материалов такого уровня сложности включает целый спектр взаимосвязанных задач: подготовка и характеристика компонентов, теоретическое и экспериментальное изучение взаимодействий на бинарных контактах, разработка технологических процессов создания композитов и метрологического обеспечения исследований и испытаний полученных материалов и покрытий.

В рамках решения обозначенных выше задач нами проведены теоретические и экспериментальные исследования по выбору базовой композиции полимерминерального материала, комплекс функциональных свойств которого формируется путем введения соответствующих микро- и наноразмерных минеральных наполнителей, разра-

* Работа выполнена под руководством, д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ» Д. М. Мордасова.

ботана методика комплексной оценки их структуры в целях научно-обоснованной разработки составов с заданными свойствами.

При достижении некоторой критической концентрации дисперсных фаз в жидкой среде агрегативно-неустойчивая система переходит к коагуляционной структуре. Возникает объемный каркас, образуемый дисперсными частицами, которые соединены между собой через тонкие водные прослойки и водные дисперсии полимеров. Полимерные частицы оказывают влияние на процесс структурообразования материала. Они оседают на поверхности цементного геля, непрореагировавших зернах цемента, мелкого заполнителя и агрегируются в виде полимерных мембран, в объем которых входят молекулы воды. Наличие таких мембран изменяет кинетику гидратации цементного вяжущего, позитивно влияя на формирование структуры гидратных новообразований. Частицы полимера, рассеянные между зёрнами цемента, адсорбируются на их активных центрах. Молекулы сополимера, удерживая воду силами Ван-дер-Ваальса, равными теплоте испарения и энергии капиллярной диффузии воды, образуют аквакомплексы. Они оказывают замедляющий эффект, обеспечивая равномерность и большую степень гидратации цемента. Образовавшиеся аквакомплексы замедляют гидратацию трехвалентного алюмината. В процессе коагуляционного структурообразования происходит зарождение кристаллов новообразований. При этом прочных химических связей между неорганической и органической составляющими структуры не наблюдается, а взаимодействие имеет коагуляционный характер, основанный на слабых водородных и Ван-дер-Ваальсовых связях. Важным элементом структуры является контактная зона между полимерцементным камнем, заполнителем и наполнителем. Формирование ее начинается уже на начальной стадии твердения растворной смеси. Поверхность зерен заполнителя и наполнителя при твердении полимерцементного вяжущего выполняет роль подложки, облегчающей образование кристаллических зародышей гидратов.

В целях формирования комплекса функциональных свойств путем введения соответствующих микро- и наноразмерных минеральных наполнителей в рамках настоящего исследования проведен фрактальный анализ и получены зависимости, связывающие фрактальную размерность с физико-механическими и структурными характеристиками материалов. Рассмотрение сыпучих материалов как мультифрактальных объектов с физической точки зрения является более правильным. Мультифрактальность состоит в том, что в зависимости от изучаемых кластеров последние характеризуются спектром фрактальных размерностей. Определение фрактальной размерности сыпучих материалов различной дисперсности проводилось в соответствии со специально разработанной методикой, основанной на экспериментальном

установлении закона распределения агрегатов (кластеров) по размерам и массам. По результатам исследований установлена зависимость истинной плотности сыпучих материалов от их фрактальной размерности. В частности для неметаллических порошков при увеличении истинной плотности материала фрактальная размерность увеличивается. Доказано, что такой характер изменения определяется типом химической связи вещества частиц порошка [1]. Кроме того, получены зависимости, связывающие изменение фрактальной размерности порошков с плотностью их упаковки и гранулометрическим составом [2].

На основе проведенных исследований определены задачи, подлежащие исследованию для достижения поставленной цели – разработки многофункциональных полимерминеральных материалов и покрытий:

- изучение влияния микро- и наноструктурных минеральных наполнителей (шунгит, маршалит, трепел, волластонит, гидроксид алюминия, материалы, содержащие оксиды Ca, Mg, Al, Ti, Si) на механизм гидратации и структурообразования полимерминерального композиционного материала на основе водной дисперсии сополимера стирола, акриловой кислоты и бутилакрилата;

- установление степени влияния и оптимального соотношения используемых наполнителей на характер межфазного взаимодействия;

- определение субмикроструктурных, электрофизических и структурно-механических характеристик составляющих полимерминерального композиционного материала на основе водной дисперсии сополимера стирола, акриловой кислоты и бутилакрилата;

- теоретическое и экспериментальное обоснование принципов получения композиций для функциональных покрытий на основе портландцемента, минеральных наполнителей и органического вяжущего на основе водной дисперсии сополимера стирола, акриловой кислоты и бутилакрилата;

- разработка многофакторных моделей, устанавливающих зависимости структурно-механических характеристик полимерминерального композиционного материала с различными наполнителями (шунгит, маршалит, трепел, волластонит, гидроксид алюминия, материалы, содержащие оксиды Ca, Mg, Al, Ti, Si) от их состава;

- определение особенностей формирования контактных зон созданных полимерминеральных материалов с различными основами (металл, дерево, бетон и пр.).

Полученные результаты позволят:

- углубить представления о механизмах влияния минеральных компонентов на процессы гидратации цемента и структурообразования композиционных полимерминеральных материалов;

- системно решать задачи создания материалов и покрытий с заданными функциональными свойствами;

– создать семейство полимерминеральных материалов и дать практические рекомендации по их применению для формирования покрытий, область применения и функциональность которых варьируется в зависимости от содержания соответствующего наполнителя;

– разработать теоретические и практические основы целенаправленного структурообразования и формирования свойств покрытий на основе полимерминерального композиционного материала путем модифицирования его микро- и наноструктурными минеральными наполнителями в условиях механоактивации на стадии смешения и механохимической активации в процессе их нанесения.

Список литературы

1. **Мордасов, Д. М.** Влияние истинной плотности частиц порошковых систем на их фрактальную размерность / М. Д. Мордасов, А. В. Фирсова, Д. М. Мордасов // Вестник Тамбовского государственного университета, 2017. – Т. 23, № 2. – С. 348 – 355.

2. **Мордасов, Д. М.** Влияние физико-механических свойств и структурных характеристик сыпучих материалов на их фрактальную размерность / Д. М. Мордасов, М. Д. Мордасов, И. Г. Проценко // Современные технологии композиционных материалов: матер. II науч.-практ. молодежной конф. с междунар. участием: 18 – 21 октября 2016. – Уфа: Изд-во Башкирского государственного университета, 2016. – С. 98 – 102.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 621.91.01

А. В. Солдатов*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА

В современном мире, где развитие прогресса идет семимильными шагами, актуальным становится вопрос о проблеме обеспечения точности выпускаемых изделий. С развитием техники и технологий все больше требуется совершенствование технологических процессов под современное оборудование. Это требует от человечества все больше новых идей и задумок. Но без современного оборудования все усилия могут оказаться тщетны. Поэтому разрабатываются новейшие станки для металлообработки в целях повышения точности продукции и

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. Х. Фидарова.

автоматизации производства, так как оборудование, разработанное в советское время, уже изношено и не соответствует необходимым современным стандартам качества выпускаемой продукции. Качество продукции является одним из важнейших средств конкурентной борьбы, завоевания и удержания позиций на рынке. Поэтому фирмы уделяют особое внимание обеспечению высокого качества продукции, устанавливая контроль на всех стадиях производственного процесса, начиная с контроля качества используемых сырья и материалов и заканчивая определением соответствия выпущенного продукта техническим характеристикам и параметрам не только в ходе его испытаний, но и в эксплуатации. Качество изготавливаемых деталей на станках также во многом зависит и от жесткости технологической системы станок–приспособление–инструмент–заготовка. В связи с этим в данной статье приводятся основные понятия о жесткости технологической системы, о том, как она влияет на точность обработки и методах ее повышения.

Механическая обработка заготовок на токарно-винторезных станках выполняется с использованием приспособлений и инструментов. Все узлы и устройства, участвующие в процессе обработки, и обрабатываемая деталь образуют технологическую упругую систему (СПИЗ): станок–приспособление–инструмент–заготовка. Эта технологическая система является замкнутой динамической системой, способной к возбуждению и поддержанию вибраций, порождающих погрешности формы обрабатываемых поверхностей (некруглость, волнистость) и увеличивающих их шероховатость.

С рассматриваемой точки зрения важной характеристикой этой системы является ее жесткость. Жесткостью технологической системы называется способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил.

При проведении эксперимента мы убедились, что жесткость системы СПИЗ зависит от жесткости составляющих ее элементов. К примеру, при обточке на токарно-винторезном станке длинного и тонкого вала жесткость элементов станка очень велика, а жесткость обрабатываемой заготовки мала, соответственно отжатия передней и задней бабок от инструмента малы, а отжатие заготовки от инструмента значительно. В результате этого форма заготовки становится бочкообразной. Наоборот, при обработке массивной заготовки, дающей минимальный прогиб, на станке малой жесткости форма заготовки получается корсетообразной с наименьшим диаметром в середине заготовки.

Перейдем теперь непосредственно к определению погрешностей, связанных с упругими деформациями системы под воздействием сил резания. В результате этих деформаций изменяется расстояние между режущей кромкой инструмента и базовой поверхностью (линией, осью) заготовки.

Для вычисления погрешностей обработки, связанных с упругими отжатыми технологической системы, необходимо знать ее жесткость. Жесткость j , кН/м, технологической системы принято оценивать как отношение нормальной составляющей P_y , кН, силы резания к суммарному смещению y , мм, лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки, измеренному в направлении нормали к этой поверхности:

$$j = \frac{P_y}{y}. \quad (1)$$

Как следует из предыдущего:

$$\Delta_{\text{обр}} = y_{\text{п.б}} + y_{\text{з.б}} + y_{\text{присп}} + y_{\text{заг}} + y_{\text{инстр}}, \quad (2)$$

где $y_{\text{п.б}}$ и $y_{\text{з.б}}$ – отжатие передней и задней бабок станка от инструмента; $y_{\text{присп}}$, $y_{\text{заг}}$, $y_{\text{инстр}}$ – отжатие приспособления, заготовки и инструмента соответственно.

Рассматривая рис. 1, видно, что при нахождении резца в максимальной близости от передней бабки сила отжатия резца относительно передней бабки максимальна, а относительно задней бабки равна нулю. И наоборот, в максимальной близости задней бабки сила отжатия задней бабки максимальна, а передней равна нулю. Максимальный прогиб заготовки в результате ее отжатия от резца возникает, когда силы отжатия передней и задней бабок равны, тем самым возникает погрешность обработки [1, 2].

При определении жесткости перемещение всегда измеряется в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, и в расчет вводится нормальная составляющая усилия P_y резания, однако при этом одновременно учитывается влияние на y и остальных составляющих силы резания (P_y и P_x). Исследования показали, что при нагружении системы одной силой P_y упругое смещение y всегда больше, чем с учетом одновременного нагружения силами P_x , P_z .

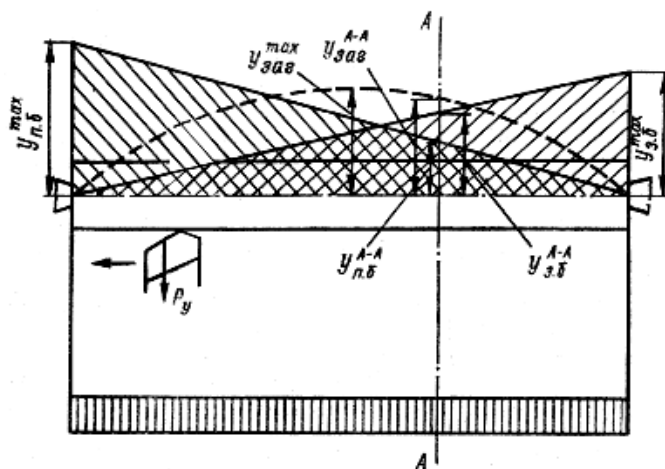


Рис. 1. Упругие отжатия технологической системы

Это значит, что численное значение жесткости меньше. В связи с этим при проведении экспериментов технологическую систему следует нагружать системой сил, максимально приближенной к эксплуатационным нагрузкам.

В случаях расчета жесткости отдельных звеньев технологической системы, а также при расчете погрешностей обработки связанных с упругими отжатыми удобно пользоваться понятием податливости. Податливостью ω технологической системы называется способность этой системы упруго деформироваться под действием внешних сил. Отжатие резца, связанное с его прогибом, мало отражается на изменении фактического радиуса обработки, и при диаметре заготовки в несколько десятков миллиметров радиальное отжатие не принимается во внимание, а отжатие заготовки можно посчитать по обычным формулам сопротивления материалов. Так, обрабатываемую заготовку в форме гладкого вала, установленную в центрах, можно уподобить балке, лежащей на двух опорах с нагрузкой посередине пролета.

При различной твердости отдельных заготовок податливость технологической системы порождает рассеяние размеров обрабатываемых заготовок, а при колебании твердости в пределах одной заготовки, вызывает погрешности геометрической формы деталей.

Жесткость технологической системы может быть повышена следующими методами:

1. Созданием жесткой конструкции и изменением размеров элементов технологической системы.

2. Сокращением общего числа звеньев технологической системы.

Податливость технологической системы определяется суммой податливостей входящих в нее звеньев, поэтому уменьшение числа звеньев снижает податливость и повышает жесткость системы.

3. Повышением качества механической обработки деталей (особенно поверхностей стыков).

Для повышения жесткости стыков целесообразно применять методы обработки пластическим деформированием (накатка роликами и шариками), снижающие шероховатость и значительно увеличивающие микротвердость обработанных поверхностей.

4. Повышением качества сборки.

5. Правильным режимом эксплуатации станков.

Жесткость элементов технологической системы является переменной величиной, зависящей от ряда факторов (рабочей температуры, количества и состояния смазки, характера приложения нагрузки и др.), связанных с условиями эксплуатации.

6. Систематическим надзором за оборудованием в процессе его эксплуатации с периодической проверкой жесткости всех элементов технологической системы.

Жесткость технологической системы в процессе эксплуатации уменьшается в результате воздействия различных производственных причин, вызывающих износ и разрегулировку элементов системы [3 – 6].

Список литературы

1. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения : учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 512 с.
2. **Лабораторный** практикум по технологии машиностроения / под ред. В. В. Бабука. – М. : Высшая школа, 1983. – 220 с.
3. **Основы** технологии машиностроения / под ред. В. С. Корсакова. – М. : Машиностроение, 1977. – 416 с.
4. **Алтунин, К. А.** Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.
5. **Алтунин, К. А.** Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 122 – 133.
6. **Altunin, K. A.** Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – N 2. – P. 67 – 77.

Кафедра КИСМ ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 621.91.01

*А. В. Солдатов**

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Механическая обработка заготовок в машиностроительном производстве на токарных станках выполняется с помощью инструментов и приспособлений. Все эти узлы и устройства образуют одну единую замкнутую упругую систему: станок–приспособление–инструмент–заготовка. Эта система обладает жесткостью, и чем она выше, тем точ-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. Х. Фидарова.

нее и быстрее производится обработка поверхностей заготовок. На более жестких станках можно изготовить больше деталей за единицу времени, чем на станках меньшей жесткости. Это ведет к повышению производительности оборудования и в первую очередь значительному сокращению затрат электроэнергии на изготовление единицы продукции.

Производительность механической обработки находится в непосредственной связи с жесткостью технологической системы. Основное уравнение жесткости может быть представлено в виде формул:

$$y = \omega C_{Py} t^{x_p} s^{y_p}, \quad (1)$$

$$\omega = \frac{1}{j}, \quad (2)$$

где ω – податливость технологической системы; j – жесткость технологической системы; C_{Py} – коэффициент, характеризующий твердость материала обрабатываемой заготовки; t – глубина резания, мм; s – скорость подачи, мм/об; x_p и y_p – показатели степени.

В формуле (1) податливость ω выступает в качестве коэффициента пропорциональности между производительностью и погрешностью обработки [1]. Профессор А. П. Соколовский показал, что при токарной обработке заготовок быстрорежущими резцами за один ход с заданной точностью продолжительность обработки единицы поверхности, выраженная основным технологическим временем обработки, приблизительно обратно пропорциональна корню квадратному из жесткости системы (\sqrt{j}). Другими словами, повысив жесткость системы в 4 раза, можно вдвое уменьшить машинное время обработки. Приведенные данные показывают, что одним из способов повышения точности обработки является уменьшение упругих отжатий технологической системы посредством повышения ее жесткости.

Жесткость технологической системы может быть повышена сокращением общего числа звеньев, входящих в размерную цепь. Податливость технологической системы определяется суммой податливостей входящих в нее звеньев, поэтому уменьшение числа звеньев уменьшает податливость и повышает жесткость системы:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n. \quad (3)$$

Сокращать следует не только число звеньев технологической системы, но и количество отдельных элементов системы (промежуточных

приспособлений и державок), а также деталей станков и приспособлений. Уменьшение числа деталей достигается посредством замены нескольких мелких деталей одной сложной и массивной деталью; созданием конструкции станков, у которых корпуса шпиндельных бабок отливаются вместе со станиной. При этом значительное влияние на жесткость будет оказывать качество их сборки, а именно тщательность пригонки сопрягаемых поверхностей, величины зазоров в соединениях и предварительных натягов [2, 3].

Вопросы обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки и в процессе производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров токарной обработки, изложены в книгах [4 – 6].

Список литературы

1. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения : учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 512 с.

2. **Расчет** припусков и операционных размеров в технологии машиностроения : учебник для вузов (Гриф УМО АМ) / В. А. Тимирязев, Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе и др. – Тамбов : Студия печати Галины Золотовой, 2015. – 350 с.

3. **Фидаров, В. Х.** Моделирование точности размерной обработки на токарно-копировальном станке / В. Х. Фидаров // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – С. 139 – 144.

4. **Алтунин, К. А.** Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 122 – 133.

5. **Altunin, K. A.** Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – N 2. – P. 67 – 77.

6. **Алтунин, К. А.** Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.

Кафедра КИСМ ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*Г. В. Соломахо**

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИХИНОНОВ
НА ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ МЕЗОПОРИСТЫХ
УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ
РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Органические материалы, способные к редокс-превращениям, привлекают внимание ученых и производителей для применения в химических источниках тока. Вместе с общеизвестными и давно изученными редокс-полимерами типа полианилина, полипиррола, политиофена в последнее время растет интерес к редокс-полимерам хиноидного типа. Полихиноны обладают способностью к обратимым редокс-превращениям и потому интересны как компоненты композиционных материалов для химических источников тока, в частности литий-ионных.

Электрохимическая стабильность полихинонов при многократной перезарядке может быть выше, чем у полианилина, поскольку в главной полимерной цепи у полихинонов только атомы углерода, а в полианилине присутствуют гидролитически нестойкие азот-углеродные связи. Полихиноны в большинстве случаев не являются электропроводными, что делает синтез их нанокомпозитов с электропроводящими наноуглеродными носителями актуальным [1].

Существует ряд литературных источников, описывающих способы полимеризации п-бензохинона и нанесения его на углеродные поверхности [2, 3], на основании которых автор данной статьи в составе научной группы проводил свои исследования.

Рассмотрим эксперименты, в ходе которых авторский способ модернизировался до получения оптимальных параметров.

Образец S_083_1. В качестве рабочей емкости использовали круглую колбу, в которую помещали 0,3 г мезопористого углеродного наноматериала (МПУ) (здесь и далее: G_184-A1, производство ООО «Нанотехцентр»), 0,667 г п-бензохинона Ч и 16,6 мл дистиллята. Далее, на «водяной бане» приспособление нагревали до 90 °С, а перемешивание компонентов осуществляли магнитной мешалкой. Весь процесс проходил в постоянном потоке аргона со скоростью 0,5 л/мин. Эксперимент длился 8 ч. Затем готовую смесь промывали через фильтр из полипропиленовой ткани подогретой (50...60 °С) дистиллированной водой и высушивали при 110 °С до постоянной массы. Выход продукта составил 573,1 мг.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, зав. кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Г. Ткачева.

Образец S_083_2. Масштабирование эксперимента в 10 раз (3 г МПУ, 6,67 г п-бензохинона Ч и 166,67 мл дистиллята). Также изменился принцип перемешивания, а именно – использовали механическую мешалку – стержень и навеску из полипропилена, скорость вращения 100 RPM. Остальные параметры эксперимента те же, что и в *S_083_1*. После промывания и сушки масса готового продукта составила 6,21 г. Считая, что углерод не сгорает и не улетучивается в процессе осаждения, можно сделать выводы о составе – 48,3% углерода, 51,7% полихинонов.

Образец S_083_3. Снова масштабирование до объема воды 500 мл, т.е. использовали 500 мл дистиллята, 20 г п-бензохинона Ч и 9 г МПУ. Также в этом и последующем экспериментах применяли круглодонную колбу с двойным горлом. К основному выходу аппарата присоединяли стеклянный холодильник, через который осуществлялся вывод отработанных газов, и помещали вал мешалки. Второе же горло служило для подачи аргона в процессе осаждения. Вал и рабочая поверхность мешалки выполнены полностью из полипропилена. Остальные параметры эксперимента остались неизменными. После промывки и сушки масса материала 17,47 г. Следуя вышесказанным допущениям, соотношение масс в продукте – 51,5% МПУ и 48,5% полихинонов.

Образец S_083_4. В данном эксперименте опробован метод осаждения в среде HFeCl_4 3М (к основным компонентам добавлено 100 мл раствора). Весь процесс проводили по аналогии с предыдущими. На выходе получено 20 г продукта, из которых 45% МПУ и 55% полихинонов.

Образец S_083_5. Попытка осаждения хинона на углеродные нанотрубки. Соответственно, вместо МПУ в исходном составе использовали предварительно окисленные гипохлоритом и обработанные ультразвуком УНТ Таунит-М (производства ООО «Нанотехцентр»). Остальные параметры эксперимента по аналогии с *S_083_3*. Выход готового продукта составил 14,69 г и содержание масс – 61,3% УНТ и 38,7% полихинонов.

Образец S_083_6. Аналог предыдущего опыта с добавлением в исходный состав 100 мл HFeCl_4 3М. Теперь масса готового продукта 17 г, а пропорции – 53% УНТ и 47% полихинонов.

Образец S_083_7. В качестве углеродного материала использовали раствор оксида графита 1% (G_001-1, производство ООО «Нанотехцентр»). Соответственно, исходными материалами стали 500 г данного раствора и 20 г п-бензохинона Ч. Технические параметры эксперимента остались неизменными. На выходе получено 12,49 г материала, из которых 40% графена и 60% полихинонов.

Образец S_083_7A. Было решено провести термическую обработку материала *S_083_7*. 2 г порошка помещали с помощью графлекс-

вой лодочки в трубчатую печь на 1 ч при 200 °С с продувкой аргоном 1 л/мин. Во время обработки материал потерял 0,1 г веса (5%).

Результаты исследований электропроводности. Использовали следующую методику: экспериментальная ячейка – стеклянный корпус (площадь внутреннего сечения 0,06 см²), два металлических стержня суммарной длиной 29,4 мм, приспособления для нагрузки давлением в 10 и 20 МПа, мультиметр. В стеклянный корпус загружали небольшую часть исследуемого образца, придавливали с двух сторон стержнями и с помощью приспособления подвергали нагрузке сначала в 10, затем в 20 МПа. Предварительно учитывали длину стержней без материала и погрешность мультиметра по сопротивлению 0,4 Ом. В момент нагрузки мультиметром считывали сопротивление на концах стержней. Внутренним сопротивлением стержней пренебрегали. Удельное сопротивление вычисляли по формуле

$$\rho = R[\text{Ом}]S[\text{см}^2]/L[\text{см}], \text{ Ом}\cdot\text{см}.$$

Для удобства все экспериментальные данные сведены в таблицу.

Вывод. Наивысшим удельным сопротивлением обладают материалы № 6, 7 и 5, а наименьшим – № 4, в котором применяли осаждение полихинонов на МПУ в среде хлорного железа. Из представленной серии данный образец оптимален для использования в качестве наполнителя для химических источников тока.

Результаты исследований электропроводности

№	Состав	L ₁₀ , мм	L ₂₀ , мм	R ₁₀ , Ом	R ₂₀ , Ом	ρ ₁₀ , Ом·см	ρ ₂₀ , Ом·см	m, г
S_083_1	МПУ (проба № 1)	6,3	5,6	7,4	4,0	0,705	0,428	0,022
S_083_2	МПУ (проба № 2)	6,5	5,6	6,9	3,6	0,637	0,386	0,025
S_083_3	МПУ (полный объем)	5,6	5,0	6,2	3,5	0,664	0,420	0,021
S_083_4	МПУ + железо	11,6	10,3	11,0	6,4	0,569	0,373	0,047
S_083_5	УНТ	7,2	5,3	89,3	32,7	7,442	3,702	0,022
S_083_6	УНТ + железо	11,3	9,4	160,8	61,8	8,538	3,945	0,041
S_083_7	Графен	7,6	6,3	105,3	55,6	8,313	5,295	0,029
S_083_7A	Графен (термообр.)	9,6	8,1	74,0	44,3	4,625	3,281	0,032

Список литературы

1. **Zhiqiang, Zhu.** Review-Advanced Carbon-Supported Organic Electrode Materials for Lithium (Sodium)-Ion Batteries / Zhiqiang Zhu, Jun Chen // Journal of The Electrochemical Society. – 2015. – N 162(14). – A2393 – A2405.
2. **Рагимов, А. В.** Исследование термической полимеризации п-бензохинона / А. В. Рагимов, Ф. Т. Бекташи, Б. И. Лиогонький // Высокомолекулярные соединения. – 1975. – Т. (А) XVII, № 12. – С. 2753 – 2758.
3. **Electrochemically** Stabilised Quinone Based Electrode Composites for Li-ion Batteries / Klemen Pirnat, Robert Dominko, Romana Cerc-Korosec et al. // Journal of Power Sources. – 2012. – N 199. – P. 308 – 314.

*Кафедра «Техника и технологии
производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.913.816

*А. А. Свиридов**

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Для получения способом резания поверхностей заданной геометрической формы и размеров на изделии требуется создать точные формообразующие движения инструмента и заготовки, траектории и скорости которых связаны между собой кинематической зависимостью и не могут быть произвольными. Для выполнения в станке требуемого исполнительного движения необходимо создать кинематическую связь между исполнительными органами станка (узел заготовки и узел инструмента) и кинематическую связь конечных звеньев цепи (заготовка и инструмент) с источником движения, которая в большинстве случаев осуществляется с помощью механических звеньев (зубчатые и иные передачи, червяки, ходовые винты, кулачки и т.п.) как в цепях привода, так и во внутренних (формообразующих) цепях станка.

К числу определяющих факторов, влияющих на кинематическую структуру зубообрабатывающих станков со сложными формообразующими движениями, относятся:

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Ванина.

1) структура кинематических цепей обката деления и различного ряда подач;

2) способы соединения групп обката и деления для конических колес и средства реализации этих способов;

3) компоновка станка, определяющая взаимное пространственное расположение узла заготовки и узла инструмента.

Структура кинематических цепей в значительной степени определяет конструктивную сложность станка, методы его настройки, оказывает существенное влияние на жесткость, точность (геометрическую и кинематическую) и виброустойчивость станка, особенно в станках с точными кинематическими цепями для осуществления точных взаимосвязанных формообразующих и координатных перемещений, когда необходимо создать жесткую кинематическую связь между инструментом и заготовкой.

Главным преимуществом кинематических цепей, составленных из механических звеньев, является то, что они обеспечивают точные значения передаточных отношений выходных звеньев кинематической цепи и не требуют дополнительной поднастройки в процессе работы.

На кинематическую точность внутренних цепей, составленных из механических звеньев, оказывают влияние следующие погрешности элементов цепей:

а) погрешности изготовления (погрешности формы и взаимного расположения рабочих поверхностей зубчатых и резьбовых венцов, кулачков, обкатных и делительных дисков);

б) монтажные погрешности звеньев на валах и подшипниках;

в) силовые погрешности, вызванные деформациями звеньев и валов под нагрузкой;

г) температурные погрешности.

Существенное влияние на точность цепи оказывает крутильная жесткость, которая определяется взаимным углом поворота валов конечных звеньев кинематических цепей в зависимости от приложенного крутящего момента, протяженности цепи, жесткости стыков кинематических пар, числом таких стыков. Особенно большое значение приобретает влияние крутильной жесткости в цепях значительной протяженности, при этом цепи не всегда обеспечивают необходимую кинематическую точность, так как повышенное трение, изнашивание звеньев приводят к постоянному снижению точности кинематических цепей.

При сложном пространственном расположении рабочих органов зубообрабатывающего станка (узла заготовки и узла инструмента), при большом числе промежуточных подвижных звеньев цепи и при значительном расстоянии между подвижными рабочими органами жесткие

кинематические цепи, составленные из механических звеньев, становятся многозвенными, протяженными и громоздкими, что приводит к усложнению конструкции цепей и станков в целом, а также к снижению точности функционально связанных перемещений исполнительных органов, увеличению металлоемкости.

Использование механических связей для построения внутренних (формообразующих) цепей металлорежущих станков не удовлетворяет возрастающим требованиям повышения точности, жесткости, снижения металлоемкости, а все известные традиционные методы построения внутренних цепей на основе механических связей и повышения их точности, которая сводится к увеличению жесткости станков, повышению качества сборки и доводки узлов, выбору рациональной конструкции базовых деталей, достигли определенного уровня влияния на точность станков и практически не имеют резервов ее повышения. Дальнейшие работы в этом направлении приводят к существенному увеличению стоимости станка [1].

Одним из возможных практически реализуемых способов повышения точности и снижения металлоемкости цепей может быть применение взамен механических связей гидравлических связей на основе гидравлического шагового привода, что приводит к сокращению протяженности цепей благодаря исключению из состава до возможного минимума промежуточных механических звеньев (зубчатые и иные передачи, валы, муфты и т.п.), и как результат – к снижению металлоемкости кинематической цепи и станка в целом.

Гидравлические связи для построения внутренних (формообразующих) цепей выполняются на основе шагового гидравлического привода, осуществляются по разомкнутой схеме без применения датчиков обратной связи.

Гидравлический шаговый привод составляет новый класс объемных гидроприводов, функциональные особенности которых состоят в том, что они способны устойчиво обрабатывать релейные и импульсные сигналы с высокой точностью и большим усилием при значительной нагрузке [2 – 4].

Структурно шаговый гидропривод представляет собой гидромеханическую систему, состоящую из трех функционально и конструктивно завершенных агрегатов (модулей): источника рабочей жидкости (насосная установка), управляющего (коммутирующего) устройства – генератора гидравлических импульсов и исполнительного силового шагового гидродвигателя.

В качестве силового органа в шаговом гидроприводе используется специальный шаговый гидродвигатель, выходное звено которого

отрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилием по мощности.

Автономные функционально и конструктивно завершенные агрегаты (модули) шагового гидропривода имеют типовые присоединительные размеры и стыковочные устройства, что обеспечивает возможность соединения с конечными звеньями кинематических цепей, в качестве которых для данного типа металлорежущих станков применяются делительные червячные передачи.

Используя особенности частотного регулирования скорости исполнительных силовых шаговых гидродвигателей и высокие компоновочные качества шагового гидропривода представляется возможным гидравлические связи на основе шагового гидропривода применить для построения внутренних (формообразующих) цепей станков со сложными движениями формообразования, требующих точных взаимосвязанных движений заготовки и инструмента взамен механических цепей [5 – 6].

Это особенно актуально в станках, имеющих сложное пространственное расположение рабочих органов – узла заготовки и узла инструмента – при значительном расстоянии между ними, сложные разветвленные многозвенные переналаживаемые механические цепи значительной протяженности, где требуется осуществить необходимые относительные взаимосвязанные формообразующие движения инструмента и обрабатываемой заготовки, где наличие тяжело нагруженных длинных силовых кинематических цепей, подверженных значительным механическим и температурным деформациям и износу, требует громоздких имеющих низкий КПД механических устройств.

Список литературы

1. **Кинематическая** структура металлорежущих станков с гидравлическими связями в внутренних (формообразующих) цепях для нарезания зубьев конических колес / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 308 – 316.

2. **Построение** внутренних (формообразующих) цепей зубообрабатывающих станков на основе унифицированных гидравлических связей / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, В. И. Иванов, О. Н. Трифионов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2013. – № 4(27). – С. 23 – 29.

3. **Металлорежущие** станки с гидравлическими связями на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вестник

Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 167 – 176.

4. **Ванин, В. А.** Кинематическая структура зубодолбежных станков с гидравлическими внутренними (формообразующими) связями на основе шагового гидропривода / В. А. Ванин, А. Н. Колодин // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2013. – № 7. – С. 28 – 34.

5. **Ванин, В. А.** Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими формообразующими связями / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // СТИН. – 2014. – № 5. – С. 2 – 8.

6. **Vanin, V. A.** Kinematic Structure of Metal-cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – N 4(12). – P. 763 – 768.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.9

С. Н. Крапивин*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОСТИ СДВИГА ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Расчет методом конечных элементов используется при моделировании процессов резания и имеет ряд преимуществ, включая прогнозирование сил от инструмента, распределение напряжений и температур, оценку износа инструмента и остаточных напряжений на обработанных поверхностях, оптимизацию геометрии режущего инструмента и режимов резания. Тем не менее определить характер взаимодействия трения и материала заготовки в зоне резания не всегда возможно. В статье рассмотрены процессы резания металлов и полученные результаты. Процесс трения основан на оценке нормального распределения напряжений по передней поверхности. В этой статье показано изменение температуры стали в начале процесса резания, угла сдвига и плоскости сдвига.

Процесс резания металла требует прогнозирования параметров обработки, таких как силы резания, напряжения и деформации. Более века назад процесс стружкообразования был основан на модели сдвига

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. В. Соколова.

или теории линий скольжения. В то время эти модели были очень эффективны, но в дальнейшем они не смогут спрогнозировать нелинейное поведение материала заготовки. Метод конечных элементов обеспечивает возможность решения нелинейных задач. Конечный элемент проверяется симуляцией процесса резания металлов. Эти исследования можно разделить на две важные части: подход Лагранжа и подход Эйлера:

а) подход Лагранжа является естественным для исследования механики твердого тела. В основном при имитационном моделировании процесса резания этот подход дает ясную картину о напряжениях в зоне остаточных деформаций, области сдвиговых напряжений и температурном поле;

б) подход Эйлера наиболее удобно использовать для непрерывных проблем, связанных с управлением данными. Этот подход был также использован для твердотельного моделирования при больших деформациях. Данный метод рекомендуется использовать для случаев, когда существуют минимальные свободные границы, т.е. при закрытой штамповке и горячей штамповке.

Для моделирования процесса резания оба подхода широко используются. Эти модели обеспечивают информацией о напряжениях в зоне остаточных деформаций, области сдвиговых напряжений и температурном поле, когда модель включает в себя термомеханическое взаимодействие. Стенковский и Кэрролл [1] в 1985 г. опубликовали термомеханическую конечно-элементную модель, которая прогнозирует создание остаточных напряжений в детали. Лином и Пэном [1] в 1993 г. были исследованы численные значения сил, действующих на инструмент. Обикава разработал нестационарные методы, применяемые при резании металлов [1]. Они представили в своей модели двойной критерий, основанный на показателе критических остаточных деформаций и геометрических показателях, таким образом, они симулировали фрагментацию схода стружки.

Скорость деформации в первичной зоне менее высока, чем во вторичной зоне деформации, но температура выше в основном за счет теплоты трения на поверхности контакта стружки и инструмента [3]. Инженерный подход к описанию характера пластической деформации в зоне сдвига основан на некоторых упрощениях. Наиболее часто используемые модели для первичной зоны пластических деформаций [2]: единственная плоскость скалывания Мертчансона; параллельное формирование зоны пластических деформаций Окслея; смешанное формирование зоны пластических деформаций по методу Зорева, как показано на рис. 1.

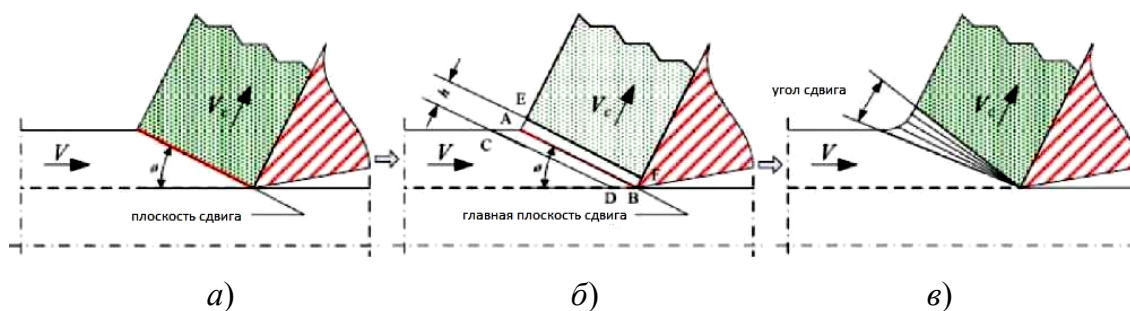


Рис. 1. Смешанное формирование зоны пластических деформаций по методу Зорева

Целью данной статьи является изучение процесса резания на начальных стадиях. Цель состоит в том, чтобы проанализировать, как инструмент воздействует на геометрию угла плоскости сдвига.

Конечно-элементное моделирование ортогонального резания металлов. Моделирование процесса резания нуждается в подзадачах, таких как: моделирование режущего инструмента, формирование процесса стружкообразования, адаптивное сцепление. Наиболее важные параметры конечно-элементного моделирования процесса резания металлов представлены на рис. 2. Очень важным вкладом в выполнение соответствующего моделирования FE-обработки процессов резания является наличие у материала пластических свойств в реальных условиях обработки, т.е. текучесть, пластичность и красностойкость [3].

Моделирование процесса резания – очень популярная область исследования, за последние несколько лет появилось много научных статей, посвященных данной области. Например, удаление срезаемого слоя от заготовки, условия трения и другие критерии, влияющие на процесс резания.



Рис. 2. Входные параметры для моделирования процесса резания

В данной статье приводится краткий обзор моделирования процесса резания методом конечного моделирования. Результаты моделирования показывают происходящие сдвиговые деформации в слое металла. Распределения напряжений и температура в зоне резания были изучены для тех параметров, которые очень трудно определить экспериментально. В дополнение к этому плоскость FE может использоваться, чтобы разработать профили режущего инструмента таким образом, чтобы избежать очень дорогих экспериментов.

Вопросы моделирования процессов резания металлов, рассмотренные на современном уровне при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров токарной обработки, изложены в книгах [4 – 6].

Список литературы

1. **Родина, А. А.** Методика оптимального проектирования процессов лезвийной обработки материалов / А. А. Родина, С. И. Пестрецов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2010. – 372 с.

2. **Родина, А. А.** Математическое моделирование процесса зенкерования и оптимизация геометрических параметров режущего инструмента в среде SolidWorks Premium 2012 / А. А. Родина, С. И. Пестрецов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – 41 с.

3. **Rodina, A. A.** Kinematic Structure of Metal-cutting Machines with Hydraulic Couplings / A. A. Rodina, V. A. Vanin, A. N. Kolodin // Russian Engineering Research. – 2015. – P. 763 – 768.

4. **Алтунин, К. А.** Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 122 – 133.

5. **Алтунин, К. А.** Концепция создания информационного обеспечения интеллектуальной системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / К. А. Алтунин, М. В. Соколов. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2015. – 112 с.

6. **Алтунин, К. А.** Разработка системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров токарной обработки / К. А. Алтунин, М. В. Соколов – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2016. – 132 с.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Д. И. Калинин**

ОПТИМИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ СВЯЗЯМИ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ГИДРОПРИВОДА

Задачи совершенствования металлорежущих станков при одновременном сокращении времени на проектирование, изготовление и отладку predetermined необходимость применения новых методов построения как самого станка, так и его кинематики.

Применение гидравлических шаговых приводов объясняется известными достоинствами гидропривода, главными из которых являются: большая удельная мощность (отношение развиваемой приводом мощности к его массе) – 20...30% больше электрических приводов; малая инерционность гидравлических приводов по сравнению с другими, аналогичными по назначению и мощности; простота бесступенчатого регулирования скоростей и широкий диапазон их регулирования; способность воспринимать значительные динамические нагрузки и легкость защиты перегрузок за счет ограничения давления рабочей жидкости; простота конструкции составляющих элементов и возможность получения наиболее рациональной компоновки; возможность обеспечить высокое быстродействие исполнительных органов благодаря малой инерционности; высокая износостойкость элементов гидроприводов [1].

Выполненные исследования показали, что механические связи в станках со сложными формообразующими движениями можно заменить гидравлическими связями на основе гидравлических шаговых приводов, что позволяет существенно упростить кинематику и снизить металлоемкость станка.

В качестве двигателей в таких приводах наиболее целесообразны шаговые гидродвигатели с механической редукцией шага, которые отличаются большим разнообразием конструкций: поршневые, мембранные, сильфонные, шиберные, шестеренные, планетарно-роторные [2].

Структурно-шаговый гидропривод состоит из трех функционально и конструктивно завершенных модулей: источника рабочей жидко-

* Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, номер проекта 17-48-680-787, под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Ванина.

сти (насосная установка); управляющего (коммутирующего) устройства (генератор гидравлических импульсов) и силового гидравлического шагового двигателя [3].

Генератор гидравлических импульсов представляет собой устройство, преобразующее постоянный поток рабочей жидкости, поступающей от насосной установки, в определенную последовательность гидравлических импульсов, которые поступают к силовому гидравлическому шаговому двигателю. Выходным сигналом шагового гидродвигателя является угловое или линейное перемещение выходного звена, соединенного с рабочим органом станка.

В качестве силового органа в шаговом гидроприводе используется специальный шаговый гидродвигатель, выходное звено которого обрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилием по мощности.

При использовании во внутренних кинематических цепях в качестве силового органа шаговых гидродвигателей связь между заготовкой и инструментом осуществляется благодаря тому, что расход рабочей жидкости посредством рабочих щелей распределительного устройства преобразуется в определенную последовательность гидравлических импульсов, которые распределяются по силовым камерам шагового гидродвигателя, при этом каждому из них соответствует определенный угол поворота выходных валов шаговых гидродвигателей (ГШД), пропорциональный числу импульсов, а скорость вращения пропорциональна гидравлической связи – заготовка и инструмент – зависят от соотношения частот гидравлических импульсов, подаваемых к шаговым гидродвигателям, осуществляющим вращение заготовки и инструмента [4].

Используя блочное (модульное) построение гидравлического шагового привода, представляется возможным применить гидравлические связи на его основе при построении внутренних цепей металлорежущих станков различного технологического назначения и разных типоразмеров. Это в первую очередь относится к таким металлорежущим станкам, как зубо- и резьбообрабатывающим, имеющим сложное пространственное расположение рабочих органов. На рисунке 1 представлена структурная схема резьбонарезного станка с гидравлическими связями в формобразующих цепях для нарезания глобоидных червяков обкаточным резцом (долбяком) с модифицированными приводами радиальной подачи.

Станок включает в себя заготовку b , совершающую вращательное движение от электродвигателя D через звено настройки i_v .

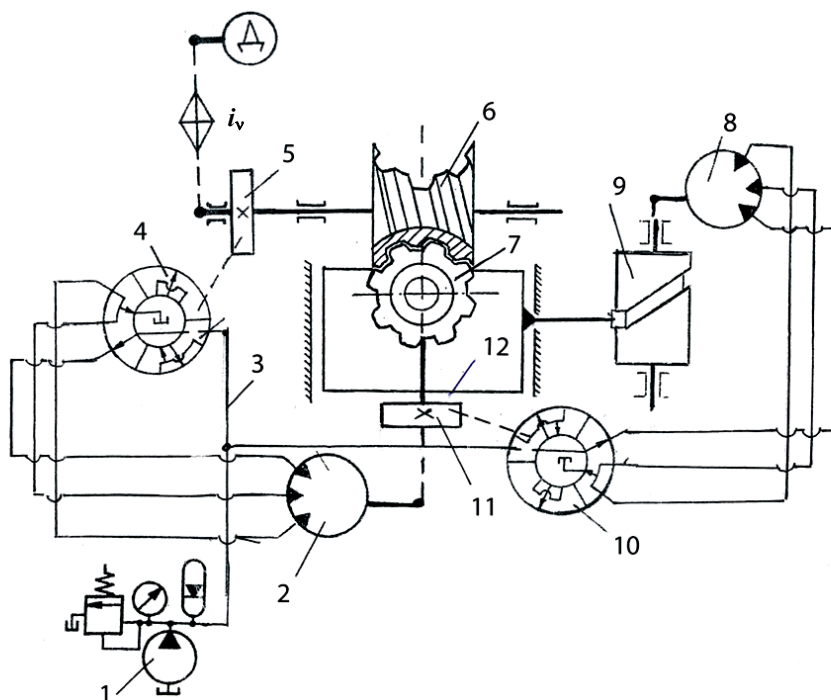


Рис. 1. Структурная схема резьбонарезного станка с гидравлическими внутренними связями для нарезания глобоидных червяков обкаточным резцом

При нарезании глобоидного червяка обкаточным резцом (долбяком) необходимо осуществить одно сложное исполнительное движение. Кинематическая структура такого станка состоит из одной сложной группы формообразования и одной простой группы, осуществляющей движения радиального врезания [5].

Инструмент (обкаточный резец, долбяк) 7, связанный с заготовкой цепью деления, получает вращение от шагового гидродвигателя 2, кинематически связанного с ним и управляемого генератором гидравлических импульсов 4, золотниковая втулка вращается от зубчатого приводного колеса 5, закрепленного на шпинделе заготовки 6.

Радиальное (поперечное) перемещение инструмента для получения полной высоты витка червяка осуществляется от шагового гидродвигателя 8, кинематически связанного посредством барабана 9 с суппортом 12 и инструментом, и управляемого генератором гидравлических импульсов 10, золотниковая втулка которого получает вращение от зубчатого колеса 11. Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подводится от насосной установки 1 по трубопроводу 3.

Применение унифицированных гидравлических связей на основе ДШП во внутренних (формообразующих) цепях металлорежущих станков взамен механических цепей позволяет: упростить конструирование кинематики станка; уменьшить многообразие конструкций

цепей; улучшить условие совместимости; многократно применять элементы в различных комбинациях и сочетаниях, в новых компоновках; обеспечить при ограниченном комплекте унифицированных блоков (модулей) построение кинематических цепей различного функционального назначения, выполняющих разнообразные технологические и компоновочные требования технических заданий [6].

Список литературы

1. **Ванин, В. А.** Резьбообрабатывающие станки с гидравлическими формообразующими связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей переменного шага / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Вестник машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 37 – 45.

2. **Кинематическая** структура металлорежущих станков с гидравлическими связями в внутренних (формообразующих) цепях для нарезания зубьев конических колес / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 308 – 316.

3. **Родина, А. А.** Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования на основе шагового гидропривода / А. А. Родина, А. С. Поляков, И. В. Облицов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития. – 2015. – Вып. VI. – С. 85 – 89.

4. **Ванин, В. А.** Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими связями в формообразующих цепях / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Актуальные проблемы в машиностроении : матер. Междунар. науч.-практ. конф. г. Новосибирск. – 2016. – № 3. – С. 219 – 223.

5. **Металлорежущие** станки с гидравлическими связями на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 167 – 176.

6. **Vanin V. A.** Kinematic Structure of Metal-cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – N 34(12). – P. 763 – 768.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

*Д. И. Калинин**

СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ГИДРОПРИВОДА

Одним из возможных средств сокращения протяженности кинематических цепей, составленных из механических звеньев, и, как следствие, снижения металлоемкости станка является применение дискретного гидравлического привода с шаговыми гидравлическими двигателями, который составляет новый класс объемных гидроприводов, функциональные свойства которых состоят в том, что они способны устойчиво обрабатывать релейные и импульсные управляющие сигналы с высокой точностью при практически любой встречающейся нагрузке [1, 2]. Главной особенностью данного класса дискретных гидроприводов является то, что в качестве силового органа в них используется специальный шаговый гидродвигатель (ГШД), выходное звено которого обрабатывает дискретные управляющие сигналы с высокой точностью и большим усилением по мощности [3].

Используя свойство частотного регулирования скорости исполнительных органов гидравлического шагового двигателя, представляется возможным гидравлические связи с отдельным управлением гидравлических шаговых двигателей применить в кинематических цепях металлообрабатывающих станков.

К таким цепям относятся винторезные цепи, цепи затылования в резьбообрабатывающих и затыловочных станках, цепи деления, обката, дифференциальные в зубообрабатывающих станках различного технологического назначения.

На рисунке 1 приведена структурная схема резьбофрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания длинных конических винтовых поверхностей переменного шага [4] с моделированным механизмом приращения шага.

Станок включает в себя инструмент 9, представляющий собой дисковую фрезу с профилем, соответствующим профилю нарезаемой винтовой поверхности, и совершающий вращательное движение от электродвигателя Д1 через звено настройки i_v и заготовку 15, которая совершает вращение (движение круговой подачи) от электродвига-

* Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, номер проекта 17-48-680-787, под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. А. Ванина.

тела D через звено настройки. Резьбофрезерный станок для обработки конических винтовых поверхностей переменного шага включает в себя кинематическую цепь вращения инструмента (дисковой фрезы); кинематическую цепь вращения шпинделя с заготовкой (движения круговой подачи); кинематическую цепь начального шага, связывающую между собой вращение шпинделя с заготовкой и продольное перемещение суппорта с фрезерной головкой; цепь изменения шага винтовой поверхности, связывающую цепь начального шага и суммирующий механизм, задающий закон изменения шага, выполненный в виде дифференциала из конических колес. Формообразующая винтовая линия переменного шага осуществляется в результате сложения двух движений: равномерного продольного перемещения суппорта по кинематической цепи начального шага и дополнительного перемещения по цепи приращения шага посредством суммирующего механизма, выполненного в виде дифференциала с коническими колесами.

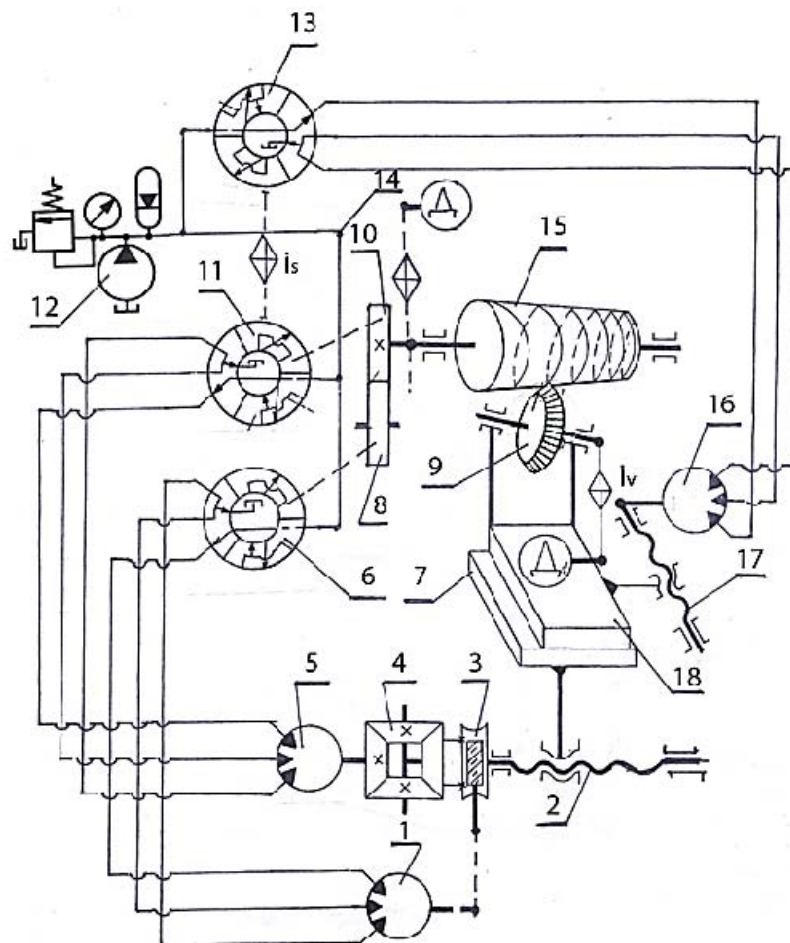


Рис. 1. Структурная схема резьбофрезерного станка с гидравлическими формообразующими связями для нарезания конических винтовых поверхностей переменного шага

Продольное перемещение продольного суппорта 7 с фрезерной головкой, несущей инструмент 9 (цепь начального шага винтовой поверхности), осуществляется от шагового гидродвигателя 5, кинематически связанного с суппортом 19 посредством ходового винта 2 продольной подачи и управляемого генератором гидравлических импульсов 11, золотниковая втулка получает вращение от приводного зубчатого колеса 10, вместо закрепленного на шпинделе заготовки 15 [5].

Поперечное перемещение салазок 18 с инструментом 9, связанное определенной зависимостью с продольным перемещением продольного суппорта 7 для воспроизведения наклонной образующей при обработке конической винтовой поверхности, производимых шаговым гидродвигателем 16, кинематически связанным с ходовым винтом 17 поперечной подачи верхних салазок 18, и управляемым генератором гидравлических импульсов 13, а золотниковая втулка с рабочими цепями получает вращение от генератора гидравлических импульсов 11, управляющего шаговым гидродвигателем 5 цепи продольного перемещения продольного суппорта 7 через несилую гитару сменных зубчатых колес i_s .

Дополнительное перемещение суппорта с инструментом, обеспечивающее необходимую величину перемещения шага винтовой поверхности, осуществляется от шагового электродвигателя 1, кинематически связанного посредством червячной передачи 3 с суммирующим механизмом 4, выполненном в виде дифференциала с коническими колесами, управляемого генератором гидравлических импульсов 6, золотниковая втулка с рабочими цепями получает вращение от шпинделя заготовки 15 через зубчатую передачу 8, 10.

Рабочая жидкость к генераторам гидравлических импульсов подается от насосной установки 12 по трубопроводу 14.

Эффективность использования во внутренних цепях станков гидравлических связей на основе шагового гидропривода с силовыми исполнительными шаговыми гидродвигателями по сравнению с использованием традиционных механических цепей достигается за счет следующих основных факторов: обеспечивается конструктивная однородность внутренних кинематических связей между конечными звеньями цепей – заготовкой и инструментом – для станков различного технологического назначения и разных типоразмеров; при этом возможно исключить конструктивное и размерное многообразие внутренних кинематических цепей, предназначенных для выполнения однотипных функций, и осуществить проектирование и построение внутренних цепей различных зубо- и резьбообрабатывающих станков с большим различием характеристик из небольшого, ограниченного, экономически обоснованного количества типоразмеров одинаковых

первичных (типовых или стандартных) агрегатов (модулей), что ведет к упорядочению номенклатуры одноименных внутренних цепей, сходных по функциональному назначению путем установления типоразмерных рядов гидравлических связей [6].

Список литературы

1. **Ванин, В. А.** Резьбообрабатывающие станки с гидравлическими формообразующими связями на основе шагового гидропривода для обработки винтовых поверхностей переменного шага / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Вестник машиностроения. – 2014. – № 7. – С. 37 – 45.

2. **Кинематическая** структура металлорежущих станков с гидравлическими связями в внутренних (формообразующих) цепях для нарезания зубьев конических колес / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 308 – 316.

3. **Родина, А. А.** Кинематическая структура металлорежущих станков со сложными движениями формообразования на основе шагового гидропривода / А. А. Родина, А. С. Поляков, И. В. Облицов // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития. – 2015. – Вып. VI. – С. 85 – 89.

4. **Ванин, В. А.** Кинематическая структура металлорежущих станков с гидравлическими связями в формообразующих цепях / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, А. А. Родина // Актуальные проблемы в машиностроении : матер. Междунар. науч.-практ. конф. г. Новосибирск. – 2016. – № 3. – С. 219 – 223.

5. **Металлорежущие** станки с гидравлическими связями на основе шагового гидропривода во внутренних (формообразующих) цепях / В. А. Ванин, А. Н. Колодин, М. З. До, М. М. Дамап // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 167 – 176.

6. **Vanin V. A.** Kinematic Structure of Metal-cutting Machines with Hydraulic Couplings / V. A. Vanin, A. N. Kolodin, A. A. Rodina // Russian Engineering Research. – 2015. – N 34(12). – P. 763 – 768.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 621.316.925

*А. Д. Быков**

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ЗАЩИТНОЙ АВТОМАТИКИ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ
С НЕПРЕРЫВНЫМ ЦИКЛОМ ПРОИЗВОДСТВА**

К предприятиям с непрерывным циклом производства относятся многие виды заводов, такие как: химические, нефтеперерабатывающие, газодобывающие и прочие предприятия и комбинаты, имеющие особую группу по надежности электроснабжения. В данной работе обсуждается специфика системы электроснабжения разрабатываемого проекта химического завода с непрерывным циклом производства.

Согласно правилам устройства электроустановок такие электроприемники должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, а также у них должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника питания. В качестве третьего и второго независимых источников питания можно использовать источники бесперебойного питания, местные электростанции, аккумуляторные батареи и т.д. Именно эти требования по надежности должны быть обязательно выполнены для предприятий с непрерывным циклом производства [1].

Передача электроэнергии к потребителю чаще всего происходит с нарушениями электроснабжения, такими как исчезновение и провалы напряжения при действии релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения. Каждый технологический процесс на химическом заводе в большей степени зависит от качества электроэнергии. В случае несоответствия этим качествам предприятия могут понести крупные материальные убытки, связанные с прекращением производства или выходом из строя дорогостоящего оборудования.

Согласно ГОСТ 13109–97 к основным качествам электроэнергии можно отнести отклонения напряжения, колебания напряжения,

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» И. В. Ушакова.

несимметрия напряжений в трехфазной системе, несинусоидальность формы кривой напряжения, отклонения частоты переменного напряжения, а также провалы напряжения.

Именно последние напрямую зависят от параметров и структуры релейной защиты и автоматики [2].

На всех этапах производства, передачи, потребления и распределения энергии мы можем наблюдать нарушение качества электроэнергии. Например, во внутренней и внешней частях системы электроснабжения ответственных потребителей при коротких замыканиях.

Релейная защита и автоматика влияют на количество провалов, их длительность при действии таких систем, как автоматическое повторное включение, автоматическая частотная разгрузка, автоматическое включение резерва и другие системы и устройства.

Основными причинами провалов напряжения в системе электроснабжения в большинстве случаев являются короткие замыкания, а они обусловлены рядом факторов, таких как: механические повреждения опор, удары молний, ветер, гололед, коммутационные перенапряжения, не стоит забывать об ошибочных действиях персонала и т.д.

В редких случаях возможны другие причины возникновения провалов напряжения в системах электроснабжения.

Характеристиками провала являются глубина и длительность провала $\Delta U_{\text{пр}}$, %, и $\Delta t_{\text{пр}}$ соответственно.

При этом длительность провала равна

$$\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{к}}$ и $t_{\text{н}}$ – начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

Длительность автоматически устраняемого провала напряжения в любой точке присоединения к электрическим сетям определяется выдержками времени защитной автоматики и алгоритмом взаимодействия.

Действия релейной защиты и автоматики в целом влияют на многие показатели качества электроэнергии, но определяющую роль при нарушениях устойчивости технологической установки играют провалы напряжения.

При надежной работе оборудования и правильном действии защитной автоматики при повреждении оборудования в основном обеспечивается устойчивая работа технологической установки. Но в ряде случаев из-за снижения надежности релейной защиты и относительном ее несовершенстве не удастся предотвратить развитие аварий.

Затраты на внедрение новых, более совершенных видов защитной автоматики достаточно велики и часто просто не хватает средств для этого, и требуется минимизация затрат, но если сравнивать с затратами на модернизацию первичного оборудования, то во втором случае эта цифра окажется на 2–3 порядка больше.

Эффективность релейной защиты и автоматики – это способность быстро и своевременно отключать поврежденный элемент сети от неповрежденной ее части с последующим восстановлением питания неповрежденного оборудования, обеспечивая тем самым бесперебойное электроснабжение последнего. Качественная, быстродействующая автоматика должна срабатывать при внутренних коротких замыканиях, не реагировать на режимы без коротких замыканий и не срабатывать при внешних коротких замыканиях.

В соответствии с действующей нормативно-технической документацией основным показателем работы устройств защитной автоматики считается процент их правильной работы, оцениваемый по формуле

$$K, \% = \frac{n_{п.с}}{n_{и.с} + n_{п.с} + n_{л.с} + n_{о.с}} 100, \quad (2)$$

где $n_{п.с}$ – число правильных срабатываний; $n_{и.с}$ – число излишних срабатываний; $n_{л.с}$ – число ложных срабатываний; $n_{о.с}$ – число отказов срабатывания [3].

Сумма $n_{п.с} + n_{о.с}$ составляет число требований срабатывания.

В дополнение к этому может быть использована периодичность или частота неправильных и правильных срабатываний устройств.

Оценка эффективности защитной автоматики в виде процента является необходимой, но не достаточной. В некоторых случаях правила устройства электроустановок допускают предъявление дополнительных требований для предприятий с непрерывным циклом производства.

Таким образом, разрабатываемый проект должен соответствовать указанным выше требованиям. Кроме того, по ряду параметров он будет их превосходить.

Выводы:

1. Защитная автоматика играет важнейшую роль в обеспечении надежности системы электроснабжения предприятия. Оказывает огромное влияние на безопасность технологических процессов.

2. Качественная и грамотно подобранная релейная защита и автоматика позволяют существенно сократить число аварий. Благодаря этому существенно снижаются затраты и экологические риски для человека и окружающей его среды.

Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2016. – 464 с.
2. **ГОСТ 13109–97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. **Арцишевский, Я. Л.** Техпереворужение релейной защиты и автоматики систем электроснабжения предприятий непрерывного производства / Я. Л. Арцишевский, Е. А. Задкова, Ю. П. Кузнецов. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2011. – 94 с. : ил. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 7 (151).

Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 621.3.016.25

К. В. Маркина*

АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

При транспортировке непосредственно от мест производства до мест потребления потери электроэнергии являются одним из важных технико-экономических показателей сетей. Установка средств компенсации реактивной мощности во многом производится в целях снижения потерь. Практически все технические средства повышения качества электроэнергии содержат реактивные элементы индуктивного или емкостного характера и, следовательно, влияют на баланс реактивной мощности в сети. С другой стороны, значения показателей качества электроэнергии зависят от наличия или отсутствия в сети компенсирующего устройства [1].

При решении задач в указанных областях необходимо учитывать специфику электрической энергии, рассматриваемой как товар, поставляемый энергоснабжающими организациями, но имеющей значительные отличия от других видов промышленных товаров. Электрическая энергия является единственным видом продукции, для перемещения которой от мест производства до мест потребления

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. В. Афонина.

не требуется других ресурсов [1]. Для этого расходуется часть самой передаваемой энергии, поэтому ее потери неизбежны; задача состоит в определении их экономически обоснованного уровня. Качество электроэнергии в сетях энергоснабжающих организаций (сетях общего назначения) по многим показателям обуславливается техническими характеристиками и режимами работы электроприемников (ЭП) потребителей [2]. Однако сложно назвать еще хоть один вид продукции, качество которой может быть ухудшено покупателем еще до ее поставки.

Данные проблемы являются общими для энергоснабжающих организаций и потребителей и находят отражение в условиях потребления электроэнергии и ее оплате. Одной из составляющих тарифа на передачу электроэнергии является стоимость потерь. Условия потребления реактивной мощности устанавливаются в договорах на поставку электроэнергии; их соблюдение отражается в виде повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифу [3].

Показатели качества электроэнергии нормируются государственным стандартом. Соблюдение норм проверяется при сертификации электроэнергии. Стоимость работ по проведению сертификации также включается в ассортимент затрат, которые определяют тариф на электроэнергию. Многие проблемы в области качества электроэнергии (в части взаимоотношений поставщиков и потребителей энергии) в настоящее время не имеют окончательного решения в значительно ощутимой мере в силу отмеченного выше влияния на качество электроэнергии самих потребителей. Характерные признаки электроэнергии обуславливают и тот факт, что потребители, не оказывающие негативного влияния на качество электроэнергии, вынуждены потреблять электроэнергию, качество которой ухудшено другими потребителями. Юридически они могут предъявлять претензии только к поставщику товара, а он сам не в состоянии исправить положение. Отключить же такого «искажающего» потребителя не позволяют законы, да это и не выгодно поставщику, потому что он лишится части оплаты. Поэтому здесь еще многое предстоит сделать.

Сетевые организации непосредственно должны обосновывать уровень потерь электроэнергии, который они считают необходимым включить в тариф, а организации, утверждающие тарифы (Федеральная служба по тарифам и энергетические комиссии), – анализировать эти обоснования и принимать их либо корректировать. Поэтому весомое значение приобретает форма представляемых материалов и процедура рассмотрения и утверждения нормативов потерь. Недостатки в организации такой процедуры могут свести на нет все уточнения методик расчета потерь.

Несмотря на значимость задачи расчета нормативов потерь их расчет не является конечной целью. Цель расчета состоит в анализе структуры потерь, выявлении их очагов и выборе экономически обоснованных мероприятий по их снижению.

Перемещение любых материальных предметов из одного места в другое требует затрат энергоносителей. При их перемещении с помощью автотранспорта расходуется бензин или другие углеводороды, с помощью электродвигателей – электроэнергия. Электрическая энергия является единственным видом продукции, которая для своего перемещения на сотни километров от электрических станций к потребителям расходует часть самой себя, не требуя для того других ресурсов.

Для осознания уникальности процесса транспортировки электрической энергии сравним его с процессом транспортировки тепловой энергии. Часть тепловой энергии в процессе транспортировки также теряется – уходит через тепловую изоляцию труб. Эти потери являются технологическими, они не могут быть устранены полностью, хотя могут быть уменьшены улучшением изоляции труб, а также и с помощью их замены на трубы из более совершенных материалов, что требует больших капиталовложений. Но такие потери не совершают полезной работы по транспортировке самой тепловой энергии по трубам: ее транспортировка осуществляется посредством расхода другой энергии (электрической), потребляемой двигателями насосных станций. Иногда трубы разрушаются, и горячая вода хлещет наружу. К этой части потерь термин «потери» применим в полной мере.

Потери при транспортировке электроэнергии имеют совсем другие свойства. Неминуемые потери электроэнергии совершают полезную работу. А ситуаций, когда электроэнергия «хлещет наружу» из проводов, физически не может быть.

Рассмотрим как пример автомобильный транспорт. При перемещении предметов с помощью автомобильного транспорта никто не говорит: «Потери бензина составили 15 литров», а говорят: «Расход бензина составил 15 литров». В свою очередь, расход электроэнергии на проведение в такой же степени полезной работы, как и в случае с автомобильным транспортом, традиционно принято называть потерями электроэнергии. Термин в среде неспециалистов вызывает представление о плохо организованном процессе транспортировки электроэнергии, ассоциируясь с потерями при перевозке зерна, угля и пр.

Рассмотренные обстоятельства заставляют непосредственно задуматься о целесообразности использования термина «расход электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям» или, как это сейчас

используется, «технологический расход электроэнергии». Впрочем, все эти термины также не в полной мере описывают суть явления.

Фактические (отчетные) потери электроэнергии вычисляют как разность электроэнергии, поступившей в сеть, и электроэнергии, отпущенной из сети потребителям [3]. Эти потери включают в себя составляющие различной природы: потери в элементах сети, имеющие чисто физический характер, расход электроэнергии на работу оборудования, установленного на подстанциях и обеспечивающего передачу электроэнергии, погрешности фиксации электроэнергии приборами ее учета и, наконец, хищения электроэнергии путем воздействия на счетчики, неуплаты или неполной оплаты показаний счетчиков. Применение термина «расход» ко всем этим составляющим, особенно к последней, представляется не совсем адекватным.

С позиций логики к технологическому расходу можно бесспорно отнести технические потери в элементах сети и расход электроэнергии на собственные нужды (СН) подстанций. Эти процессы сопровождаются физическим расходом энергии. Физическим расходом энергии являются его хищения, однако эту составляющую потерь нельзя отнести к технологическому расходу, так как хищения электроэнергии не являются особенностями технологического процесса передачи электроэнергии.

Итак, обдумав все за и против, разумно все-таки использовать традиционный термин «потери», терпеливо и упорно объясняя неспециалистам, что без потерь передать электроэнергию нельзя – это часть электроэнергии, совершающая полезную работу по транспортировке другой, основной ее части от мест производства до мест потребления.

Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск : Норматика, 2014 – 854 с.
2. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : НЦ ЭНАС, 2005.
3. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : НЦ ЭНАС, 2009. – 434 с.
4. **Афонин, В. В.** Электрические системы и сети : учебное пособие : в 2 ч. / В. В. Афонин, К. А. Набатов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – Ч. 1. – 128 с.

Кафедра «Автоматика и компьютерные системы управления» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

УДК 691

*А. В. Дячкина, В. А. Михайлов, А. В. Ерофеев**

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНОЙ ПЛИТЕ

В статье обоснована актуальность применимости композитной арматуры в целях обеспечения эксплуатационной надежности цементно-стружечной плиты, работающей на растяжение и изгиб. Выявлены недостатки и достоинства композитной арматуры. Из анализа технических и эксплуатационных характеристик цементно-стружечной плиты и существующих методов армирования строительных конструкций теоретически доказано, что при армировании плиты композитной арматурой происходит улучшение ее физико-механических свойств.

Анализ области применения цементно-стружечной плиты показал, что из-за плохой работы плиты на изгиб ее использование ограничено. Одним из наиболее эффективных методов повышения прочности и надежности строительных конструкций является их армирование сетками и каркасами различной вещественной природы. В данном случае наиболее подходящим материалом для армирования является композитная арматура ввиду диаметра стержней и веса. Основой композитной арматуры как изделия является материал, который формируется из композитного (базальтового, стеклянного, арамидного, углеродного) и связующего волокна термореактивной синтетической смолы (пластика). Из-за высокой стоимости арматур из углеродного и арамидного волокна они распространения не получили, поэтому в дальнейшем будут рассмотрены более рентабельные виды арматуры (арматура из базальтового и стеклянного волокна).

По конструктивным особенностям композитная арматура является стержневой и может быть изготовлена с гладким либо строительным профилем. Нужно отметить, что композитная базальтовая арматура обладает значительно большей прочностью, чем стеклопластиковая, к тому же стеклопластик имеет еще один существенный недостаток – ему присуща капиллярная гидродеструкция. Это означает, что стеклянные волокна способны на соединении двух сред воздух–вода поверхностно натягивать на себя воду. Однако здесь нельзя не учитывать, что базальтопластиковая арматура стоит значительно дороже.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. П. Ярцева.



Рис. 1. Стеклопластиковая арматура

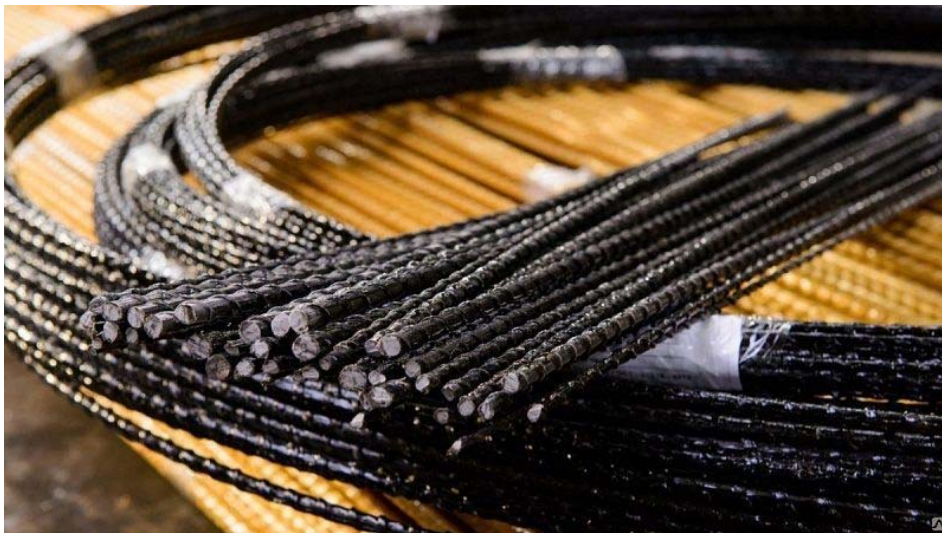


Рис. 2. Базальтопластиковая арматура

Стеклопластиковая (рис. 1) и базальтопластиковая (рис. 2) арматуры не подвержены коррозии и очень слабо изменяют свои механические свойства под воздействием солей, щелочей и кислот.

Материал обладает высокой стойкостью к стрессовым нагрузкам, высоким модулем упругости при низком коэффициенте относительного удлинения, хорошими реологическими характеристиками, а также способностью не терять свои прочностные характеристики под действием сверхнизких температур. Стеклопластиковая арматура имеет коэффициент теплового расширения, соответствующий коэффициенту линейного расширения ЦСП, что дает возможность исключить трещинообразование.

Для того чтобы теоретически обосновать эффективность армирования, необходимо сравнить максимальные моменты для армированной и неармированной цементно-стружечных плит.

За основу для расчета максимально действующего изгибающего момента для армированной плиты приняты формулы для расчета железобетонной балки, к которой приложена равномерно распределенная нагрузка:

$$M_{\max 1} = R_b b x (h_0 - x / 2), \quad (1)$$

где $R_b = 150 \text{ кгс/см}^2$ – для цементно-стружечной плиты [1]; $b = 125 \text{ см}$; $h_0 = 1,2 \text{ см}$;

$$x = A_s R_s / b R_b, \quad (2)$$

где $A_s = 40,12 \text{ см}^2$ – для четырех стержней АСК [3]; $R_s = 8000 \text{ кгс/см}^2$ – для АСК [3]:

$$x = (0,401 \cdot 8000) / (125 \cdot 150) = 0,17;$$

$$M_{\max 1} = 150 \cdot 125 \cdot 0,17 (1,2 - 0,17 / 2) = 3554,06 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 362,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения максимального момента для неармированной плиты воспользуемся экспериментальными данными, которые представлены на рис. 3.

$$M_{\max 2} = Pl/4 = (0,667 \cdot 50 / 4) = 0,083 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 83 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3)$$

$$M_{\max 1} = 362,3 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\max 2} = 83 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом, на основании теоретического расчета можно утверждать, что армирование цементно-стружечной плиты композитной арматурой безусловно повышает прочность плиты на изгиб.

Пролёт, мм	Нагрузка, кН						
	Толщина 8 мм	Толщина 10 мм	Толщина 12 мм	Толщина 16 мм	Толщина 20 мм	Толщина 24 мм	Толщина 36 мм
200	0,213	0,345	0,480	0,813	1,414	2,007	4,802
250	0,171	0,267	0,387	0,623	1,031	1,572	3,280
300	0,142	0,212	0,307	0,508	0,803	1,167	2,687
350	0,110	0,168	0,267	0,423	0,688	1,030	2,288
400	0,096	0,153	0,248	0,377	0,622	0,945	2,042
450	0,082	0,128	0,195	0,347	0,553	0,760	1,147
500	0,056	0,095	0,185	0,345	0,541	0,667	1,572

Рис. 3. Нагрузки на ЦСП «Сосредоточенная нагрузка—однопролетная балка»

Список литературы

1. **Характеристики** цементно-стружечной плиты [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.tamak.ru/cementno-struzhechnaya-plita/chars/>, свободный. – Загл. с экрана.

2. **Композитная** арматура: применение в строительстве, характеристики и сравнение [Электронный ресурс]. – URL : <http://greensector.ru/strojjmaterialy/kompozitnaya-armatura-primenenie-v-stroitelstve-kharakteristiki-i-sravnenie.html>, свободный. – Загл. с экрана.

3. **ГОСТ 31938–2012.** Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия

*Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 72.017

*Е. В. Кузнецова, А. В. Ерофеев**

МЕТОДЫ МАСКИРОВКИ ЗДАНИЙ СТИЛЯ «НЕВИДИМОЙ» АРХИТЕКТУРЫ, ПРИМЕНИМЫЕ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ ЧЕРТЫ

В настоящее время в мире выделяется большое количество архитектурных стилей, появление каждого из которых было обусловлено определенными потребностями общества, возникающими в каждый исторический период его развития. Постоянное увеличение в XX веке психологической и эмоциональной нагрузки на человека, стрессовое состояние и отдаление от природы жителей города обусловило появление нового стиля в архитектуре, который получил название стиль «невидимой» архитектуры. Проектирование здания в этом стиле позволяет сделать дом незаметным. Данный эффект достигается различными приемами: использованием зеркал и стекла в качестве отделки фасада; облицовкой металлическими изделиями; применением различных материалов, имитирующих цвет, рисунок и фактуру природных материалов; озеленением фасадов; приданием зданию особой формы, гармонирующей с окружающей местностью; возведением домов, вписанных в естественные ландшафты (дома-землянки, «дома хоббитов», дома в скалах и т.д.), а также различным сочетанием перечисленных методов. При этом здание не обязательно должно быть «невидимым», иногда достаточно сделать так, чтобы оно выглядело гармонично на фоне существующих строений или сливалось с пейзажем.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. П. Ярцева.

Использование стиля «невидимой» архитектуры наиболее актуально в крупных городах, население которых живет в отдалении от природы. Однако стоит отметить, что применение не всех методов, используемых в рассматриваемом стиле, является обоснованным в условиях современного крупного города. Применения того или иного метода в пределах городской черты будем рассматривать с учетом функционального зонирования города, согласно которому территория города подразделяется на три зоны: селитебную, производственную и ландшафтно-рекреационную.

Селитебная зона включает в себя в основном жилые дома, общественные здания и сооружения, научно-исследовательские институты, а также некоторые промышленные объекты, не требующие устройства санитарно-защитных зон.

К производственной зоне относятся промышленные предприятия и связанные с ними объекты, комплексы научных учреждений с их опытными производствами, коммунально-складские объекты, сооружения внешнего транспорта, пути внегородского и пригородного сообщения.

Ландшафтно-рекреационная территория состоит из городского леса, лесопарков, водоемов и прилегающих к ним территорий, земли сельскохозяйственного использования [3].

Для того чтобы замаскировать многоэтажные дома селитебной зоны можно использовать зеркала. Зеркало, как известно, визуально расширяет пространство, что оказывает положительное влияние на население, ведь высокие здания закрывают солнце и небо. Благодаря отражающей способности зеркал создается впечатление, что вокруг намного больше элементов природы, чем есть на самом деле. За счет использования этого материала дом не выглядит так, будто он нависает над человеком. Стекло создает похожие эффекты, так как оно также обладает некоторой способностью к отражению, поэтому возможно и его применение.

Облицовка металлическими изделиями помогает скрыть малопривлекательный существующий каркас здания. Такой способ маскировки больше подходит для относительно невысоких домов, так как металл визуально придает зданию тяжести, и оно выглядит массивно. Наиболее предпочтительно применение материалов с глянцевым покрытием: они создают эффект, подобный зеркалам, а также прибавляют эстетичности строению. Дома, облицованные металлическими изделиями, гармонируют с такими же домами и различными металлическими сооружениями.

Озеленение фасадов отлично подходит для маскировки зданий селитебной территории, оно уместно для домов различной этажности и назначения (рис. 1).



Рис. 1. Озеленение фасада здания

Растения создают тень и спасают от жары летом, помогают удерживать тепло, когда холодно, повышают звукоизоляцию. Озеленение фасадов улучшает микроклимат города: уменьшается количество пыли и угарного газа от автомобилей, воздух становится увлажненным и насыщенным кислородом [1]. Ко всему прочему здания с такими фасадами выглядят эстетично и максимально сближают с природой.

Для частного сектора селитебной зоны подходит применение маскировочного материала-камуфляжа, позволяющего дому сливаться с пейзажем. Так, дом в Нидерландах, замаскированный под груду бревен, гармонично смотрится на фоне лесистой местности (рис. 2).



Рис. 2. Дом в Нидерландах

На самом деле он сделан из металла и пластика. В качестве маскировочного материала уже использовали ткань с напечатанным на ней рисунком растений, расположенных рядом с домом; строительные материалы, по цвету и фактуре схожие с окружающей местностью; стекло, на котором распечатано изображение дома из округи [4].

В пределах производственной зоны уместны здания с металлическими фасадами. Металлические изделия могут иметь различные формы и размеры, а также разнообразные цвета. Здание, замаскированное с помощью отполированного металла, станет непохожим на промышленный объект. Чтобы повысить качество окружающей среды промышленной территории, возможно использование озеленения фасадов.

Ландшафтно-рекреационная зона является местом отдыха людей. Здесь особенно актуально сохранение естественных природных рельефов. Современные дома-землянки органично вписываются в ландшафт (рис. 3). Такие здания спасают от неблагоприятных природных явлений (ураганов, пожаров, землетрясений). Дома-землянки можно строить и на крутых рельефах. У них хорошая звуко- и теплоизоляция [2]. В пределах зоны отдыха также уместно использование материала-камуфляжа, озеленения фасадов, допустимо применение зеркал, стекла и металла.

Таким образом, разнообразные методы маскировки зданий стиля «невидимой» архитектуры находят применение в той или иной частях города. Какой-то из них маскирует благодаря отражению, другой – за счет копирования окружающей среды, третий – с помощью сохранения природных рельефов. Но все они в некоторой степени способны снимать психологическую и эмоциональную нагрузку с человека, сближать его с природой.



Рис. 3. Дом-землянка

Список литературы

1. **Булдакова, Е. А.** Современные приемы организации зеленых зон в уплотненной застройке города [Электронный ресурс] / Е. А. Булдакова // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 5. – URL : <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12660>, свободный.
2. **Губенко, А.** Современные подземные дома [Электронный ресурс] / А. Губенко. – URL : <http://fb.ru/article/288131/sovremennyye-podzemnyie-doma>, свободный.
3. **Потапова, Е. В.** Функциональное зонирование территории городов / Е. В. Потапова, Е. В. Зелинская // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 7(18). – С. 43 – 50.
4. **Филипенко, Д. С.** Уникальные дома [Электронный ресурс] / Д. С. Филипенко. – URL : <http://www.infoniac.ru/news/15-unikal-nyh-domov-nevidimok.html>, свободный.

*Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

УДК 691.335

А. Н. Николокин, Т. М. Плужникова, А. М. Аль Вард*

ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ БАЛОК

В данной статье рассмотрено поведение армированных полимербетонных образцов на основе полиэфирной смолы ПН-1 в солевых растворах. Приведены сравнительные характеристики прочности на изгиб полимербетонных балок, армированных металлической и композитной (стеклопластиковой) арматурами. Выполнен анализ полученных результатов. Выявлены особенности при эксплуатации полимербетонных изделий, армированных композитной арматурой, в 5%-ном солевом растворе.

В связи с ограниченным применением железобетонных конструкций в агрессивных условиях возникает необходимость в новых строительных материалах, которые обладали бы более высокой химической стойкостью в сочетании с прочностью и долговечностью [1].

В настоящее время наблюдается внедрение и активное развитие новых технологий в строительстве. При таком подходе вполне естест-

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. П. Ярцева.

венным становится повышенное внимание к структуре, прежде всего полимербетона, а также его поведению в условиях воздействия агрессивных сред. Для снижения ползучести материала целесообразно выполнять армирование полимербетонных конструкций.

Целью экспериментальных исследований является изучение воздействия 5%-ного солевого раствора на полимербетонные балки, армированные стеклопластиковой арматурой (СПА), и сравнение полученных результатов с аналогичными характеристиками образцов, армированных металлической арматурой [2].

При исследовании полимербетонных конструкций были рассмотрены два варианта армирования различными арматурами. В первом варианте применяли стальную арматуру диаметром $d = 4$ мм класса А240. Во втором варианте использовали СПА диаметром $d = 4$ мм.

Для оценки работы полимербетонных изделий, работающих на изгиб, в лаборатории были изготовлены балки сечением $20 \times 20 \times 120$ мм. По центру образца располагали стеклопластиковую арматуру диаметром 4 мм на расстоянии 5 мм от нижней грани. Образцы заливали одной полимербетонной смесью на основе смолы ПН-1. В состав смеси входили следующие компоненты: смола 25%; щебень фракции 5-15 35%; песок 48%; ускоритель 1%; отвердитель 1%. При этом использовали арматуру длиной 115 мм.

На рисунках 1 и 2 приведены экспериментальные зависимости деформаций армированных образцов от напряжений под воздействием 5%-ного солевого раствора.

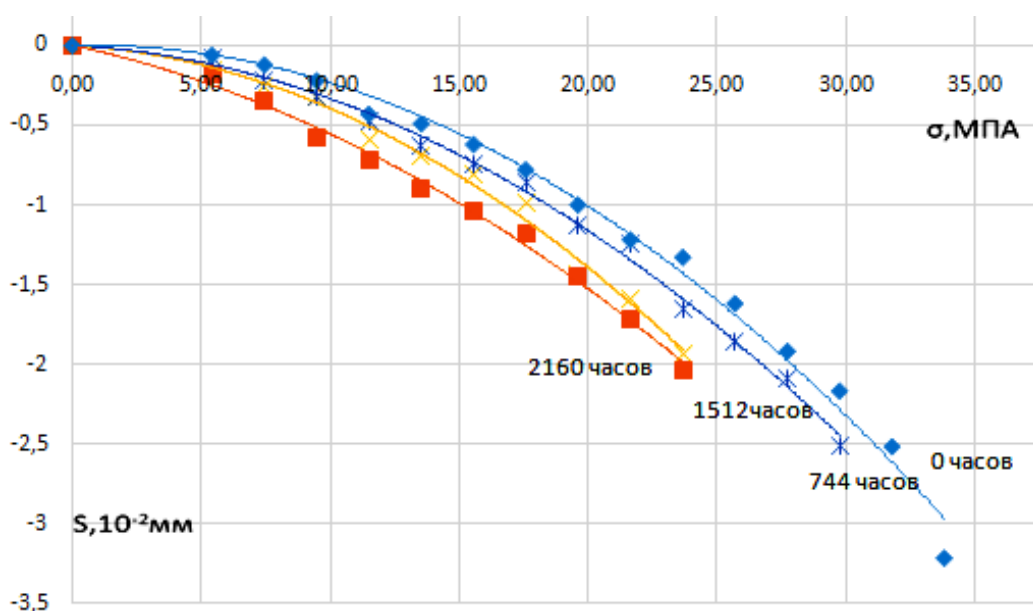


Рис. 1. График зависимости деформаций образцов, усиленных стеклопластиковой арматурой, от напряжений под воздействием 5%-ного солевого раствора

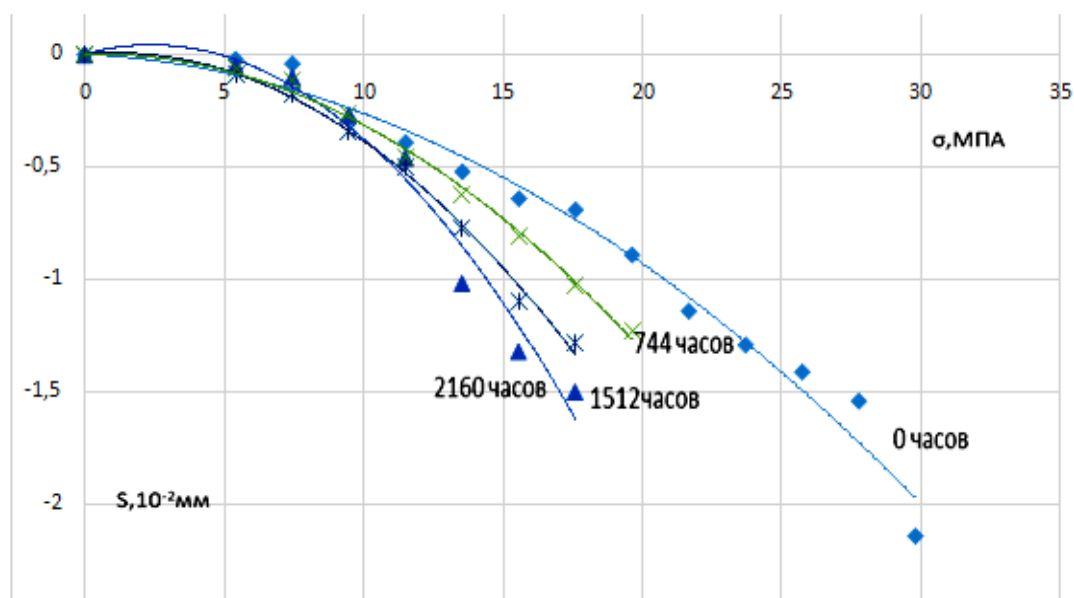


Рис. 2. График зависимости деформаций образцов, усиленных металлической арматурой, от напряжений под воздействием 5%-ного солевого раствора

В результате проведенных испытаний было выявлено, что под воздействием 5%-ного солевого раствора на начальном этапе (после 744 ч) замачивания у образцов, армированных СПА, наблюдалось незначительное падение прочности и увеличение деформации. Это обусловлено снижением физико-механических показателей вследствие вымывания солевым раствором слабо полимеризованных частиц из образца [3]. При увеличении времени (1512...2160 ч) замачивания образцов 5%-ным солевым раствором наблюдалось снижение показателей прочности на 30% и увеличение прогиба по причине накопления дефектов в полимербетоне. Под воздействием солевого раствора произошло разрушение слабо полимеризованных частиц и вымывание их из образца, однако зона контакта СПА и полимербетона оказалась устойчива к воздействию агрессивной среды.

Так же можно отметить, что разрушение контактного слоя между стеклопластиковой арматурой и полимербетоном произошло из-за геометрии образцов (малые габаритные размеры полимербетона способствовали образованию кольцевых трещин по краям балок) и высокой сопротивляемости СПА агрессивным средам по сравнению с полимербетоном.

У образцов, усиленных металлической арматурой, под воздействием 5%-ного солевого раствора на начальном этапе (после 744 ч) замачивания наблюдалось резкое падение прочностных показателей и значительное увеличение деформации. Это объясняется низкой сопро-

тивляемостью арматуры к коррозии и ослаблением внутренних связей вследствие вымывания слабо полимеризованных частиц из образца под воздействием 5%-ного солевого раствора. В результате чего произошло ослабление сцепления арматуры с полимербетоном в контактной зоне образца. При увеличении времени (1512...2160 ч) замачивания образцов 5%-ным соевым раствором наблюдалось незначительное падение прочности и увеличение прогиба за счет накопления дефектов в образцах. Из этого следует, что полимербетонные образцы, армированные металлической арматурой, наиболее сильно подверглись воздействию солевого раствора на начальном этапе замачивания, так как наблюдалось стремительное разрушение внутренних связей в балках и коррозия поверхности арматуры.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что полимербетонные конструкции, армированные стеклопластиковой арматурой, целесообразнее применять в условиях воздействия солевых растворов, чем полимербетонные конструкции, усиленные металлической арматурой. Использование изделий из полимербетона, армированных СПА, позволяет значительно повысить срок службы конструкции.

Список литературы

1. **Бондарев, А. Б.** Сопротивляемость полимербетонных и стеклопластоплимербетонных элементов конструкций длительным и циклическим нагрузкам / А. Б. Бондарев, П. В. Комаров, О. И. Лифинцев // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1(3). – С. 92 – 97.

2. **Бондарев, Б. А.** Сопротивляемость полимербетонных строительных элементов, армированных стеклопластиковой арматурой, циклическим нагрузкам : дис. ... канд. техн. наук / Б. А. Бондарев. – Воронеж, 1990. – 26 с.

3. **Ерофеев, А. В.** Влияние циклов замораживания-оттаивания на коэффициент линейного термического расширения декоративных плит : электронное научное издание / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. – Тамбов. – 2012. – № 2.

*Кафедра «Конструкции зданий
и сооружений» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 678.61.61.91

*И. И. Морева, П. В. Макеев**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Термомеханические полимерные материалы могут находиться в различных физических (релаксационных) состояниях. С каждым из физических состояний связан определенный комплекс свойств, и каждому состоянию отвечает своя область технического и технологического применения. Физическое состояние и границы их существования изучают многими структурными методами, но чаще всего их определяют по изменению механических свойств полимеров, которые очень чувствительны к структурным изменениям и релаксационным переходам. Для этой цели широко используют изменения деформируемости или податливости полимеров в широком интервале температур.

Каргиным В. А. и Соголовой Т. И. разработан термомеханический метод, состоящий в определении деформируемости полимерного материала в широком интервале температур и условиях заданного режима действия внешнего механического напряжения. Согласно этому методу за характеристику состояния полимерного материала принимается величина деформации, развивающаяся за определенное время при данной температуре и заданной величине напряжения. Зависимость деформации от температуры при определенной заданной нагрузке называется термомеханической кривой. Обычно термомеханические кривые получаются при деформации основного сжатия, растяжения или сдвига.

Вид термомеханических кривых может быть самым разнообразным в зависимости от приложенного напряжения, времени его действия, природы полимера, его предыстории. Термомеханические кривые могут сниматься при различных условиях:

– когда напряжение действует постоянно при непрерывном повышении температуры с заданной скоростью;

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» П. В. Макеева.

– когда напряжение действует периодически в течение заданного промежутка времени при повышении температуры, при этом время действия нагрузки можно изменить в зависимости от условия испытания.

Эти два метода могут давать разные технологические кривые, поскольку по первому методу любая точка на термометрической кривой соответствует деформации, развитой за время, в течение которого была достигнута температура, отвечающая данной деформации, а по второму методу – за одинаковое время.

Показатели экспериментальных исследований по определению термомеханических кривых снимались на консистометре Хепплера (рис. 1), который состоит из термостата 1, станка 2, нагружающего устройства 3 и индикатора перемещений часового типа 4. Термостат установлен на ножках 5, вращением которых прибор выставляется по уровню. Теплоносителем является силиконовое масло ПМС. Масло нагревается электротеном 6, связанным с автотрансформатором, реле и контактным термометром 7. Масло перемешивается пропеллерной машиной 8. Данная система нагрева позволяет поддерживать постоянной или повышать температуру с заданной скоростью. Контроль температуры осуществляется с помощью термометра 9. Стакан состоит из хромированной латунной гильзы 10 и крышки 11 с резьбой. На дне стакана размещается цилиндрическая вставка 12 и испытываемый образец 13.

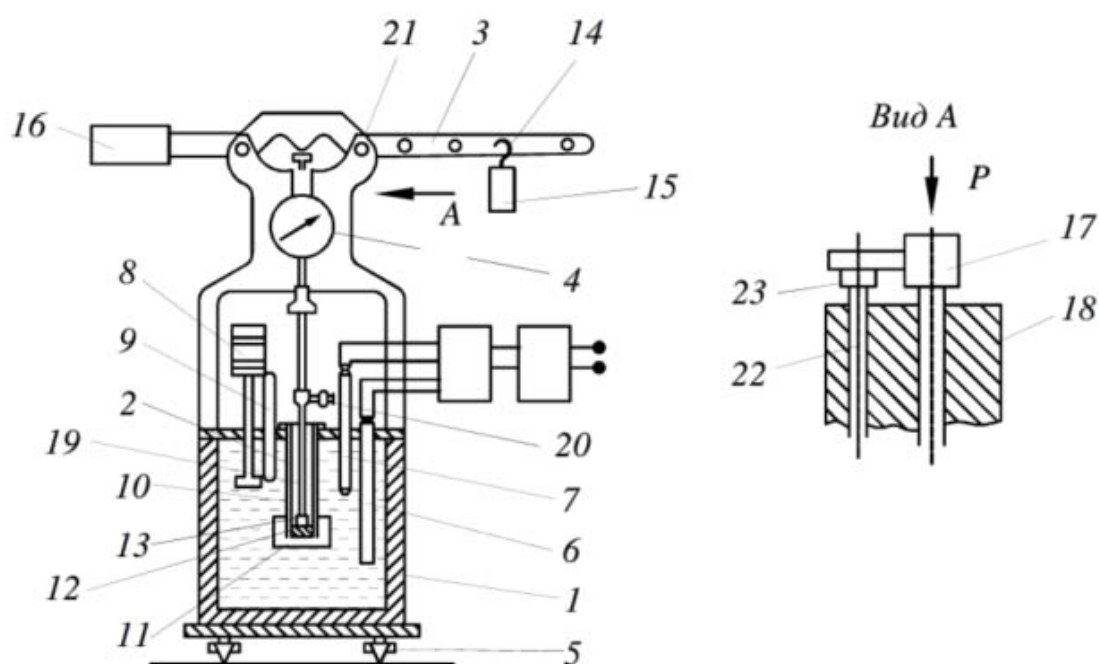
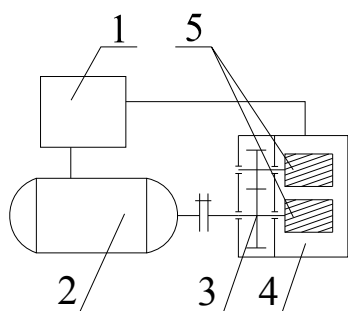


Рис. 1. Консистометр Хепплера

Нагрузка на образец передается с помощью рычага 3 со штырьками 14 для подвески груза 15 и противовеса 16 через головку 17, держатель 18 и стержень 19 с плоской площадкой. Стержень к держателю крепится винтом 20. Штырьки на рычаге пронумерованы; умножения номера штырька на массу груза дает величину усилия, передаваемого непосредственно на образец. Для крепления рычага в горизонтальном положении служит защелка 21. Индикатор ножа 22 связан с головкой 17 посредством магнитной защелки 23, что дает возможность фиксировать с помощью индикатора глубину проникновения плоского торца цилиндрического стержня в образец [1].



**Рис. 2. Смеситель
Брабендера:**

- 1 – шкаф управления;
- 2 – электродвигатель;
- 3 – фрикционные шестерни;
- 4 – смесительная камера;
- 5 – смесительные органы

В качестве материала для исследования был выбран композиционный материал, полученный на смесителе Брабендера (рис. 2). Основу композиционного материала составляли отходы ПЭВД и сажевый наполнитель. Композиционный материал получали следующим образом: промытые и высушенные отходы с содержанием посторонних примесей не более 5% подвергали сортировке. Делали навески полимера и наполнителя. Подготовленные отходы и наполнитель одновременно загружали в рабочую камеру смесителя, где вращающиеся рабочие органы затягивали их. Далее происходило смешение

и диспергирование в течение времени, заданного выбранным технологическим режимом. Затем смесь выгружали и направляли на исследования [2 – 4].

Исследования полученного композита проводили следующим образом. Вырезали образец толщиной 1 мм в виде шестиугольника. Далее образец помещали на наружную поверхность вставки с помощью пинцета, где он соприкасался с подложкой всей своей плоскостью, после этого устанавливали вставку в стакан, который помещали в термопласт. Затем на рычаг 3 подвешивали груз массой 250 г, включали нагрев и мешалку. После этого записывали показания индикатора через каждые 5 °С. В результате экспериментальных исследований была построена термомеханическая кривая, представленная на рис. 3.

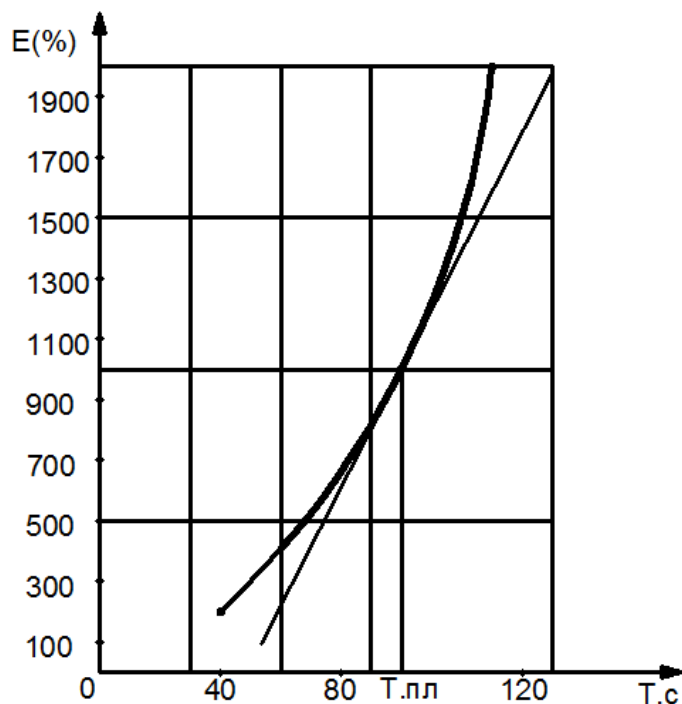


Рис. 3. Термомеханическая кривая

Анализируя данную термомеханическую кривую, определяли температуру плавления нашего композиционного материала, которая составила $T_{пл} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Список литературы

1. **Физико-химия** полимерных упаковочных материалов : лабораторный практикум / сост. : О. Г. Маликов, В. Е. Галыгин, М. В. Забавников, П. В. Макеев. – Тамбов : ТГТУ, 2012.
2. **Утилизация** полимерной тары и упаковки : учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.
3. **Применение** интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом / А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 870 – 881.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

1. *Островская А. А.* МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВВЕДЕНИЯ ПОНЯТИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ 3

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

2. *Ковалев Р. Р.* РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ 8

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

3. *Попов А. В.* АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 12
4. *Серов И. А.* АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ... 16

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

5. *Дежа А. А.* МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ 20
6. *Коржавина Т. В., Макеев П. В.* ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ 24
7. *Мордасов М. Д.* РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕР-МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ 28
8. *Солдатов А. В.* ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА 31
9. *Солдатов А. В.* ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ 35
10. *Соломахо Г. В.* ВЛИЯНИЕ ПОЛИХИНОНОВ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ МЕЗОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ 38
11. *Свиридов А. А.* МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 41
12. *Кративин С. Н.* ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОСТИ СДВИГА ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ 45
13. *Калинин Д. И.* ОПТИМИЗАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ СВЯЗЯМИ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ГИДРОПРИВОДА 49
14. *Калинин Д. И.* СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ЦЕПЕЙ РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ГИДРОПРИВОДА 53

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

15. *Быков А. Д.* АНАЛИЗ РАБОТЫ ЗАЩИТНОЙ АВТОМАТИКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С НЕПРЕРЫВНЫМ ЦИКЛОМ ПРОИЗВОДСТВА 57
16. *Маркина К. В.* АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ 60

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ

17. *Дячкина А. В., Михайлов В. А., Ерофеев А. В.* АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНОЙ ПЛИТЕ 64
18. *Кузнецова Е. В., Ерофеев А. В.* МЕТОДЫ МАСКИРОВКИ ЗДАНИЙ СТИЛЯ «НЕВИДИМОЙ» АРХИТЕКТУРЫ, ПРИМЕНИМЫЕ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ ЧЕРТЫ 67
19. *Николюкин А. Н., Плужникова Т. М., Аль Вард А. М.* ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ БАЛОК 71

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

20. *Морева И. И., Макеев П. В.* ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 75

Научное электронное издание

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Сборник научных статей
молодых ученых, аспирантов и студентов

Выпуск IX

Редактор Л. В. К о м б а р о в а

Инженер по компьютерному макетированию Т. Ю. З о т о в а

ISBN 978-5-8265-1800-7



Подписано к использованию 02.11.2017.

Тираж 50 шт. Заказ № 335

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14.

Тел./факс (4752) 63-81-08, 63-81-33.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

