



6. Дементьев А.И., Подоплелов Е.В. Исследование теплообмена на пористой структуре металлических покрытий // Сб. науч. трудов Ангарск. гос. техн. акад. Т. 1. Ангарск, 2014. С. 103–105.
7. Дементьев А.И., Подоплелов Е.В., Антонов Л.А. Математическое моделирование теплового процесса в металлизированном пористом слое. Современные технологии и научно-технический прогресс. 2015. Т. 1. № 1. С. 47–49.
8. Дементьев А.И., Подоплелов Е.В., Антонов Л.А., Корчевин Н.А. Математическая модель тепловых процессов в слое пористого металлического покрытия // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, 2014. № 2. С. 179–183.
9. Хасуй А. Техника напыления : пер. с япон. М. : Машиностроение, 1975. 268 с.
10. Антошин Е.В. Газотермическое напыление покрытий. М. : Машиностроение, 1974. 96 с.
11. Троицкий А.Ф. Основы металлизации распылением. Ташкент : Госиздат УзССР, 1965. 184 с.
12. Металлизация распылением / Н.В. Катц и др. М. : Машиностроение, 1966. 196 с.
13. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Ангарск, 2006. 744 с.
14. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств. М. : Химия, 1975. 457 с.
15. Дементьев А.И., Подоплелов Е.В. Исследование теплообмена на пористой структуре. Современные технологии и научно-технический прогресс. 2014. Т. 1. № 1. С. 18.
16. Дементьев А.И., Подоплелов Е.В., Соловьев А.Р. Интенсификация процесса конденсации углеводородных соединений в теплообменном аппарате // Сб. науч. трудов Ангарск. гос. техн. ун-та. 2016. № 1. С. 6–10.

УДК 658.512, 004.942

Лаврентьева Мария Вячеславовна

программист, Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел. 8(902)175-78-33, e-mail: mira.amazon@gmail.com

Чимитов Павел Евгеньевич,

к. т. н., доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел. 8 (3952) 40-54-19, e-mail: chimitov_pe@istu.edu

Карлина Юлия Игоревна,

магистрант института авиационного машиностроения и транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, тел. 8 (914) 879-85-05, e-mail: asup@irzirk.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ 3D–МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЙ АВИАМАШИНОСТРОЕНИЯ

M. V. Lavrentieva, P. E. Chimitov, U. I. Karlina

REALIZATION OF THE MACHINE-BUILDING PRODUCTS 3D MODEL RECOGNITION ALGORITHM

Аннотация. В условиях жесткой конкуренции на рынке перед промышленными предприятиями возникает практическая задача организации интегрированной информационной среды создания изделия. Основной целью создания интегрированной информационной среды на различных предприятиях, в том числе на предприятии «Иркутский авиационный завод», является повышение качества принимаемых решений, ускорение процессов подготовки производства и освоение технологий изготовления новых изделий. Это требует тщательного выбора комплекса систем (CAD/CAM/CAE/PDM), обеспечивающих основу интеграции конструкторско-технологической подготовки производства и наиболее полно учитывающих особенности выпускаемых изделий и процессов их изготовления. Важно правильно решить эту задачу, так как инвестиции в области автоматизации определяют конкурентоспособность предприятия на годы вперед. Данная статья посвящена проблемам разработки и реализации методики распознавания объектов электронной модели мало жесткого изделия авиационной техники с использованием средств NX OPEN API в графической среде Siemens NX, проиллюстрированного на примере одного из элементов конструкции изделия – отбортовки. Описан алгоритм выявления структурно-геометрических параметров изделия и группирования характеристик сходимости объектов кластеризации на основе аппаратов векторной алгебры и теории графов. Предложенный алгоритм применим для формализации решения ряда задач конструкторской и технологической подготовки производства, а также для усовершенствования систем поддержки принятия решений, использующих данные электронной модели изделия, при минимальном участии и под контролем специалиста.

Ключевые слова: электронная модель изделия, распознавание, Siemens NX, конструктивный элемент, классификатор.

Abstract. In the conditions of severe competition in the market, industrial enterprises face the practical task of organizing an integrated information environment for product creation. The main goal of creating an integrated information environment at various enterprises, including the Irkutsk Aviation Plant, is to improve the quality of the decisions made, accelerate the production preparation processes and master the technologies for manufacturing new products. This requires a careful choice of a set of systems (CAD / CAM /



CAE / PDM), providing the basis for integrating the design and technological preparation of production and most fully taking into account the features of the products and their manufacturing processes. It is important to correctly solve this problem, since investments in the field of automation determine the competitiveness of the enterprise for years to come. This article is devoted to the problems of development and implementation of the technique for recognizing the objects of the electronic model of a crafted aircraft product using NX OPEN API tools in the SIEMENS NX graphical environment, illustrated by the example of one of the design elements of the flanging product. An algorithm for determining the structural and geometric parameters of an article and grouping the characteristics of the convergence of clustering objects on the basis of apparatus of vector algebra and graph theory is described. The proposed algorithm is applicable for formalizing a solution to a number of tasks to design and technological preparation of production, as well as to improve decision support systems that use the data of the electronic product model, with minimal participation and under the supervision of a specialist.

Keywords: *electronic model of a product, recognition, Siemens NX, structural element classifier.*

Введение

Разработке процесса изготовления изделия должна предшествовать своевременная работа над технологичностью запроектированного изделия. Конструктор создает электронную модель изделия. Информационная модель строится на основе данных электронной модели (ЭМ) изделия [1–3]. В процессе согласования она используется технологами для отработки технологичности и оценки возможности изготовления на имеющихся производственных мощностях. Из электронной модели изделия можно извлечь необходимый список параметров, чтобы отнести конструктивный элемент к какому-либо классу, то есть распознать. В отличие от других задач, при реализации алгоритма распознавания программный комплекс Siemens NX используется в первую очередь не как инструментарий создания геометрии, а как инструментарий ее анализа [4–14]. Однако при выполнении алгоритма распознавания возможно выполнение операций построения дополнительной, вспомогательной геометрии (точки, вектора нормалей, поверхности и плоскости для определения проекций и т. д.).

Постановка задачи

Распознавание геометрических объектов происходит посредством выделения геометрии линий контура распознаваемого образа и сравнения его с данными, предварительно заложенными в базе (классификации образа). Другими словами, анализ образа позволяет выбрать необходимый и достаточный состав параметров изделия для конкретного проектного приложения, для описания и представления его вместо того, чтобы использовать сам образ [15–20].

В контексте данной задачи под образом подразумевается изделие авиационной техники. Согласно иерархическому порядку каждое изделие состоит из нескольких деталей, каждая деталь включает в себя несколько конструктивных элементов. Если говорить об электронной модели изделия, то далее можно выделить геометрические примитивы: прямые, которым присвоено значение *line*, кривые – *curve*, окружности замкнутые – *circle* и дуги – *arc*. Для создания структурной

комбинации каждому типу линий присваивается свое кодовое значение (рис. 1).

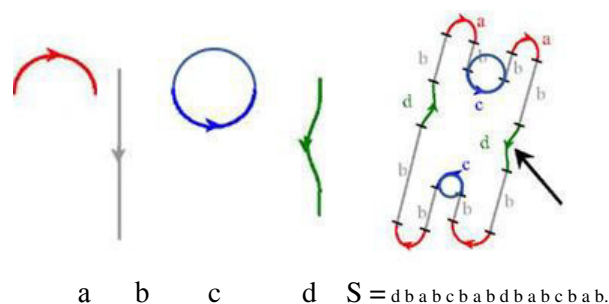


Рис. 1. Пример синтаксического описания характеристик:

a, b, c, d – примитивы; S – итоговая комбинация
Arc – a; Line – b; Circle – c; Curve – d

Из таких примитивов состоят все без исключения конструктивные элементы типовых деталей планера самолета, при необходимости эту иерархию можно продолжить и до самого последнего уровня – точки, однако подобная детализация хоть и используется, но требуется реже и может значительно увеличить трудоемкость обработки данных. Установление связи между примитивами в пределах одной детали дает представление о ее контуре, так называемое распознавание образа по контуру [21–25].

В конструкцию деталей планера самолета входят характерные конструктивные элементы, такие как стенка, борт, отверстие, отбортовка, подсечка. Для того чтобы выделить эти конструктивные элементы, применяются правила, которые определяют, в какой последовательности, при каких условиях должны быть соединены линии для каждого конструктивного элемента. Таким образом, мы получаем иерархическую систему геометрических объектов SE, каждый из которых селектирован по ранее определенной классификационной принадлежности [26–29].

В ЭМИ при помощи примитивов можно определить параметры конструктивных элементов детали, например, параметры отбортовки. Отбортовка относится к конструктивным элементам,



повышающими жесткость стенки детали, параметры которых заданы в ГОСТ 17040-80. Отбортовки состоят из нескольких окружностей x_{ci} , через которые определяют диаметр D отбортовки, расстояние между центрами этих окружностей задает высоту h отбортовки, а поверхность перехода между стенкой детали и отбортовкой R (рис. 2).

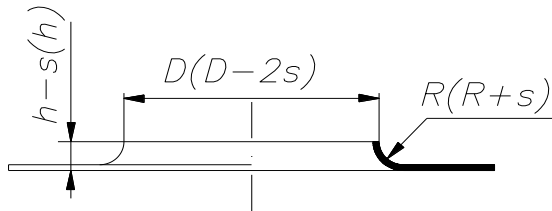


Рис. 2. Конструктивный элемент – отбортовка

Теоретическая часть

Отнесение того или иного множества к некоторому классу выполнено на основе использования функций расстояния.

Пусть задано множество N образов $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, при этом центр кластера совпадает с одним из заданных образов. Также задана произвольная неотрицательная пороговая величина T . После этого определяется расстояние D_{xz} между образом x_i и центром кластера z_i по следующему соотношению:

$$D_i = \|x - z_i\| = \sqrt{(x - z_i)'(x - z_i)}$$

Если это расстояние больше значения пороговой величины T , то учреждается новый центр кластера $z_2 = x_2$. В противном случае образ x_2 помещается в кластер, центром которого является z_1 .

Результаты процедуры кластеризации определяются выбором первого центра кластера, порядком осмотра образов и значением пороговой величины T [1, 2, 15, 16]. Влияния каждого фактора показаны на рис. 3, при этом $T_1 < T_2 < T_3$.

Основным назначением системы распознавания образов является принятие решения об отнесении произвольного образа к тому или иному классу. Один из основных подходов основан на использовании решающих функций.

В общем случае линейная n -мерная решающая функция задается следующим соотношением: $d(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + w_{n+1} = w'_0x + w_{n+1}$,

где вектор $w_0 = (w_1, w_2, \dots, w_n)'$ – весовой (параметрический).

Общепринято все векторы образов вводить после последней компоненты l . В этом случае N -мерная решающая функция также представляется в следующем виде:

$$d(x) = w'x,$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n, l)'$.

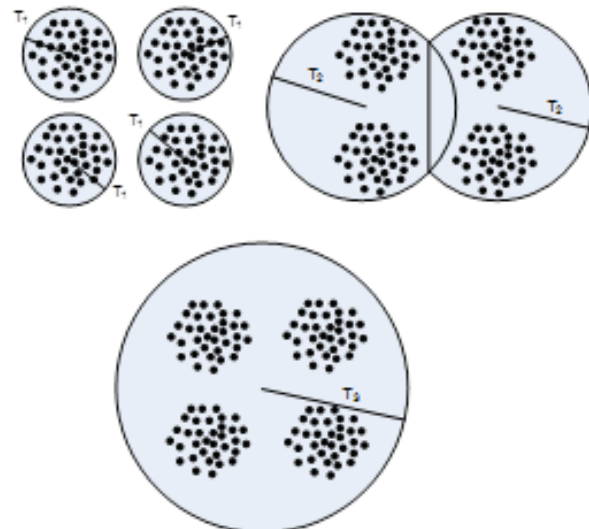


Рис. 3. Влияние выбора пороговой величины на процесс кластеризации множеств

Например, для случая, представленного на рис. 4, решающая функция, позволяющая произвести разделение множество образов на два класса, примет вид [28]

$$d(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3 = 0.$$

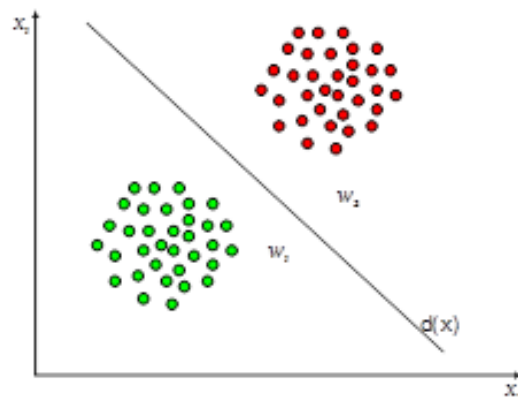


Рис. 4. Графическое отображение линейной разделяющей функции

Для решения задачи классификации образов воспользуемся байесовским классификационным правилом. Критерий Байеса – правило, в соответствии с которым стратегия решения выбирается таким образом, чтобы обеспечить минимум среднего риска. Применение критерия Байеса целесообразно в случае многократного распознавания неизвестных объектов в условиях неизменного признакового пространства при стабильном описании классов [23].

Минимум риска, усредненного по множеству решений задачи распознавания неизвестных объектов, обеспечивается в том случае, если решения о принадлежности объекта к классу ω_1



или ω_2 принимаются со следующим правилом: если измеренное значение признака у данного объекта расположено в области R_1 , то объект относится к классу ω_1 , если в области R_2 – к классу ω_2 .

Согласно Байесовскому классификационному правилу [5, 29]:

$$d_i(x) = p(x|w_i)p(w_i),$$

где $p(x|w_i)$ – вероятность попадания образа x в класс w_i ;

$p(w_i)$ – вероятность появления класса w_i .

Функцию, описывающую байесовское классификационное правило, можно представить в следующем виде:

$$p(x|w_i)p(w_i) = w_1\varphi_1(x) + w_2\varphi_2(x) + \dots + w_k\varphi_k(x) + w_{k+1} = \sum_{i=1}^{k+1} w_i\varphi_i(x),$$

где $\varphi_i(x), i = 1, 2, \dots, K$ – действительные однозначные функции образа x ; $\varphi_{k+1}(x) = 1$, а $K+1$ – число членов разложения.

Для иллюстрации процедуры кластеризации рассмотрим распознавание типовых отбортовок. Для данного типа элементов наиболее простым является признак нахождения составляющих окружностей (ребер) на одной линии.

Первый этап кластеризации заключается в определении вектора нормали у всех окружностей (ребер тела) с целью сортировки элементов по положению на детали (элемент находится либо на стенке, либо на борте). Далее происходит объединение в подгруппы всех окружностей, имеющих коллинеарные вектора нормалей [20, 21].

На следующем этапе производится сравнение положения каждой окружности со всеми окружностями массива (по предварительно извлеченным координатам центра) по радиус-вектору. В случае если какая-либо окружность попадает в заданный радиус вектор, делается вывод о «близости» данных окружностей, т. е. принадлежности к одному конструктивному элементу детали. При этом радиус-вектор не должен быть больше радиуса анализируемой окружности. Подобный метод хоть и позволяет выявить все кластеры, но также формирует множество «мнимых» элементов, т. е. группы, являющиеся составными частями более крупных групп. Однако использовать последовательный анализ с четко заданным порядком (без повторных циклов) невозможно. Это обусловлено объектной моделью NX, согласно которой единственным однозначным идентификатором объекта является tag. Однако данный идентификатор не статичен и перезадаётся при каждом открывании файла в произвольной последовательности. Ввиду этого перед передачей сформированного массива

на следующий этап распознавания необходимо выполнение процедуры поиска дубликатов, в ходе которого из массива исключаются все группы, являющиеся составными частями других более крупных групп (поиск ведется на основе анализа tag объектов). Однако полученные массивы (кластеры) могут быть как отбортовками, так и отверстиями (геометрически они состоят из одних и тех же элементов), поэтому на следующем этапе выполняется непосредственно процедура распознавания, т. е. отнесение кластера к определенному типу конструктивного элемента и выделение из него значимых параметров, необходимых для формирования технологического процесса.

Практическая значимость

В качестве основного инструментария при программной реализации алгоритма распознавания используется программный интерфейс NXOpen API, обеспечивающий более гибкую интеграцию пользовательских приложений, чем встроенные средства автоматизации, доступные в Siemens NX (wave, expressions, knowledge fusion и т. д.). Существует множество инструментов программирования под NX, при этом NXOpen относится к процедурным API, которые обеспечивают возможность работы с объектной моделью NX. Каждый API поддерживает определенный язык программирования. Набор новых языков совместно использует общую объектную модель и вследствие этого имеет общий API (Common API). Три других API из ранее существовавших относятся к классическим API [5, 7, 28].

В качестве основного интерфейса был выбран NXOpen API.NET C#. Этот выбор обусловлен рядом факторов, обусловленных преимуществами платформы Microsoft .NET. Помимо этого NXOpen API .NET является наиболее новым API, и на данный момент наибольшая поддержка выполняется именно для него (соответственно, новые функции API в первую очередь будут реализованы именно на данной платформе).

При реализации алгоритма распознавания было принято решение в качестве первоисточника информации использовать исключительно твердотельную модель (геометрию), без учета дерева построения. Это обусловлено в первую очередь тем, что инструментарий NX допускает построение одной и той же геометрии различными методами с использованием различного набора команд построения (features). Таким образом, разрабатываемый алгоритм распознавания не зависит от методики построения, а также позволяет выполнять распознавание «непараметризованной» геометрии,



полученной, например, при помощи импорта в NX из другой САПР (реализующей твердотельное моделирование).

Последовательность алгоритма распознавания содержит следующие этапы:

- выбор твердого тела (модели);
- выделение из твердого тела граней (поверхностей) и ребер;
- первичная сортировка ребер тела по их типу (линия, дуга);
- кластеризация геометрических примитивов по ключевому признаку;
- распознавание.

Следует отметить, что ряд алгоритмов распознавания, описанных выше, необходимо доработать под ограничения, накладываемые NXOpen API. К числу таких ограничений можно отнести невозможность выделения вектора нормали непосредственно у ребер, ввиду чего выполняется построение вспомогательной геометрии для его определения. Также следует учитывать, что объектная модель NX требует приведение объекта к соответствующему типу, перед тем как будет возможно извлечение из него необходимых данных. Иными словами, изначально выделенное из твердого тела ребро не имеет необходимых параметров, и чтобы определить диаметр (или точки начала, и конца), необходимо предварительно произвести приведение типа к Edge.Circular (Linear, Elliptical и т. д.). При этом также возможно и ошибочное приведение типов, что может повлечь фатальную ошибку приложения. Ввиду этого в алгоритм распознавания добавлена процедура предварительной сортировки, заключающейся в формировании массивов ребер (граней) в зависимости от их типа.

На следующем шаге выполняется процедура кластеризации. На данном этапе анализируется каждый из предварительно сформированных массивов, и в зависимости от типа распознаваемого элемента выделяется основной признак кластеризации. Также возможно реализовать алгоритм самокластеризации, в этом случае анализируется весь набор параметров, и в случае если определенное количество элементов содержат его в заданном диапазоне, принимается решение использовать его как центр кластеризации.

Процедура распознавания заключается в анализе по ключевым признакам сформированных на предыдущем этапе кластеров. При этом сам набор признаков (словарь распознавания) может быть записан в виде набора типовых параметров в СУБД системы.

Например, таковыми параметрами для определения простого цилиндрического отверстия может служить количество составных ребер-окружностей (в большинстве случаев их две). Но при распознавании сложного ступенчатого отверстия и отбортовки оценка по количеству ребер в кластере не обеспечивает должной объективности, т. к. в обоих конструктивных элементах возможно одинаковое количество ребер. В этом случае используется дополнительный параметр – толщина. В этом случае у любого сложного отверстия всегда будет только одна толщина (глубина), а в отбортовках толщин обычно более 3 (т. к. отбортовка – это элемент, получаемый методом листовой штамповки). Аналогичным образом можно составить словарь для всех типовых конструктивных элементов. При этом словарь должен основываться на количестве и параметрах геометрических примитивов и их взаимных отношениях.

Заключение

По результатам исследований и разработки интегрированной системы распознавания авторы внедряют результаты в автоматизированную систему разработки технологических процессов на Иркутском авиационном заводе. Система позволит получить следующие практические результаты:

- программный модуль распознавания структуры CAD-модели изделия;
- классификаторы ТП изготовления изделий АТ, методика формирования маршрута изготовления изделий;
- программный модуль проектирования маршрута изготовления изделия на основе CAD-модели изделия;
- информационная поддержка процесса технологического проектирования;
- автоматизация разработки и нормирования технологических процессов на основе CAD- модели.

Таким образом, применение системы распознавания трехмерных моделей на этапах концептуального проектирования и технологической подготовки производства изделий машиностроения позволяет добиться выпуска конкурентоспособного изделия с высокими, по сравнению с аналогами, целевыми показателями производственной и эксплуатационной технологичности конструкции изделия и качества [30].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A.P.M. Hoque, T. Szecsi. Designing using manufacturing feature library / Journal of Materials Processing Technology, Volume 201, Issues 1–3, 26 May 2008, Pp 204–208.



2. Cherepashkov A. A. Computer technology, modeling and automated systems in mechanical engineering/ A.A.Cherepashkov, N.V. Nosov. – In-folio. Volgograd- 2009.– 650 p.
3. Cheslavskaya A.A., Mironenko V.V., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Kotov V.V. Choosing an efficient method for forming parts by means of an engineering analysis performed with the use of a CAE system // *Metallurgist*. - 2015. - №Т. 58. № 11-12. - С. 1051–1059.
4. Emad P. Abouel Nasr, Ali K. Kamrani. A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system / *Computers & Industrial Engineering* 51 (2006) 389–415.
5. Govorkov A.S. Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture // *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies*. 2011. Т. 5. № 3. С. 156–161.
6. Govorkov A.S., Zhilyaev A.S The estimation technique of the airframe design for manufacturability. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Т. 124. № 1.
7. Gozbenko V.E., Kargapolcev S.K., Kondratiev V.V., Karlina A.I., Minaev N.V. Vertical dynamics of the vehicle taking into account roughness gauge // *Proceedings of the XV International Academic Congress “Fundamental and Applied Studies in the Modern World”* (United Kingdom, Oxford, 06-08 September 2016). Volume XV. “Oxford University Press”, 2016. pp. 373–383.
8. Gozbenko V.E., Kargapolcev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension // *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. 2016. Vol. 11. № 20. pp. 10367–10373.
9. Gozbenko V.E., Kargapolcev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Simulation of the vibration of the carriage asymmetric parameters in MATHCAD // *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, Volume 11, Number 23 (2016), pp. 11132–11136.
10. Карлина А.И., Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К. Главные координаты в решении задачи вертикальной динамики транспортного средства // *Системы. Методы. Технологии*. 2016. № 3 (31). С. 58–62.
11. Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Карлина А.И. Приведение динамической системы с тремя степенями свободы к главным координатам // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. № 3 (51). 2016. С. 35–38.
12. Карлина А.И., Каргапольцев С.К., Гозбенко В.Е. Приведение обобщенных сил в математических моделях транспортных систем // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016. № 3 (51). С. 177–180.
13. Карлина А.И., Гозбенко В.Е. Моделирование объектов машиностроения для снижения влияния внешних вибрационных воздействий // *Вестник Иркут. гос. техн. ун-та*. 2016. № 10 (117), С. 35–47.
14. Гозбенко В.Е., Карлина А.И. Математическая модель вагона с двумя степенями свободы, находящегося под действием периодической вынуждающей силы // *Известия транссиба*. 2016. № 3 (27).
15. Grechishnikov, V.A., Khusainov, R.M., Akhkiyaymov, D.R., Yurasov, S.Y., Yurasova, O.I. Identifying the primary rigidity axes in the elastic system of a metal-cutting machine. *Russian Engineering Research*, 2016. Vol. 36. №. 8. pp. 673–676.
16. Khusainov, R.M., Sharafutdinov, I.F. Methods of assessing the dynamic stability of the cutting process using UNIGRAPHICS NX. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134.
17. Kondrat'ev V., Govorkov A., Lavrent'eva M., Sysoev I., Karlina A.I. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Т. 11. № 19. С. 9979–9983.
18. Krastyaninov, P.M., Khusainov, R.M. Selection of equipment for machining processing of parts using NX and TEAMCENTER programs. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134. 2016.
19. Practical application of the "DFM analysis system" during the process control products aircraft equipment/ A.P. Govorkov, A.S, Zhilyaev. *Trudy MAI*. 2014. № 74. P. 21.
20. R. Akhatov, A. Govorkov, A. Zhilyaev Software solution designing of «The analysis system of workability of industrial product» during the production startup of aeronautical products // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Т. 10. № 21. С. 42560–42562.
21. Shmakov A.K., Mironenko V., Kirishina K.K., Stanislavchik A.S., Kotov V.V. Effect of the Average Velocity of the Free Part of the Semifinished Product on the Process of Pneumothermal Forming in the Superplastic Regime // *Metallurgist*. 2013. Т. 57. № 1-2. С. 8–12.
22. Subrahmanyam, P., Wozny, M., 1995, An overview of automatic feature recognition techniques for computer-aided process planning, *Computers in industry*, Vol. 26, pp. 1–21.



23. Амиров Ю. Д. Технологичность конструкции изделия // Библиотека конструктора. М. : Машиностроение, 1990. 768 с.
24. Говорков А.С., Чьен Х.В. Разработка автоматизированной системы проектирования технологических процессов изготовления изделия машиностроения на основе трехмерной модели / Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 48–55.
- 25.25. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Richard O. Duda, Peter E. Hart. М. : Мир, 1976. 502 с.
26. Карлина Ю.И., Говорков А.С. Конструктивно-технологические характеристики номенклатуры выпускаемых изделий при автоматизации процессов подготовки производства и выбор базовой САД-системы предприятия для создания цифрового макета изделия // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 49–55.
27. Колганов И. М., Дубровский П.В., Архипов А.Н. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Ч. 1. Ульяновск : УлГТУ, 2003. 148 с.
28. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М. : Мир, 1978. 414 с.
29. Чимитов П.Е. Разработка математической модели сборочных процессов с использованием методов распознавания образов : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2010.
30. Штайгер М.Г. Проблемы качества компонентов путевого комплекса // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 12. С. 6–9.

УДК 620.178.162; 621.839

Буторин Денис Витальевич,

аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 89041203901, e-mail: den_butorin@mail.ru

Филиппенко Николай Григорьевич,

к. т. н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 89025121754, e-mail: pentagon@mail.ru

Лившиц Александр Валерьевич,

д. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 89501378441, e-mail: livnet@list.ru

Попов Сергей Иванович,

к. т. н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
тел. 89086615338, e-mail: popovs@irgups.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИДКОФАЗНОГО НАПОЛНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ МОТОРНЫМИ МАСЛАМИ

D. V. Butorin, N. G. Filippenko, A. V. Livshits, S. I. Popov

RESEARCH OF POLYMERS AND COMPOSITES ON THEIR BASIS LIQUID-PHASE FILLING WITH ENGINE OILS

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований жидкофазного наполнения полимеров и композитов на их основе моторными маслами с целью получения материалов с повышенной износостойкостью и нагрузочной способностью.

По результатам исследований был выбран способ повышения трибоустойчивости полимеров. Разработана технология их омасления, заключающаяся в погружении предварительно высушенных полимерных образцов в ванну термовакuumной камеры, частично заполненную антифрикционной жидкостью, выдержке при температуре 50 °С с низким давлением и периодическим замером веса образцов. Разработана экспериментальная установка и определены контрольно-управляющие параметры процесса омасления полимеров и композитов на их основе. Также выявлены зависимости изменения свойств антифрикционных материалов при маслонеполнении.

Разработанная технология получения маслонеполненных полимерных материалов повышает модуль упругости при их жидкофазном наполнении моторным маслом, на основании чего можно косвенно утверждать о формировании жесткоцепной структуры композита в процессе обработки.

Ключевые слова: полимеры, антифрикционные материалы, износ, трибоустойчивость, сушка полимеров, ПИД-регулятор.

Abstract. This paper presents the results of studies of liquid-phase filling of polymers and composites on their base with engine oils in order to obtain materials with high wear resistance and load carrying capacity.

According to the research, a method of increasing tribo for their oiling polymers was chosen. A technology permanency, which consists in immersing a pre-dried polymer sample in a bath of thermal vacuum chamber partially filled with a liquid anti-friction, aging at a temperature of 50 °С with low pressure metering and periodic weight samples is developed. The experimental setup is developed