



ВЕСТНИК Машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

9
2016

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал переводится на английский язык, переиздается и распространяется во всем мире фирмой "Аллертон Пресс" (США)

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение»

Адрес издательства:

107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2

Телефон: 8-(499)-269-52-98

Факс: 8-(499)-269-48-97

Адрес редакции:

107076, Москва,

Колодезный пер., д. 2А, стр. 2

Телефон: 8-(495)-661-38-80.

E-mail: vestmash@mashin.ru; vestmash@mail.ru

www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации по печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Канцлер",
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО «Авансед солюшнз».

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.

Сайт: www.aov.ru

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Албагачиев А. Ю., д-р техн. наук, **Алешин Н.П.**, д-р техн. наук, акад. РАН, **Братухин А.Г.**, д-р техн. наук, **Воронцов А.Л.**, д-р техн. наук, **Гусейнов А.Г.**, д-р техн. наук, **Дмитриев А.М.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), **Драгунов Ю.Г.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Древаль А.Е.**, д-р техн. наук (председатель секции технологии машиностроения), **Кутин А.А.**, д-р техн. наук, **Омельченко И.Н.**, д-р техн. и экон. наук (председатель секции организации и экономики производства), **Кузин В.В.**, д-р техн. наук, **Попов Д.Н.**, д-р техн. наук, **Попов А.В.**, д-р техн. наук, **Рыбин В.В.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Трегубов Г.П.**, д-р техн. наук, **Скугаревская Н.В.** (ответственный секретарь)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

Базров Б. М., Умаров Г. Ш. — Исследование влияния несовпадения технологических и конструкторских баз на точность координирующих размеров поверхностей детали	3
Кремлева Л. В., Малыгин В. И., Лобанов Н. В. — Определение оптимальной технологической базы длинномерных заготовок тел вращения	9
Журавлев Г. А., Жданов А. В., Новиков Р. В., Филимонов В. Н. — Физическая модель контакта упругих тел с краевым касанием	13
Наджафов А. М., Абдуллаев А. И., Ахмедов Б. Б. — Новый механический привод штанговых насосов для добычи нефти	19
Александров И. К. — Способ экспериментально-теоретического определения собственных сил демпфирования в упругом элементе механической системы	25
Тимофеев Г. А., Костиков Ю. В. — Расчет крутильной жесткости волновых зубчатых передач	28
Уварова Л. А., Салиева О. А., Девяттерикова Е. А., Галахов Е. И. — Ситуация blow-up в оценках некоторых технологических рисков на примере модельной задачи нелинейного теплопереноса	31
Бровман М. Я. — Определение деформаций при упругопластическом изгибе заготовок	36
Короткин В. И. — Сравнительный анализ напряженности зубьев и нагрузочной способности цилиндрических зубчатых передач Новикова и эвольвентных передач	38
Локощенко А. М. — Определение оптимальной программы осадки цилиндров с учетом трения	44
Ивашов Е. Н., Львов Б. Г., Яговцев В. О. — Локальные алгоритмы вычисления для зондовых методов исследования поверхности и статистического моделирования стохастических задач	49

Bazrov B. M., Umarov G. Sh. — Research of influence of misalignment of technological and assembly bases on accuracy of coordinating dimensions of part surfaces	3
Kremleva L. V., Malygin V. I., Lobanov N. V. — Determination of optimal technological base of long-length billets of bodies of revolution	9
Zhuravlev G. A., Zhdanov A. V., Novikov R. V., Filimonov V. N. — Physical contact model of elastic bodies with edge touching	13
Nadzhafov A. M., Abdullaev A. I., Akhmedov B. B. — New mechanical drive of sucker rod pumps for oil extraction	19
Aleksandrov I. K. — Method of experimental and theoretical determination of eigen damping forces in mechanical system elastic element	25
Timofeev G. A., Kostikov Yu. V. — Analysis of torsional stiffness of harmonic gear drives	28
Uvarova L. A., Salieva O. A., Devyaterikova E. A., Galakhov E. I. — Blow-up situation in assessment of some technological risks on the example of model problem of non-linear heat transfer	31
Brovman M. Ya. — Determination of deformations at elastoplastic bending of billets	36
Korotkin V. I. — Comparative analysis of teeth strains and load-carrying ability of cylindrical Novikov and involute gearings	38
Lokoshchenko A. M. — Optimal program determination of cylinders shortening with account of friction	44
Ivashov E. N., L'vov B. G., Yagovtsev V. O. — Local calculating algorithms for probe research methods of surface and statistical modeling of stochastic problems	49

Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки

Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication

Дьяков И. Ф. — Повышение ресурса подшипника скольжения	54
Жиркин Ю. В., Пузик Е. А., Султанов Н. Л. — Проектирование тяжело нагруженных подшипниковых опор при смазочной системе масло—воздух	58

D'yakov I. F. — Increase of sliding bearing life	54
Zhirkin Yu. V., Puzik E. A., Sultanov N. L. — Design of highly loaded bearing assemblies at oil-air lubricating system	58

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

MANUFACTURING ENGINEERING

Морозов В. В., Гусев В. Г., Дворянинова Т. П. — Микрогеометрия поверхности после селективного лазерного спекания металлического порошка	62
Зайдес С. А., Нгуен Х. В. — Влияние охватывающего поверхностного пластического деформирования на изгибную жесткость валов	66
Кирсанов С. В., Цыганков Р. С., Ярных А. Е. — Сверление центральных отверстий в плунжерных втулках топливных насосов ружейными сверлами с износостойкими покрытиями	69
Соколов Ю. А., Павлушин Н. В., Кондратьев С. Ю. — Новые аддитивные технологии с использованием пучка ионов	72

Morozov V. V., Gusev V. G., Dvoryaninova T. P. — Surface microgeometry after selective laser sintering of metal powder	62
Zaydes S. A., Nguen Kh. V. — Influence of wrap-around surface plastic deformation on bending stiffness of shafts	66
Kirsanov S. V., Tsygankov R. S., Yarnykh A. E. — Drilling of central holes in plunger bushings of fuel pumps by gun drills with wear resistant coatings	69
Sokolov Yu. A., Pavlushin N. V., Kondrat'ev S. Yu. — New additive technologies with application of ion beam	72

Проблемы теории и практики резания материалов

Problems of theory and practice of materials cutting

Боровский Г. В., Каменецкий Л. И., Надольский М. А., Негинский Е. А., Маслов А. Р. — Силовые характеристики процесса резания высокопрочных горных пород алмазным инструментом	77
Волков Д. И., Проскуряков С. Л., Дружков С. С. — Применение модифицированных многофункциональных покрытий металлорежущего инструмента при токарной обработке высокопрочного чугуна	79

Borovskiy G. V., Kamenetskiy L. I., Nadol'skiy M. A., Neginskiy E. A., Maslov A. R. — Force characteristics of cutting process of high-strength rocks by diamond tools	77
Volkov D. I., Proskuryakov S. L., Druzhkov S. S. — Application of modified multifunctional coatings of metal cutting tool at turning processing of high-strength iron	79

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF PRODUCTION

Лагута В. С. — Ранжирование показателей функционирования для принятия решения по выбору вариантов построения производственного процесса на участке механообработки	84
--	----

Laguta V. S. — Ranking of performance indices for decision making on selection of variants of production process construction on machining area	84
---	----

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

TECHNICAL INFORMATION

Декер И. — Современные технологии раскроя металла лазером	86
---	----

Deker I. — Modern technologies of metal pattern cutting by laser	86
--	----

Технический редактор Т. А. Шацкая
Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 25.07.2016. Подписано в печать 19.08.2016.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,78.

*Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.*

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.3

В. С. ЛАГУТА, канд. техн. наук (ООО "Институт производственных исследований", г. Москва),
e-mail: institut@imail.ru

Ранжирование показателей функционирования для принятия решения по выбору вариантов построения производственного процесса на участке механообработки

Для определения оптимального решения при модернизации производственного участка мелкосерийного производства предложен метод экспертных оценок. Наиболее значимый показатель найден ранжированием комплекса показателей функционирования производственного объекта.

Ключевые слова: предприятие, экспертная оценка, показатель функционирования, неопределенность выбора, ранжирование.

For determination of an optimal solution at modernization of a production area of small-scale manufacture the expert assessment method is suggested. The major index is determined by ranking of complex of performance indices of a manufacturing entity.

Keywords: enterprise, expert assessment, performance index, generality of choice, ranking.

На современных производствах решаются задачи, связанные как с плановыми мероприятиями, так и с форс-мажорными обстоятельствами. Поэтому желательно иметь как можно более точное представление о значимых планируемых показателях конечного состояния производства. Если текущее состояние производственного объекта можно фиксировать, например, с помощью технологического аудита, то будущее производственной системы можно оценить только с определенным приближением. Неопределенность состояния производства в перспективе может привести к прямо противоположным результатам относительно планируемых и даже к банкротству предприятия.

Оценка функционирования производственного объекта осуществляется посредством системы расчетных показателей — нормативных, например финансовых (ликвидность, окупаемость, фондоотдача и т. п.), эксплуатационных (коэффициент загрузки оборудования, степень резервирования и т. д.), оценочных (стоимость оборудования, капитальные затраты, суммы кредиторской/дебиторской задолженности и т. п.).

Формирование системы показателей зависит от подхода к принятию решения при проектировании или модернизации как всего производства, так и отдельного производственного участка.

Принятие решения основывается на комплексной оценке системы показателей, при этом целевая функция (или критериальная оценка) требует количественной оценки составляющих (показателей), т. е. их ранжирования. Это позволяет поэтапно уменьшать общую неопределенность выбора оптимального решения.

Процедура ранжирования показателей функционирования производственного объекта состоит из следующих этапов:

- 1) формирование перечня показателей;
- 2) формирование группы экспертов и их оценка значимости каждого показателя;
- 3) обработка полученных результатов.

Проведенные исследования показателей функционирования производственных объектов выполняли на основании оценочных данных, представленных специалистами ОАО "Авиаагрегат" (г. Самара), ОАО "ВНИИИнструмент" (г. Москва), кафедры "Компьютеризированные системы автоматизации" МГТУ им. Н. Э. Баумана и ООО "Институт производственных исследований" (г. Москва).

Формирование перечня показателей функционирования производственного участка

Поставленная задача решалась для мелкосерийного производства, выпускающего высокотехнологичную продукцию авиационного назначения. По плану развития ОАО "Авиаагрегат", изготавливающего стойки авиационных шасси с приводом, намечен одновременный выпуск нескольких десятков типоразмеров данных стоек. При этом за месяц на участке механической обработки выполняются десятки тысяч операций.

Формированием системы значимых для аналогичных производств показателей занимались специалисты МВТУ им. Н. Э. Баумана под руководством профессора В. Ф. Горнева [1, 2]. В результате был составлен перечень показателей, значения которых представляли собой усредненные величины по совокупности изделий, подлежащих обработке на рассматриваемом производственном участке. В данном случае под изделием понимается

объект производственного процесса — деталь, деталь-представитель, передаточная партия, т. е. объект, подлежащий обработке на оборудовании участка, с учетом которого формируются требования к оборудованию в соответствии с маршрутом технологического процесса, а именно наличие соответствующих приспособлений, инструмента, управляющих программ и т. п.

Перечень значимых показателей функционирования участка механической обработки

1. Продолжительность производственных циклов (ДПЦ) по изделиям, ч.
2. Производительность (Пр) по изделиям, шт./ч.
3. Коэффициент (K_3) загрузки оборудования.
4. Производительность ($Пр_{нор}$) по изделиям, нормо-ч/ч.
5. Удельные приведенные затраты (УПЗ), руб./изд.
6. Объемы незавершенного производства (НЗП) по изделиям, шт.

Рассмотрим некоторые особенности представленной группы показателей. При реконструкции производства с целью использования передового оборудования (следовательно, еще не апробированного на данном заводе) технологию изготовления продукции в перспективе можно представить только ориентировочно, как проектную разработку. Имеющийся производственный процесс ориентируется на нормативную технологию, реален, но тоже имеет отклонения в показателях.

С позиций принятия решения важно оценить их эффективность в сравнении с нормативной технологией. Поэтому будем ориентироваться на относительную производительность — отношение времени, затраченного по нормативной технологии, к времени, которое потребуется для получения того же результата с использованием нового оборудования, нормо-ч/ч.

Оценить нормативную и проектную технологии по всей номенклатуре изделий не представляется возможным, так как число деталей-операций исчисляется десятками тысяч. Поэтому в предложенной системе показателей используются усредненные данные, например средние приведенные затраты — суммарные производственные издержки, отнесенные к общему числу изделий, выпущенных за тот же период.

Формирование группы экспертов и экспертные оценки значимости каждого показателя

В группу экспертов вошли пять специалистов предприятия, непосредственно работающих на модернизируемом предприятии, и четыре эксперта со стороны, имеющих необходимую квалификацию в области автоматизации переналаживаемого машиностроительного производства.

В качестве метода ранжирования было принято прямое ранжирование показателей, представленных на экспертизу [3, 4].

Для подтверждения статистической значимости полученных результатов для каждого ранжирования вычисляется коэффициент W конкордации, определяющий согласованность мнений экспертов [3]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где m — число экспертов в группе; n — число факторов; S — сумма квадратов разностей рангов (отклонений от среднего).

Результаты ранжирования исследуемых показателей по индивидуальной оценке каждого эксперта представлены в табл. 1. Коэффициент конкордации в данном случае составил $W = 0,13$.

Полученные значения сравнивают с критическим значением по критерию Пирсона [3, 4]. Если статистическая значимость не подтверждается, то результаты ранжирования аннулируют.

Анализ полученных результатов

Так как экспертная группа составлена из специалистов завода (5 человек) и экспертов, приглашенных из других организаций (4 человека), проанализируем их ранжирование показателей по каждой подгруппе в отдельности (табл. 2 и 3) и определим для каждого случая коэффициент согласования

Таблица 1
Результаты ранжирования показателей при $W = 0,13$

Показатель	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Сумма	Ранг
ДПЦ	4	5	5	1	2	2	1	1	1	22	1
Пр	3	1	6	5	3	3	4	5	3	33	4
K_3	6	3	2	4	1	1	6	4	5	32	3
$Пр_{нор}$	2	2	1	3	4	4	2	3	6	27	2
УПЗ	1	4	3	6	5	5	5	6	2	37	5
НЗП	5	6	4	2	6	6	3	2	4	38	6

Таблица 2
Результаты ранжирования показателей экспертами завода при $W = 0,31$

Показатель	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Сумма	Ранг
ДПЦ	5	5	1	2	2	15	4
Пр	1	6	5	3	3	18	3
K_3	3	2	4	1	1	11	1
$Пр_{нор}$	2	1	3	4	4	14	2
УПЗ	4	3	6	5	5	23	5
НЗП	6	4	2	6	6	24	6

Таблица 3
Результаты ранжирования показателей экспертами сторонних организаций при $W = 0,36$

Показатель	Э1	Э7	Э8	Э9	Сумма	Ранг
ДПЦ	4	1	1	1	7	1
Пр	3	4	5	3	15	5
K_3	6	6	4	5	21	6
$Пр_{нор}$	2	2	3	6	13	2
УПЗ	1	5	6	2	14	3
НЗП	5	3	2	4	14	4

УДК 67.02

И. ДЕКЕР, д-р физ. наук (KNUTH Werkzeugmaschinen GmbH, г. Васбек, Германия), e-mail: knuth-russland@yandex.ru

Современные технологии раскроя металла лазером

Рассматривается использование лазера для повышения эффективности раскроя металла и сокращения производственных затрат.

Ключевые слова: раскрой металла, волоконный лазер, CO₂-лазер, установка лазерной резки, оптимизация, экономия.

The application of laser for effectiveness improvement of metal pattern cutting and manufacturing costs saving is considered.

Keywords: metal pattern cutting, fiber laser, CO₂-laser, laser cutter, optimization, economy.

При раскрое листовых металлов все большее применение находят волоконные лазеры, особенно эффективные для раскроя коррозионно-стойких

сталей, алюминиевых и медных сплавов. Рассмотрим функциональные особенности волоконного лазера, отличающие его от широко используемого на производстве CO₂-лазера, и современные установки для лазерной резки модельного ряда LASER-JET фирмы KNUTH Werkzeugmaschinen GmbH (Германия). Это высокотехнологичное металлообрабатывающее оборудование, которое присутствует на российском рынке с 2000 г. и работает на многих крупных предприятиях.

Сравним возможности волоконного лазера и CO₂-лазера. Излучение волоконного лазера лучше поглощается металлами, чем излучение CO₂-лазера. Длина луча волоконного лазера в 10 раз короче луча CO₂-лазера, поэтому возможно его более



(Окончание статьи. Начало см. на стр. 84)

ванности мнений экспертов. По результатам ранжирования только экспертами завода коэффициент конкордации составил 0,31, а по другой группе экспертов — 0,36.

В экспертную группу из девяти человек входят четыре специалиста с опытом преподавательской деятельности в московских и самарских вузах со специализацией по автоматизации и управлению производственными системами, знания которых в этой области научно обоснованы и основываются на последних исследованиях. Результаты ранжирования данных экспертов приведены в табл. 4.

Проанализируем полученные результаты.

Предложенная в 1990-е годы система показателей функционирования производственного участка, которую ранее рассматривали только в теоретическом аспекте при проектировании гибких производственных систем, была принята для оценки предлагаемых решений при реконструкции современного завода.

Таблица 4

Результаты ранжирования показателей экспертами с опытом научно-преподавательской деятельности при $W = 0,18$

Показатель	Э1	Э6	Э8	Э9	Сумма	Ранг
ДПЦ	4	2	1	1	8	1
ПР	3	3	5	3	14	2
К _з	6	1	4	5	16	5
Пр _{нор}	2	4	3	6	15	4
УПЗ	1	5	6	2	14	3
НЗП	5	6	2	4	17	6

В данном случае недоминируемым показателем является продолжительность производственного цикла. Причем отношение к этому показателю у экспертов разное. Специалисты завода считают важнейшим такой показатель функционирования участка, как коэффициент загрузки оборудования, а сторонние эксперты — продолжительность производственного цикла.

В то же время и те и другие на второе место поставили среднюю производительность, измеряемую в нормо-ч/ч. Это указывает на то, что нормативные технологические показатели следует пересмотреть с учетом возможностей современного станочного оборудования, что позволит полностью использовать его потенциал.

Автор выражает благодарность помощнику генерального директора ОАО "Авиаагрегат" А. В. Мизеровскому за оказанную поддержку и помощь в организации и проведении экспертизы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Емельянов В. В., Лагута В. С. Пути снижения риска инвестирования в реструктуризацию и разработку нового производства // СТИН. 1995. № 7. С. 22—24.
2. Горнев В. Ф., Лагута В. С. Использование системы имитационного моделирования "ПОДСИМ" при разработке и оценке проектов и действующих производств // Вестник машиностроения. 1994. № 9. С. 24—28.
3. Литвак Б. Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.
4. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2001. 400 с.