

7. Dumarque P., Audebert P. Evaporation convective d'une particule spherique liquide a faible nombre de eynolas dans un gaz a haute temperature // Ann. Phus (Fr). – 1988. – Vol. 13. – No. 3. Collouque No. 2. – P. 81–88.

8. Исследование процессов тепломассообмена с учетом пограничного слоя испаряющейся капли / Н. А. Дикий, А. Н. Мочалов, В. И. Павлищев [и др.] // Тр. НКИ. – 1975. – № 97.

9. Влияние дисперсности распыленной воды на интенсивности ее подачи при тушении пожара в закрытом объеме / В. В. Дударев, О. Г. Гороховых, С. Н. Бардушко, И. А. Шмулевцев, С. Н. Бобрышева // Науковий вісник Укр. – НДУПБ, 2009. – № 1(19).

10. Волков Е. Б., Головкин Л. Г., Сырицын Т. А. Жидкостные ракетные двигатели. – М.: Воениздат, 1970. – 590 с.

11. Лышевский А. С. Закономерности дробления жидкостей механическими форсунками давления. – Новочеркасск: РИО НПИ, 1961. – 185 с.

12. Техничко-экономические аспекты городского централизованного водоснабжения / Н. П. Кузнецов, В. А. Пономаренко, А. И. Салтыков, Е. В. Бухтулова. – М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. – 480 с.

13. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / под ред. проф. В. М. Кудрявцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 703 с.

14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литер., 1962. – 564 с.

15. Численное исследование воздействия тонкораспыленной воды на турбулентное диффузионное пламя / А. А. Шумихин, А. И. Карпов, М. А. Корепанов, В. Б. Новожилов // Химическая физика и мезоскопия. – 2012. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 391–400.

16. Смирнов М. М. Дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка. – М.: Наука, 1964. – 205 с.

17. Элементарный учебник физики. – Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / под ред. акад. Г. С. Ландсберга. – М.: Наука, 1971. – 655 с.

18. Сполдинг Д. Б. Горение и массообмен / пер. с англ. Р. Н. Гизатуллина и В. И. Ягодкина; под ред. В. Е. Дорошенко. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

19. Прудников А. Г., Волинский М. С., Сагалович В. Н. Процессы смесеобразования и горения в ракетных двигателях. – М.: Машиностроение, 1971. – 356 с.

20. Прудников А. П., Брычков Ю. Б., Маричев О. И. Интегралы и ряды. – М.: Наука, 1981. – 798 с.

21. Буравов А. Н., Бухтулова Е. В., Кузнецов Н. П. Способ пожаротушения и устройство для его осуществления: Заявка на предполагаемое изобретение РФ № 2013117233.

N. P. Kuznetsov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. N. Buravov, Applicant, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. V. Bukhtulova, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

On Definition of Water Spray Spectrum of LRE Injector Head in Firefighting

The paper discusses the possibilities of the conversion applying the injector heads taken from salvageable liquid-propellant rocket engines, in the firefighting systems. The paper shows the possibility of approximating the drop spray spectrum by polynomial models.

Key words: firefighting equipment, fine spray of liquid, spray spectrum, injector heads of salvageable liquid-propellant rocket engines.

УДК 621.69

А. Н. Шельпяков, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

К. А. Михалев, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

В. Б. Куимов, ООО «Завод НГО «Техновек», Воткинский

Р. З. Закиров, ООО «Завод НГО «Техновек», Воткинский

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Приводятся результаты исследований газожидкостного смесителя, влияния конструкции эжектора на параметры смешения.

Ключевые слова: смеситель, моделирование, концентрация, эжектор.

Во многих отраслях, в том числе при добыче нефти, требуется создание мелкодисперсной газожидкостной смеси. Например, при измерении количества или расхода дебита скважины для обеспечения точности измерения требуется создание мелкодисперсной смеси. Кроме того, аналогичная задача возникает при создании калибровочных и тарировочных устройств. Однако созда-

ние и исследование работоспособности различных конструкций смесителей с использованием натуральных образцов требует очень больших материальных и временных затрат. Одним из современных методов исследования гидродинамических процессов является применение программных систем конечно-элементного анализа (например, ANSYS/CFX и FlowVision).

Ниже представлены результаты исследования конструкции газожидкостного смесителя с применением конечно-элементных программных комплексов.

Целью исследований является изучение процессов, происходящих в смесителях, и определение их параметров, обеспечивающих максимальную эффективность перемешивания для разработки устройства получения мелкодисперсной газожидкостной смеси.

Анализ существующих устройств для смешивания жидкостей позволяет выделить основные принципы их действия: эжектор, вихревая камера, конические диффузоры, встречные потоки.

Анализ физических процессов, происходящих в устройствах, использующих перечисленные принципы, показывает, что наиболее эффективным, вероятно, будет использование эжектора и встречных потоков.

Для создания смесителя первоначально проведены сравнительные исследования различных конструкций эжекторов. В качестве исходных моделей рассмотрены обычный эжектор с круглым осевым активным каналом (рис. 1, а) с подачей пассивной (всасываемой) среды из наружного кольцевого канала, а также эжектор с кольцевым активным каналом (рис. 1, б) и подачей пассивной среды изнутри через центральный канал и снаружи через кольцевой канал.

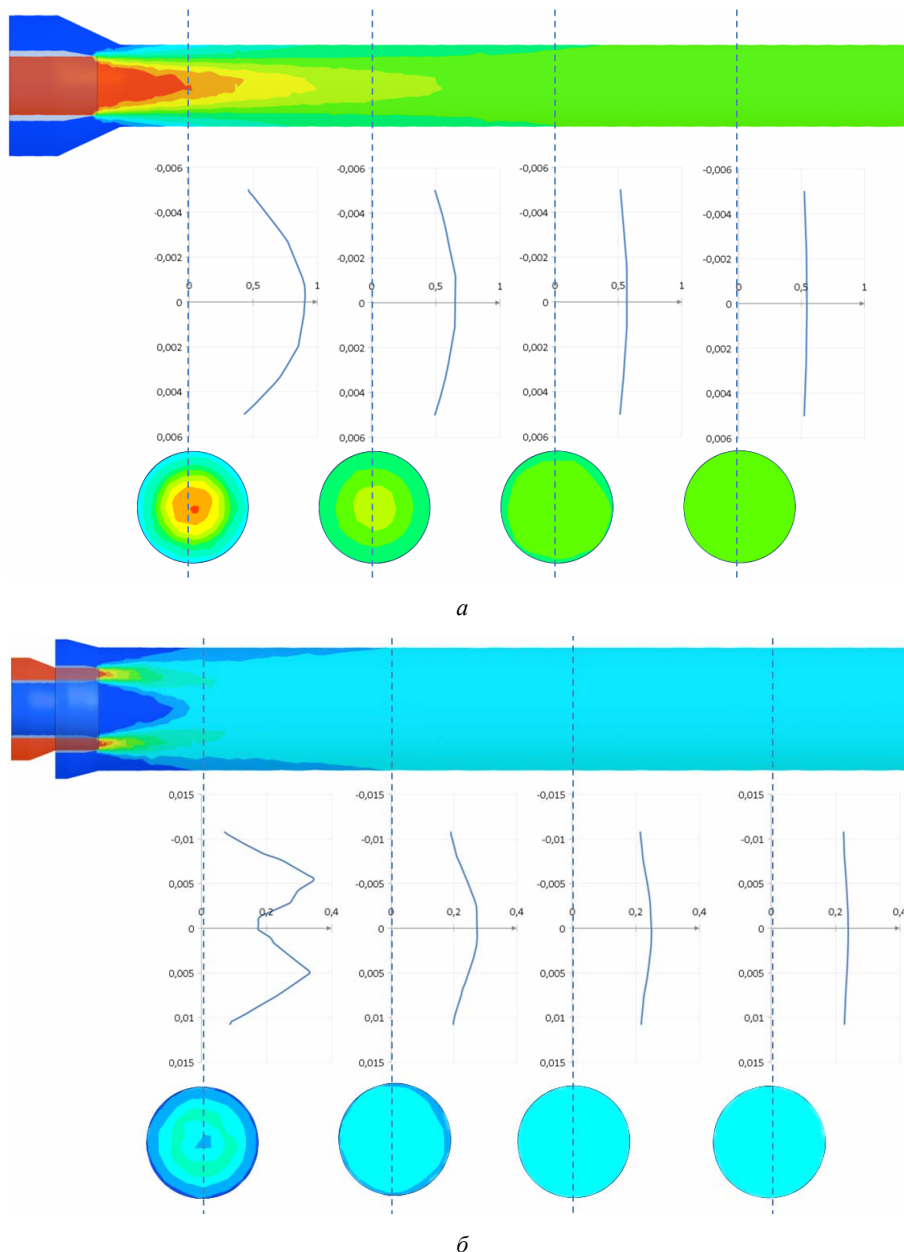


Рис. 1. Конструкции эжекторов и результаты моделирования процессов смешивания: а – классический эжектор; б – кольцевой эжектор

Для данных конструкций разработаны модели проточных частей и проведено моделирование процессов смешивания воздуха и воды при определен-

ных гидродинамических параметрах. Для оценки результатов работы эжекторов использовался критерий наиболее равномерного распределения концен-

трации компонента (воды) по различным сечениям вдоль выходного канала. На рис. 1 представлены графики концентрации жидкости в общей массе смеси и картины ее распределения по различным сечениям вдоль камеры смешивания для обычного эжектора (а) и для эжектора с кольцевым питающим каналом (б).

Как видно из полученных картин течения, более равномерное распределение концентрации воды наблюдается у эжектора с кольцевым каналом. Кроме того, эжектор с кольцевым каналом обладает более высокой всасывающей способностью $K_3 = Q_n / Q_a$, где Q_a – расход активной и Q_n – пассивной среды соответственно.

Так, у обычного эжектора $K_3 = 0,889$, а у кольцевого – $K_3 = 3,374$.

Дальнейшие исследования проводились для смесительной установки с использованием конструкции эжектора с кольцевым питающим каналом. Схема установки представлена на рис. 2.

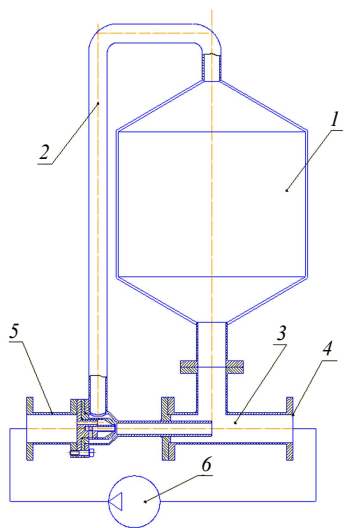


Рис. 2. Схема смесительной установки

Установка содержит емкость 1 с коническим дном и верхом. В верхней части расположен патрубок 2 для отвода газовой составляющей, а нижняя часть соединена с камерой смешивания 3, которая с одной стороны имеет выходной патрубок 4, а с другой – эжектор 5 с цилиндрическим выходным каналом. Верхний (газовый) патрубок 2 соединен с пассивным всасывающим входом эжектора 5. Для перекачивания смешиваемых компонентов установка содержит насос 6, соединенный с входом эжектора 5 и выходным патрубком 4.

Первоначально в процессе работы жидкая фаза находится в нижней части емкости 1, а газовая – в верхней. Затем при работе насоса жидкая фаза подается на активный вход эжектора и, протекая через него, осуществляет захват газовой составляющей. Происходит перемешивание компонентов и выброс их в камеру смешивания. В течение определенного времени образуется однородная газожидкостная смесь во всем объеме смесителя.

Эффективность перемешивания может быть оценена по равномерности газожидкостной смеси в объеме устройства, которая определяется как процентное содержание компонентов в смеси, при этом оно должно быть равным соотношению первоначально заправленных в емкость жидкой и газовой составляющих. Кроме того, эффективность перемешивания может быть оценена по времени приготовления смеси (достижения заданной концентрации в полном объеме).

Для определения эффективности перемешивания компонентов проведено имитационное моделирование процессов. В качестве экспериментальной модели создана объемная модель проточной части смесителя, представленная на рис. 3.

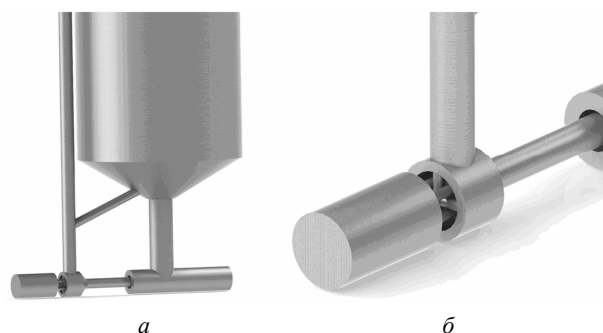


Рис. 3. Модель проточной части смесителя: а – проточная часть эжектора и смесительного устройства; б – каналы течения активного и пассивного потоков

Сечение нижнего патрубка являлось выходом, а сечение активного эжекторного патрубка – входом. В процессе моделирования использовалась серия последовательных расчетов с переменными начальными условиями, изменяющимися через определенный небольшой промежуток времени (дискрета Δt). Запуск процесса осуществлялся при назначении определенного равного расхода через выход и вход модели и разделенных газовой и жидкой фаз. Расчет останавливался через время Δt , затем производилось определение концентрации на выходе и задание ее на вход модели. После чего расчет запускался вновь при новых начальных условиях. Этот процесс продолжался до момента стабилизации концентрации компонентов на выходе.

В качестве начальных условий для процесса моделирования применены следующие значения. Используемая жидкость – сырая нефть, газ – воздух. Расход на входе – 2 л/с, расход на выходе – 2 л/с, начальное соотношение компонентов: газ/жидкость – 2/1, давление в емкости 2 МПа. При этом в нормальных условиях соотношение газ/жидкость составит $40 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (так называемый газовый фактор равен 40).

На рис. 4 представлены последовательные картины процесса перемешивания.

Анализ картин процесса перемешивания показывает, что после его завершения неравномерность концентрации смеси во всем объеме проточной части не превышает 2 % от исходной.

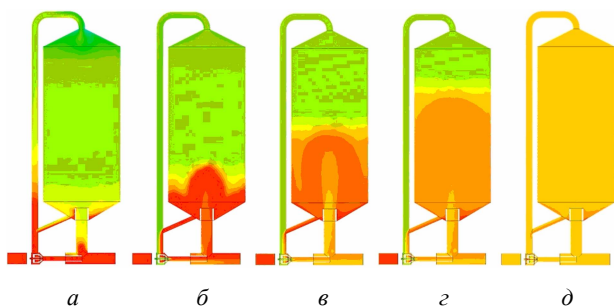


Рис. 4. Картина процесса перешивания: а – в начале процесса; б, в, г – в середине процесса; д – в конце процесса

На рис. 5 представлена зависимость изменения концентрации компонентов на выходе во времени.

Как видно из графика, при заданных условиях время перемешивания жидкостей и газа от разделенного состояния до образования равномерной концентрации смеси во всем объеме устройства составляет 45 с.

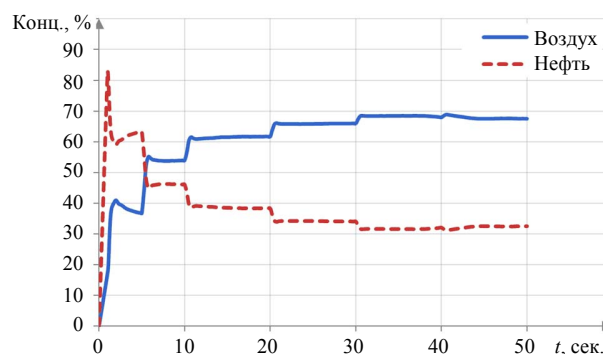


Рис. 5. Временная зависимость изменения концентраций нефти и воздуха

Таким образом, с использованием современных методов математического моделирования исследована и разработана конструкция газожидкостного смесителя; результаты исследования использованы при составлении методики проведения испытаний расходомерных устройств.

A. N. Shelpyakov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 K. A. Mikhalev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 V. B. Kuimov, Oil and Gas Equipment LLC “Technovek”, Votkinsk
 R. Z. Zakirov Oil and Gas Equipment LLC “Technovek”, Votkinsk

Investigation of Gas-Liquid Mixer

The paper presents the results of investigating the gas-liquid mixer and influence of the ejector layout on mixing parameters.

Key words: mixer, modeling, concentration, ejector.

УДК 621.01:531.3

Е. А. Ефременков, кандидат технических наук, Томский национальный исследовательский политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИУСА ТЕЛА КАЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ И СВОБОДНОЙ ОБОЙМОЙ*

Выведено выражение для определения допустимых значений радиуса тела качения по условиям соседства и сборки. Выполнен анализ изменения диапазона допустимых значений от исходных параметров передачи с ПТК и свободной обоймой. На основании анализа подтверждено изменение радиуса тела качения и его диапазона в большей степени от эксцентриситета, чем от числа тел качения.

Ключевые слова: радиус тела качения, допустимые значения, механическая передача.

На сегодняшний день наиболее перспективными механическими передачами движения и мощности, благодаря высоким техническим характеристикам, являются передачи с промежуточными телами качения (ПТК). Данный вид передач обеспечивает комплекс таких характеристик, как высокая точность, надежность, компактность, способность передавать высокие крутящие моменты [1]. Из данного вида передач наиболее полно

обеспечивает требуемые для современного машиностроения характеристики передача с ПТК и свободной обоймой (рис. 1).

Исходными параметрами при проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой являются [2]: r_2 – радиус производящей окружности; r_p – радиус промежуточных тел качения; Z_2 – число промежуточных тел качения; χ – коэффициент смещения.

© Ефременков Е. А., 2013

Получено 01.08.13

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК № 14.B37.21.1143 от 14.09.2012).

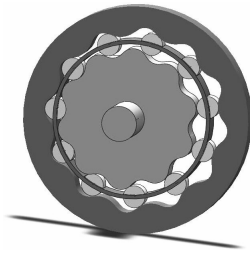


Рис. 1. Принципиальная схема передачи с промежуточными телами качения и свободной обоймой

Эти параметры назначаются независимо друг от друга, но при проектировании передачи возможна ситуация, когда (при независимо заданных 4 параметрах) возникает наложение профилей колес (рис. 2, а) или наложение тел качения друг на друга (рис. 2, б). В этих случаях передача становится не работоспособной. Нетрудно заметить, что в описанных ситуациях главную роль играет радиус тела качения r_p , т. е. наложение тел качения возникает из-за чрезмерного увеличения их радиуса, а интерференция профилей – при значительном уменьшении этого параметра. В связи с этим определение допустимых значений радиуса тела качения на стадии проектирования передачи с ПТК и свободной обоймой является актуальной.

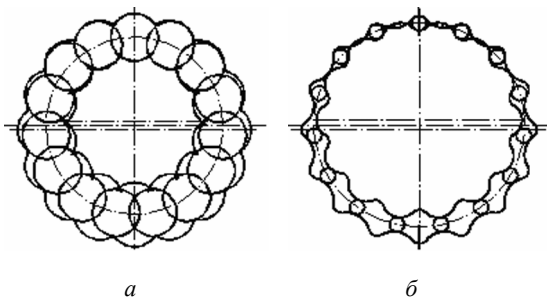


Рис. 2. Варианты нарушения работоспособности передачи с ПТК и свободной обоймой: а – наложение профилей; б – наложение тел качений

Целью работы является определение выражения для диапазона допустимых значений радиуса тела качения и анализ зависимости этого диапазона от исходных параметров передачи с ПТК и свободной обоймой.

Определим границы диапазона допустимых значений радиуса r_p .

Для определения максимально допустимого значения радиуса тела качения r_p рассмотрим расчетную схему (рис. 3). Из схемы видно, что увеличение радиуса r_p определяется наименьшим расстоянием между центрами тел качения, расположенными на радиусе r_c .

Далее и впредь будем определять неналожение тел качения как условие соседства тел качения или просто условие соседства.

Для определения наименьшего расстояния между центрами тел качения построим и рассмотрим треугольник DOE , основание которого является хордой окружности r_c и определяет наличие максимально

допустимого пространства между центрами тел качения при определенном числе тел качения Z_2 . Тогда, очевидно, расстояние между центрами соседних тел качения должно быть больше диаметра тела качения $d = 2r_c$, чтобы обеспечивался зазор между ними, а следовательно, обеспечить условие соседства.

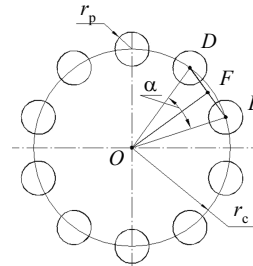


Рис. 3. Расчетная схема к определению условия соседства

Таким образом, ограничение максимального значения радиуса тела качения (условие соседства) записывается следующим выражением:

$$r_p \leq \frac{DE}{2}. \quad (1)$$

Величина хорды DE определяется из треугольника DOE (рис. 3) через радиус (OD) расположения центров тел качения, и угол их распределения по окружности центров

$$DE = OD \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда, выразив через оставшиеся три исходных параметра передачи с ПТК и свободной обоймой, условие соседства (1) запишем в следующем виде:

$$r_p < r_2 \cdot \chi \cdot \sin \left(\frac{180^\circ}{Z_2} \right). \quad (2)$$

За половину оборота входного звена передачи тело качения перемещается из центра впадины профиля на центр выступа профиля, т. е. центр тела качения проходит путь, равный полному эксцентриситету передачи [2]. Таким образом, если радиус тела качения будет меньше эксцентриситета передачи e , то возникнет наложение профилей при сборке, несмотря на то, что внутреннее колесо может проходить внутри наружного, не касаясь профилями, без тел качения.

Далее и впредь будем определять наложение профилей циклоидальных колес как условие сборки.

Тогда ограничение минимального значения радиуса тела качения (условие сборки) запишем как

$$r_p > e,$$

и, выразив через исходные параметры, получим:

$$r_p > \frac{r_2}{Z_2}. \quad (3)$$

Объединив выражения (2) и (3), получим выражение для определения диапазона допустимых зна-

чений радиуса тел качения, обеспечивающих условие соседства и условие сборки:

$$\frac{r_2}{Z_2} < r_p < r_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right). \quad (4)$$

На основе полученного выражения (4) проведем анализ изменения допустимых значений радиуса r_p для обоснованного выбора исходных параметров при проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой.

При проектировании реальных передаточных механизмов на базе передачи с ПТК и свободной обоймой часто выгоднее, с конструкторской точки зрения, определять число тел качения Z_2 и величину эксцентриситета $e = \frac{r_2}{Z_2}$, а не радиус производящей

окружности r_2 . С этой точки зрения выражение (4) для диапазона допустимых значений радиуса r_p можно переписать следующим образом:

$$e < r_p < e \cdot Z_2 \cdot \chi \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right). \quad (5)$$

Как видно из выражения (5), на радиус тела качения передачи с ПТК и свободной обоймой значительное влияние оказывает эксцентриситет передачи. Рассмотрим изменение допустимого диапазона значений радиуса тела качения (табл. 1) от эксцентриситета передачи с ПТК и свободной обоймой, данные таблицы представим в виде графика (рис. 4).

Изменяя вместе с эксцентриситетом число тел качения, получим следующие значения параметров (табл. 2 и 3), иллюстрируемые графиками (рис. 5).

Из графиков на рис. 4 и 5, а видно, что увеличение числа тел качения при одновременном увеличении эксцентриситета не влияет на изменение диапазона допустимых значений радиуса тел качения. Уменьшение числа тел качения с одновременным увеличением эксцентриситета приводит к постепенному уменьшению диапазона допустимых значений радиуса r_p , а при достижении Z_2 значения 3 (табл. 3) – к резкому сокращению диапазона Δr_p (рис. 5, б).

Рассмотрим увеличение эксцентриситета e при постоянном числе тел качения Z_2 , с одновременным изменением коэффициента смещения χ – увеличением (табл. 4) и уменьшением (табл. 5).

Для наглядности представим данные таблиц на графиках (рис. 6).

Из графиков на рис. 6 видно, что изменение диапазона Δr_p нелинейно в сравнении с предыдущими случаями. При одновременном увеличении e и χ происходит нелинейное возрастание диапазона допустимых значений радиуса r_p , но диапазон Δr_p становится в 2-2,5 раза меньше по сравнению с изменением числа тел качения Z_2 . При увеличении e и уменьшении χ диапазон Δr_p еще больше сокращается и наблюдается экстремум (рис. 6, б). Этот экстремум соответствует уравниванию уменьшения χ увеличением e .

Таблица 1. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения эксцентриситета e

Параметр	Значение													
	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	
Δr_p , мм	0,80	1,70	3,40	5,10	6,80	8,50	10,10	11,80	13,50	15,20	16,90	18,60	20,30	
Z_2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

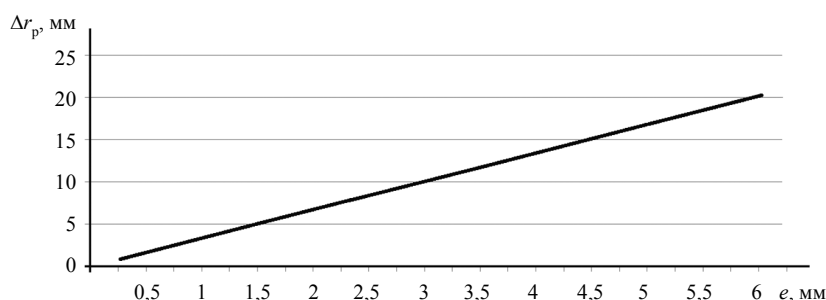


Рис. 4. График зависимости величины ($\Delta r_p = r_{p\max} - r_{p\min}$) диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета передачи с ПТК и свободной обоймой

Таблица 2. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и Z_2 (увеличение)

Параметр	Значение												
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Z_2	2,0	3,0	4,0	5,0	6	7	8	9	10	11	12	13	
Δr_p , мм	0,9	2,6	4,4	6,2	8,0	9,8	11,5	13,2	15,0	16,7	18,4	20,1	

Таблица 3. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и Z_2 (уменьшение)

Параметр	Значение												
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	
Z_2	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
Δr_p , мм	1,7	3,3	5,0	6,7	8,3	9,9	11,4	12,8	14,0	14,8	14,5	10,8	

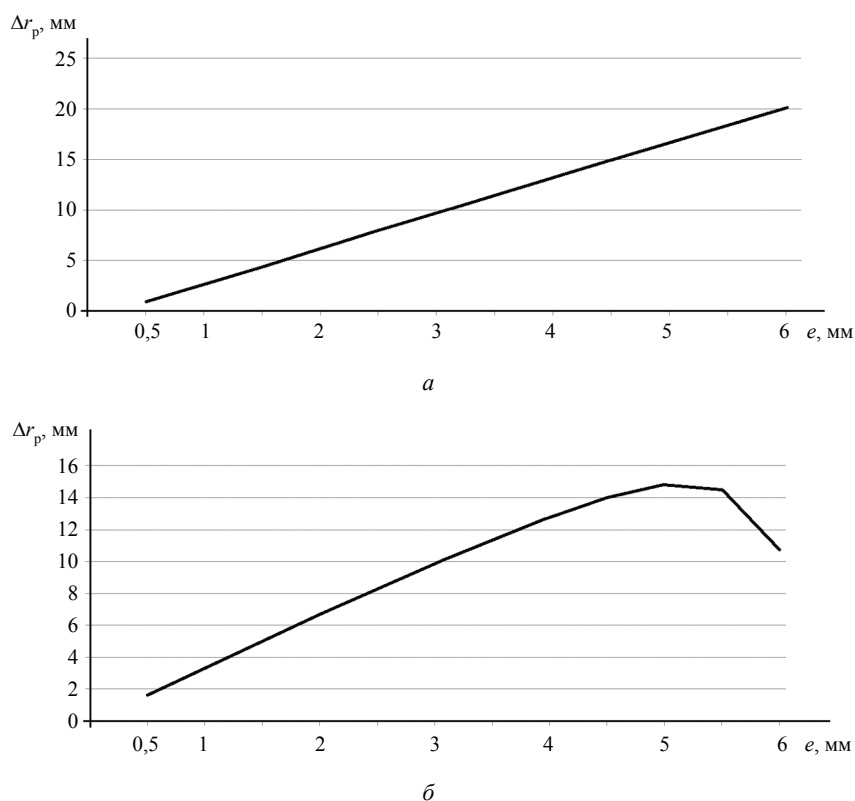


Рис. 5. Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета и числа тел качения передачи с ПТК и свободной обоймой: *a* – эксцентриситет и число тел качения увеличиваются; *b* – эксцентриситет увеличивается, а число тел качения уменьшается

Таблица 4. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и χ (увеличение)

Параметр	Значение											
e , мм	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
χ	1,3	1,33	1,36	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,59	1,62	1,65
Δr_p , мм	0,1	0,3	0,6	1	1,5	2,1	2,8	3,5	4,3	5,2	6,1	7,1

Таблица 5. Диапазон значений радиуса r_p в зависимости от изменения e и χ (уменьшение)

Параметр	Значение											
e , мм	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
χ	1,65	1,62	1,59	1,55	1,52	1,49	1,46	1,43	1,40	1,36	1,33	1,30
Δr_p , мм	0,60	1,10	1,60	1,90	2,20	2,40	2,47	2,46	2,30	2,10	1,70	1,20

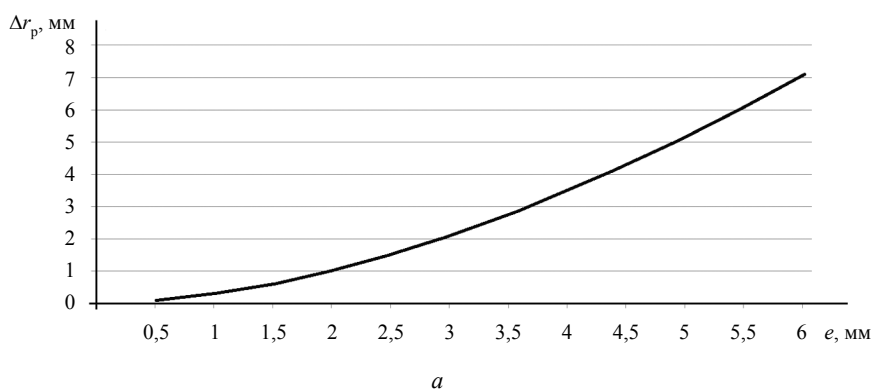


Рис. 6. Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета e и коэффициента смещения χ передачи с ПТК и свободной обоймой: *a* – e и χ увеличиваются; *b* – e увеличивается, а коэффициент χ уменьшается

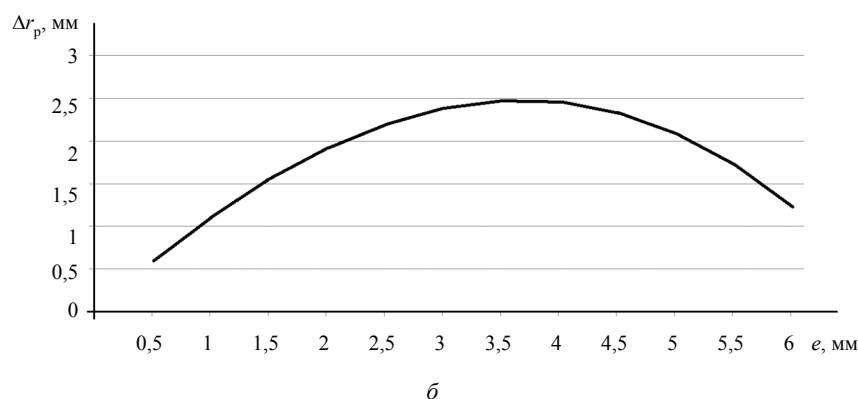


Рис. б (окончание). Графики зависимости величины Δr_p диапазона допустимых значений радиуса тела качения от эксцентриситета e и коэффициента смещения χ передачи с ПТК и свободной обоймой: а – e и χ увеличиваются; б – e увеличивается, а коэффициент χ уменьшается

Вообще любое увеличение параметров передачи с ПТК и свободной обоймой ведет к увеличению габаритных размеров самой передачи и всего механизма в целом. Но бывают ситуации, когда контролируемое регулирование габаритных размеров передачи необходимо, например, при подборе опор качения. Тогда для заметного увеличения габаритов деталей передачи можно изменять (увеличивать) эксцентриситет e , а для «точной подгонки» – варьировать коэффициент смещения χ .

Изменение количества тел качения на радиус тела качения влияния не оказывает, а влияет только на передаточное число. Особое влияние эксцентриситета передачи на радиус тела качения отмечалось еще в работах профессора Беляева А. Е. [3] для передачи с ПТК (ВМПТ).

Таким образом, получено выражение для определения допустимых значений радиуса тела качения по условиям соседства и сборки. Также на основании анализа подтверждено, что для передачи с ПТК и свободной обоймой, как и для ВМПТ, радиус тела

качения и диапазон его изменения в большей степени зависят от эксцентриситета, чем от числа тел качения. Показана нелинейная зависимость диапазона допустимых значений радиуса r_p от коэффициента смещения χ . Полученные результаты могут быть использованы при подборе исходных параметров и проектировании передачи с ПТК и свободной обоймой для передаточных механизмов на ее основе.

Библиографические ссылки

1. Панкратов Э. Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообработывающего производства : Практикум лидера-проектировщика. – Томск : ТГУ, 1998. – 296 с.
2. Ефременков Е. А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения : дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
3. Беляев А. Е. Механические передачи с промежуточными телами качения повышенной точности и долговечности. – Томск : ТПИ, 1986. – 60 с.

E. A. Efremenkova, PhD in Engineering, Tomsk National Research Polytechnic University

Determining the Allowable Range of Rolling Body Radius in Design of Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Iron Ring

The equation was obtained to determine the allowable range of rolling body radius with account of adjacency and assembly. The paper presents the analysis of changing the allowable range according to initial parameters of a transmission with intermediate rolling bodies and free iron ring. On the base of this analysis the variation of the rolling body radius and its range is confirmed to be dependent on the eccentricity rather than the number of rolling bodies.

Key words: radius of rolling body, allowable values, mechanical transmission.

УДК 621.833.6

Ф. И. Плеханов, доктор технических наук, профессор, Глазовский инженерно-экономический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

А. В. Монаков, Глазовский инженерно-экономический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

ГЕОМЕТРИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕС ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТИПА *K-H-V*

Предложено зацепление с изменяющейся высотой зубьев колес, приведены уравнения для определения глубины их захода и результирующего коэффициента перекрытия, а также графические зависимости этих показателей от числа зубьев сателлита и разницы чисел зубьев сателлита и колеса планетарной передачи типа *K-H-V*.

Ключевые слова: планетарные передачи, *K-H-V*, геометрия, нетрадиционное зацепление.

Планетарные передачи с одним внутренним зацеплением сателлита и малой разницей чисел зубьев колес (передачи типа *K-H-V* по классификации проф. В. Н. Кудрявцева) выгодно отличаются от многих других типов зубчатых механизмов хорошими массогабаритными показателями, малыми потерями мощности на трение, большим передаточным отношением в одной ступени, высокой нагрузочной способностью [1]. Особенно эффективны такие передачи с роликовым механизмом снятия движения с сателлитов (рис. 1) [2]. Однако

для предотвращения заклинивания передачи из-за интерференции продольной кромки внешнего зуба с главной поверхностью внутреннего зацепления колеса принимается большой угол зацепления колеса ($\alpha_w \geq 40^\circ$ при разнице чисел зубьев $\Delta z \leq 3$), а глубина захода зубьев определяется исходя из обеспечения минимально необходимого коэффициента перекрытия ($\varepsilon = 1,05$) [3]. Последнее обстоятельство приводит к снижению плавности работы механизма, особенно при небольшом моменте на выходном валу.

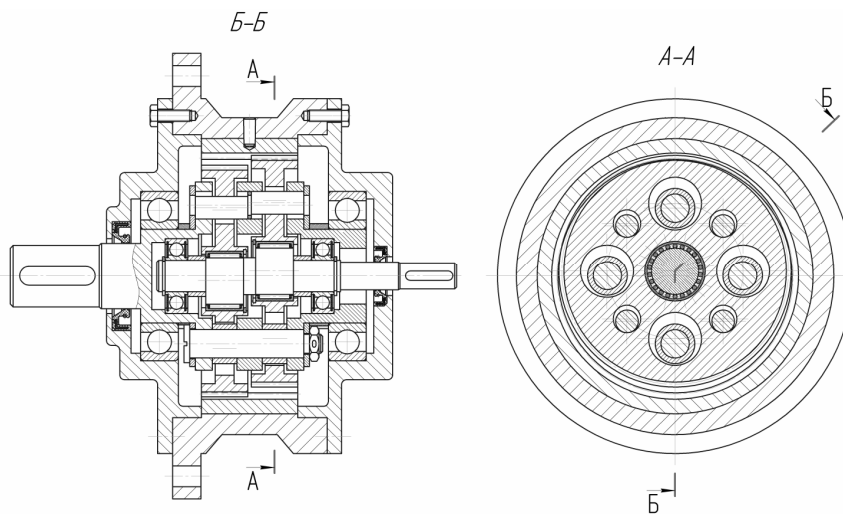


Рис. 1. Планетарная передача типа *K-H-V* (пат. 2445529 РФ: МПК F16H1/32)

Для устранения указанного недостатка планетарной передачи типа *K-H-V* авторами статьи предложено выполнять зубья зацепляющихся колес разными по высоте в разных поперечных сечениях (рис. 2). Это позволит при малой глубине захода зубьев колес в отдельных их сечениях h_w обеспечить максимальную глубину захода зубьев в целом H_w и максимальный результирующий коэффициент перекрытия ε_Σ .

Радиусы окружностей вершин зубьев колес и торцовая глубина захода h_{w1} , h_{w2} определяются из условия обеспечения коэффициента перекрытия $\varepsilon = 1,05$ (рис. 3):

$$L = \varepsilon m \cos \alpha = \sqrt{(r_{ag})_{\min}^2 - r_{bg}^2} + a_w \sin \alpha_w - \sqrt{(r_{ab})_{\min}^2 - r_{bb}^2} = \sqrt{(r_{ag})_{\max}^2 - r_{bg}^2} + a_w \sin \alpha_w - \sqrt{(r_{ab})_{\max}^2 - r_{bb}^2}, \quad (1)$$

где m – модуль зубьев; α – угол профиля исходного контура; α_w – угол зацепления; a_w – межосевое расстояние; r_{bb} и r_{bg} – радиусы основных окружностей колеса b и сателлита g ; r_{ab} и r_{ag} – радиусы вершин их зубьев.

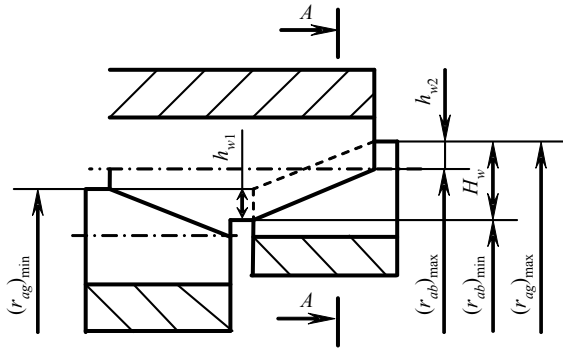


Рис. 2. Нетрадиционное внутреннее зацепление колес планетарной передачи

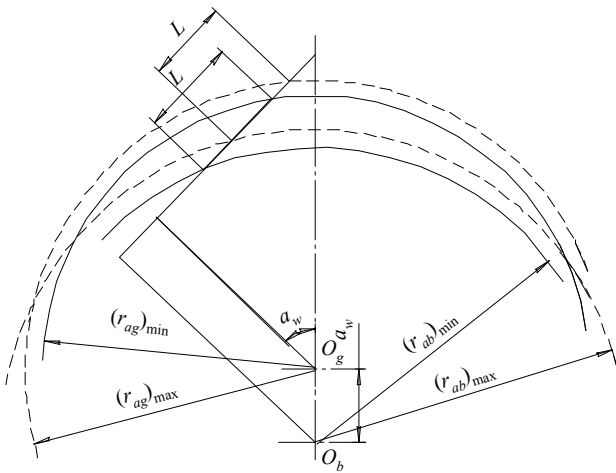


Рис. 3. Схема зацепления колес передачи типа К-Н-В

Входящие в это уравнение радиусы выражаются через параметры передачи и станочного зацепления:

$$(r_{ab})_{\min} = (0,5z_g - 1,25 + x_g)m + a_w + c_1; \quad (2)$$

$$(r_{ab})_{\max} = \sqrt{r_{bb}^2 + \left(\sqrt{(r_{ag})_{\max}^2 - r_{bg}^2} + a_w \sin \alpha_w - \pi \epsilon \cos \alpha \right)^2}; \quad (3)$$

$$(r_{ag})_{\min} = \sqrt{r_{bg}^2 + \left(\sqrt{(r_{ab})_{\min}^2 - r_{bb}^2} - a_w \sin \alpha_w + \pi \epsilon \cos \alpha \right)^2}; \quad (4)$$

$$(r_{ag})_{\max} = (x_o + 0,5z_o + 1,25)m - a_w - c_2 + \frac{(z_b - z_o)m \cos \alpha}{2 \cos \alpha_{wo}}. \quad (5)$$

Здесь z_g, z_b, z_o – числа зубьев сателлита, колеса и долбяка, которым нарезается колесо; x_g и x_o – коэффициенты смещения исходного контура сателлита и долбяка; c_1, c_2 – радиальные зазоры в зацеплении колес ($c \geq 0,25m$); α_{wo} – угол станочного зацепления, определяемый по общеизвестной зависимости

$$\text{inv } \alpha_{wo} = \text{inv } \alpha + 2 \frac{x_b - x_o}{z_b - z_o} \text{tg } \alpha,$$

где x_b – коэффициент смещения исходного контура колеса.

Учитывая, что высота зубьев колес, нарезаемых стандартным инструментом, не превышает $2,25m$, указанные радиусы вершин должны удовлетворять следующим равенствам:

$$(x_o + 0,5z_o + 1,25)m + \frac{(z_b - z_o)m \cos \alpha}{2 \cos \alpha_{wo}} - (r_{ab})_{\min} \leq 2,25m,$$

$$(r_{ag})_{\max} - (x_g + 0,5z_g - 1,25)m \leq 2,25m.$$

Подстановка выражений (2)–(5) в уравнение (1) позволяет найти радиусы окружностей вершин зубьев колес. Тогда торцовая и полная глубины захода, соответственно, равны:

$$h_{w1} = (r_{ag})_{\min} + a_w - (r_{ab})_{\min}; \quad (6)$$

$$h_{w2} = (r_{ag})_{\max} + a_w - (r_{ab})_{\max}; \quad (7)$$

$$H_w = (r_{ag})_{\max} + a_w - (r_{ab})_{\min}. \quad (8)$$

В табл. 1–3 приведены зависимости указанных параметров от числа зубьев сателлита при разных значениях $\Delta z = z_b - z_g$, полученные по уравнениям (6–8). Углы зацепления определялись исходя из условия отсутствия интерференции профилей зубьев (при $\Delta z = 1 \alpha_w = 59^\circ$, при $\Delta z = 2 \alpha_w = 48^\circ$, при $\Delta z = 3 \alpha_w = 42^\circ$).

В соответствии с этим результирующий коэффициент перекрытия

$$\epsilon_\Sigma = \frac{1}{\pi m \cos \alpha} \times \left(\sqrt{(r_{ag})_{\max}^2 - r_{bg}^2} + a_w \sin \alpha_w - \sqrt{(r_{ab})_{\min}^2 - r_{bb}^2} \right). \quad (9)$$

На рис. 4 показана зависимость ϵ_Σ от z_g и Δz .

Значения параметров h_{w1}, h_{w2} и показателя качества ϵ_Σ , приведенные в табл. 1–3 и на рис. 4, соответствуют колесам, нарезанным стандартным инструментом при $z_b - z_o \geq 21$ (для предотвращения интерференции в станочном зацеплении) и максимально возможной высоте зубьев сателлита и центрального колеса планетарной передачи.

Таблица 1. Глубина захода зубьев колес h_{w1}

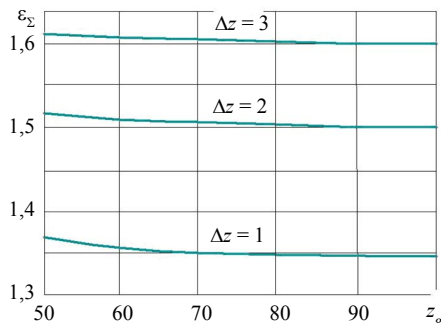
Δz	z_g					
	50	60	70	80	90	100
1	1,3	1,3	1,3	1,29	1,29	1,29
2	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
3	1,18	1,19	1,19	1,19	1,20	1,20

Таблица 2. Глубина захода зубьев колес h_{w2}

Δz	z_g					
	50	60	70	80	90	100
1	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33	1,33
2	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,29
3	1,31	1,29	1,28	1,27	1,27	1,26

Таблица 3. Суммарная глубина захода зубьев колес H_w

Δz	z_g					
	50	60	70	80	90	100
1	1,69	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62
2	1,79	1,77	1,76	1,75	1,74	1,74
3	1,84	1,83	1,82	1,81	1,80	1,80

Рис. 4. Зависимость результирующего коэффициента перекрытия от Δz и числа зубьев сателлита

Таким образом, выполнение зубьев колес планетарной передачи типа К-Н-V разными по высоте в разных их поперечных сечениях позволяет существенно повысить коэффициент перекрытия зацепления и плавность работы механизма, не нарушая условия отсутствия интерференции продольной кромки внешнего зуба с главной поверхностью внутреннего.

Библиографические ссылки

1. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи: справочник / В. Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдяшев. – М. : Машиностроение, 1977. – 535 с.
2. Пат. 2445529 РФ МПК F16H 1/32.
3. Плеханов Ф. И. Влияние геометрии зацепления колес планетарной передачи типа К-Н-V на показатели ее прочности // Вестник машиностроения. – 2013. – №3. – С. 16–20.

F. I. Plekhanov, DSc in Engineering, Professor, Glazov Institute of Engineering and Economics (branch) of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. V. Monakov, Glazov Institute of Engineering and Economics (branch) of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Geometry of Non-Traditional Internal Engagement of K-H-V Planetary Gears

Variable-height gearing is proposed for K-H-V epicyclic gears as a better alternative to classical constant-height gearing. Equations for contact ratio and working depth are derived, and graphical dependences of these parameters on the number of teeth in the planetary gear and the difference of the number of teeth in the planetary gear and the annulus are shown.

Key words: epicyclic gearing, K-H-V, gear geometry, non-traditional engagement.

УДК 621.865.8-52

Pavol Božek, PhD., Assoc. Prof., Slovak University of Technology, Trnava

Vladimír Goga, Slovak University of Technology, Bratislava

A. I. Korshunov, Doctor of Engineering Science, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

ROBOT ARM CONTROL BASED ON INS WITH THE SUPPORT OF SIMULATION IN MATLAB / SIMULINK

This paper describes the activity system and the importance of INS with the possibility of implementation to the robot control. The contribution also introduces the execution of DC motor regulation utilized for the positioning of a rotary positioned arm. The motor control comprises the current regulation, angular velocity and the rotation of the motor shaft fixed to the arm regarding the required angular change course of the arm rotation. The regulation structure of the DC motor is carried out in MATLAB/Simulink program. The arm movement is investigated via the mathematical model and virtual dynamic model formed in MSC.ADAMS program.

Key words: INS, gyroscope, accelerometer, dynamic model, PID controller, MATLAB/Simulink.

The integration of navigational information represents the actual issue of reaching higher accuracy of required navigational parameters by using more, less accurate navigation systems. The inertial navigation is the navigation based on uninterrupted evaluating of the position of a navigated object with utilizing the sensors which are sensitive to motion, i.e. gyroscopes and accelerometers, which are regarded as pri-

mary inertial sensors or other sensors located on the navigated object. The position, orientation, direction and velocity of motion without external sources of information about the motion are constantly determined by means of the navigation computer and data from sensors. The actual position of the object is evaluated on the basis of knowledge of the initial position and subsequent continual measuring the acceleration and direction of motion

in a reference system. The principle of inertial navigation obeys the laws of classical mechanics defined by Newton. The INS includes at least one navigation computer and a platform or a module containing accelerometers and gyroscopes. From the constructional point of view inertial navigation systems are divided into platform so-called gimballed systems and non-platform so-called strapdown systems. In the platform system inertial sensors are attached to the platform which is installed in a gimbals suspension with three degrees of freedom with the aim of remaining the constant space orientation in defined directions (north – south, east – west and vertically on performing the gravitational attraction), while the gimbals suspension is firmly connected to the construction of the navigated object. The moving mechanical parts of the systems cause relatively low reliability towards the non-platform systems. The inertial sensors of non-platform systems are firmly connected to the construction of the object (usually in the centre), for whose navigation they are determined. Both types of the inertial navigation systems consist of an inertial measurement unit and a navigation computer.

The aim of the research is to investigate and develop a new combined inertial navigation system based on electronic gyroscopes, magnetic and barometric sensors. The mentioned system will ensure the accuracy which is necessary for example for the calibration of robotic workplaces and thereby the necessities of utilizing the calibration agents will be limited. A big advantage of the INS is also its autonomy in comparison with methods used nowadays. This leads to the essential simplification of calibration and it even carries big possibilities with it in the field of control and measuring, for example, avoiding the accidental collisions of robots etc. To solve a problem of ensuring the required accuracy is a basic problem. The integration of more measuring devices (INS) is one of the possibilities [11]. The integration of navigation information represents the topical issue of achieving greater accuracy of required navigation parameters. The crucial activity is focused on three basic fields:

- The first goal is to analyze accelerometer and gyroscopic sensors and their possibilities of utilization for inertial navigation. The simulation of the effect of sensors with different metrological parameters and their effect on the properties of the proposed combined navigation system.

- The second goal is to optimize a specialized processor system for processing the data from the defined sensors in connection with controlling items of an industrial robot [10]. The proposal of an algorithm of combined navigation with respect to the used processor system.

- The third goal is to verify experimentally the proposed inertial navigation system in real conditions of the industrial robot operation.

Characteristic of issue

The demand of navigation autonomy, i.e. the independence of the external sources of navigation information became the reason for implementing the inertial navigation systems. The principle of inertial navigation is based on Newton's laws which express a change of motion under the action of external forces and accelera-

tion which is directionally and by size proportional to the acting external force. The inertial navigation system consists of a measurement unit containing accelerometers and gyroscopes and from a navigation computer which evaluates the data from measuring devices. In contrast to all the other navigation systems inertial navigation is completely autonomous, self-sustaining and independent of the surrounding environment, i.e. the system is resistant to outside influences such as magnetic disturbances, electronic interference and signal distortion. Computing operations in the inertial navigation system are based on Newton's law of motion.

For the purpose of navigation in a coordinate system it is necessary to keep the direction of motion in the direction of acceleration. This is not practically possible, and therefore sensors – gyroscopes are used for detecting the rotary motion. Seeing that each free object in space has six degrees of freedom (internally mutually independent variables) the inertial navigation system usually consists of three gyroscopes and three accelerometers where each pair (gyroscope, accelerometer) is able to record the rotation or acceleration in the direction of one axis which is perpendicular to the others. Of the six degrees it is three linear degrees of freedom "Fig. 1", the translation in the X-axis, Y-axis and Z-axis which indicate the position of the object and three degrees of freedom of rotation which indicate rotating around the X-axis, Y-axis, and Z-axis. The position of the object is also known if we know the six variables. If this data is observed for a certain period of time, it is possible to determine the trajectory and speed of an object's motion from it. The electronic gyroscope is one of the most modern gyroscopic sensors. The mentioned sensors use the Coriolis force which acts on the particle moving with certain speed in a rotating non-inertial reference system and which is directly proportional to the absolute value of the angular velocity vector of this system. The Coriolis force acts on the resonating mass, which is flexibly embedded in the frame and when the frame turns, in the direction perpendicular to the axis of rotation (perpendicularly to the plane of the frame) and perpendicular to the direction of motion of resonating mass. The Coriolis force also alternates its orientation in the direction perpendicular to the direction of motion because the resonating mass oscillates in one direction. The amplitude of this force is measured by means of a change of electric capacity of a condenser whose electrodes are connected to the stable and movable frame.

The inertial measurement unit (IMU) is an essential item of each INS. Sensors, whose output is influenced by the motion of the object on which the IMU is placed, are regarded as primary sensors of the IMU. Primary sensors in inertial navigation are sensors of angular velocity, whose output signals after integration are used for determining the orientation in space, and accelerometers whose output signals after precise compensation of gravitational acceleration and the Coriolis force can be integrated onto the speed and position. Such an inertial measurement unit has six degrees of freedom. This means it enables to measure translational and rotary motion in three orthogonal axes. The accuracy of inertial

sensors plays a key role in autonomous navigation. Errors of current inertial sensors have the approximate value of $0.01^\circ/\text{hour}$ for gyroscopes and $100 \mu\text{g}$ for accelerometers. The mentioned errors are integrated in time and cause the error of determining the position which is expressed by the non-accuracy of measuring per hour, which is, however, minimal. Such high-power IMU are implemented only into the inertial navigation systems for special use. The mutual integration of accelerometers, gyroscopes, magnetometers, barometric sensors and microprocessor items into a compact unit, whose output values is the data about position, rotation, height and the like, is a current trend in the development and production of inertial units. Basic inertial sensors are supplemented with a GPS module or magnetic sensor to compensate the errors of inertial sensors.

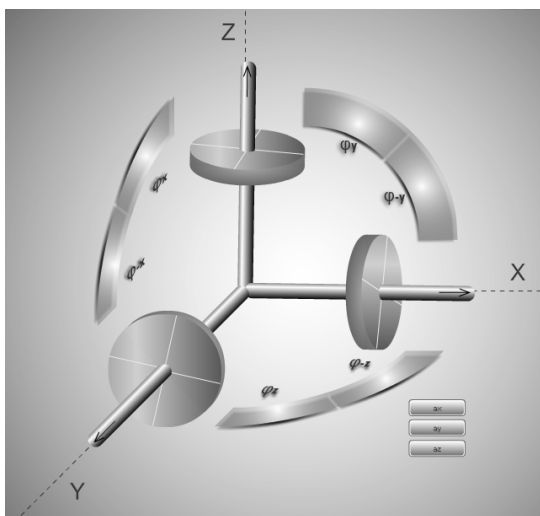


Fig. 1. Basic principle of INS activity

In the following part there is an example of solving robot arm movement in one axis. Also the possibilities for extending the arm movement simulation result solved by a mathematical model in a virtual environment, and the program MATLAB / Simulink.

Rotation arm dynamics

By the arm rotation “Fig. 2” round the horizontal axis θ , neglecting the friction of the positioning, the arm is subject to M_m torque, M_D moment of inertia and the moment of the related gravitational force component M_G . The equation of the motion describing the arm movement is as follows:

$$M_m = M_D + M_G \Rightarrow M_m = J_0 \ddot{\varphi} + mgL \sin \varphi, \quad (1)$$

where J_0 is the arm moment of inertia to the rotation axis θ , m is the arm mass, L is the distance between the rotation axis and the arm centre, g is the gravimetric acceleration, φ is the angle of the rotation and $\ddot{\varphi}$ is the angular acceleration of the solid.

Equation (1) is the mathematical arm model and its solution MATLAB/Simulink program is shown in “Fig 2”, left. The driving motor moment illustrated by the block of the constant value will be substituted by the block scheme of an electromotor control [1,2]. This solution is qualified by knowing the mass, moment of inertia and arm centre regarding the rotation axis as well. These parameters can be calculated via geometry, dimensions and the density of the arm material.

Virtual dynamic arm model developed in MSC. ADAMS program is advantageous as it is not necessary to constitute the mathematical system description, which can be quite complicated for the complex sets of fixed solids [3, 5]. The system, in our case the arm, represents a 3D geometric built in a random CAD program and imported to MSC.ADAMS program “Fig. 2”. The geometric model is appropriately positioned, the numeric value of the arm material density is assigned (subsequently the program automatically calculates the position of the centre, the weight and moments of inertia to the centre axes), then by the rotation geometric bond it is fixed to the stable space and the place of driving moment is prescribed. In addition, for the needs of the control, it is essential to develop the sensors of the angle rotation and the angular arm velocity. The prepared virtual model can be imported to MATLAB/Simulink program, to which the block scheme of the electromotor control is applied “Fig. 2”, right).

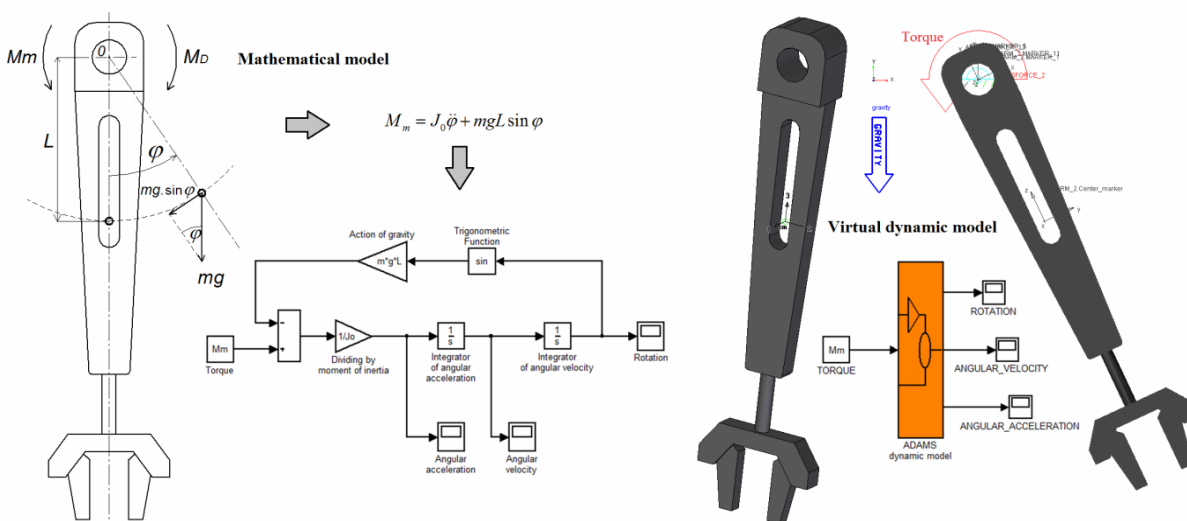


Fig. 2. Mathematical (left) and virtual dynamic (right) arm models

The manipulation arm parameters: mass $m = 0.798$ kg, moment of inertia to the rotation axis $J_0 = 0.013655$ kg.m², distance between the rotation axis and the centre $L = 0.096$ m. The prescribed arm rotation is shown in “Fig. 2”, left. Via the inverse dynamic analysis in MSC.ADAMS program we can obtain the corresponding rotation moment for the motion required, “Fig. 3”, right. The maximum value of the rotation moment is 0.7514 Nm.

Model of DC motor with regulation

As the main control drive the Parvex RS110M DC motor [7] with the gear (gear ratio 1:50) was used ensuring the decrease of the required rotation moment and increase of working motor revolutions. Motor parameters are shown in Tab. 1.

DC linear motor model with permanent magnet in MATLAB/Simulink program was developed on the basis of the mathematical models of mechanical (2) and electrical (3) motor parts [1, 2]:

$$M_m - M_L = J_m \frac{d\omega}{dt}, \tag{2}$$

$$u = R_m i + L_m \frac{di}{dt} + u_i, \tag{3}$$

where M_m is the motor torque, M_L is the moment load of the motor power, J_m is the moment of inertia of the rotor, ω is the motor speed, u is the power voltage, R_m is the motor anchor resistance, L_m is the motor anchor’s winding inductance, i is the current flowing through the motor windings, t is the time and u_i is the induced voltage on the motor anchor’s winding. The relation of the mechanical and electrical parts is expressed as follows:

$$u_i = C_{u\omega} \omega; M_m = C_{um} i, \tag{4}$$

where C_{um} is the torque constant of the motor and $C_{u\omega}$ is the voltage constant of the motor.

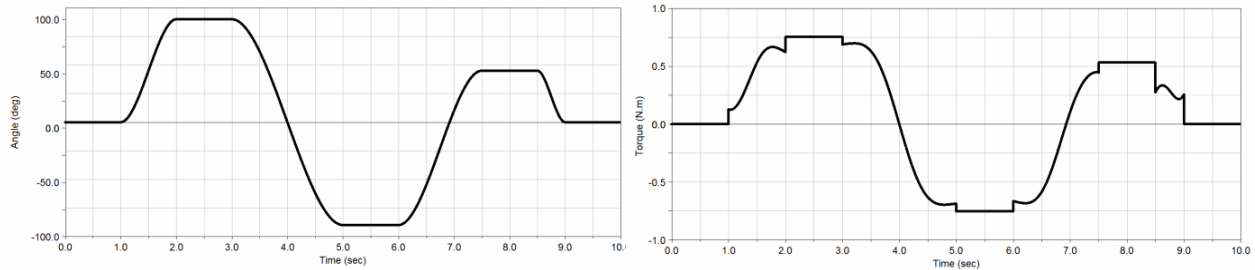


Fig. 3. Prescribed arm rotation (left), course of torque (right)

Table 1. Parameters of DC servomotor Parvex RS110M [7]

Rotor inertia	Winding inductance	Winding resistance	Torque constant	Voltage constant	Torque	Maximum supply voltage	Peak current	Nominal current	Maximum speed
J_m [kg.m ²]	L_m [H]	R_m [Ω]	C_{um} [N.m/A]	$C_{u\omega}$ [N.m/A]	M_m [Nm]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	I_{nom} [A]	ω_{max} [rpm]
$2.4 \cdot 10^{-6}$	0.0016	4.5	0.037	0.037	0.05	33	4	1.5	8300

For the motor modeling we used the model, in which the losses in iron are not considered. We used the cascade regulation to control the manipulation arm positioning “Fig. 3”. The innermost loop represents the current control, or DC motor torque control. The control of the angular velocity is the loop which is given precedence, and the arm rotation control is the highest loop. For the current loop, P regulator is utilized, for the angular ve-

locity regulation of the motor PI regulator is used, and the positioning loop is controlled by P regulator.

Individual constants of regulators were obtained via the auto-tuning in MATLAB/Simulink program and are shown in Tab. 3. In the overall model the limitations arising from the motor used, as shown are in Tab. 1, were utilized. In the model the dynamics of sensors and dry friction is not considered.

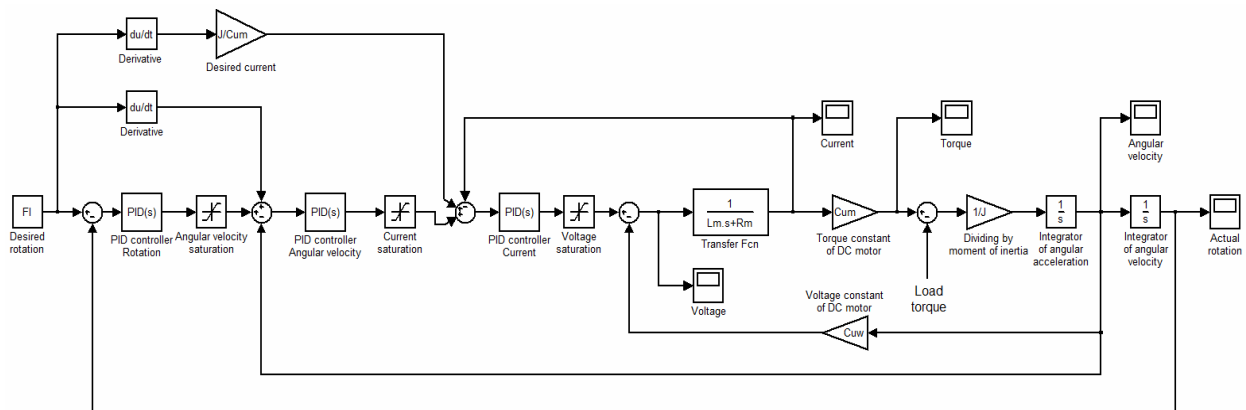


Fig. 4. Regulation scheme of JM motor

Table 2. Terms of the individual controllers

Controller	Current	Angular velocity	Rotation
<i>P</i>	9.184	1.342	2.398
<i>I</i>	—	2.629	—

Arm regulation

The schemes of arm position control for the mathematical model and virtual dynamic models are illus-

trated in “Figs. 5 and 6”. In both cases the same motor regulators set ups were used. In case of the virtual model, the input of the load velocity effect to the arm movement to the control motor block is missing. The data together with the arm inertia effects are automatically generated in the block of the dynamic model developed in ADAMS program.

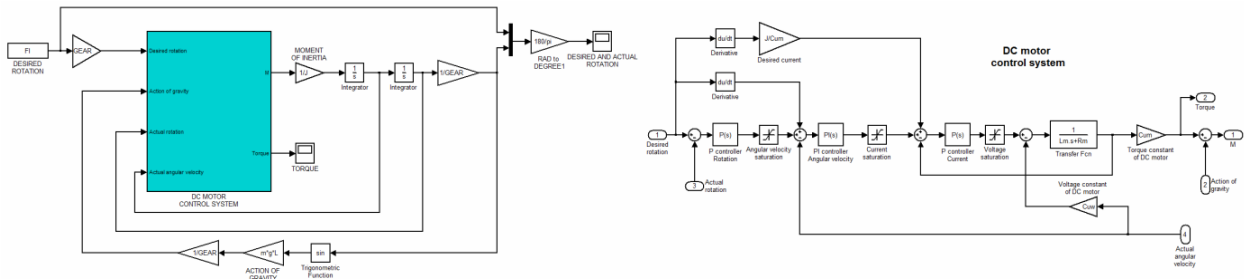


Fig. 5. Mathematical arm model control

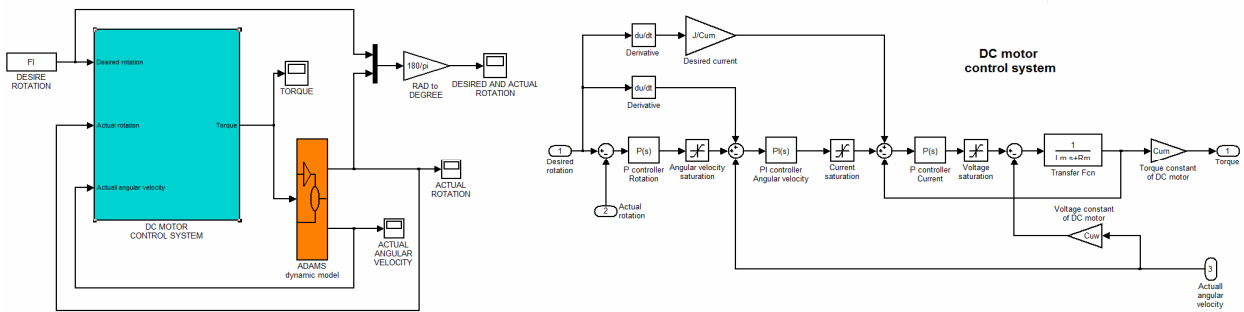


Fig. 6. Virtual dynamic arm model control

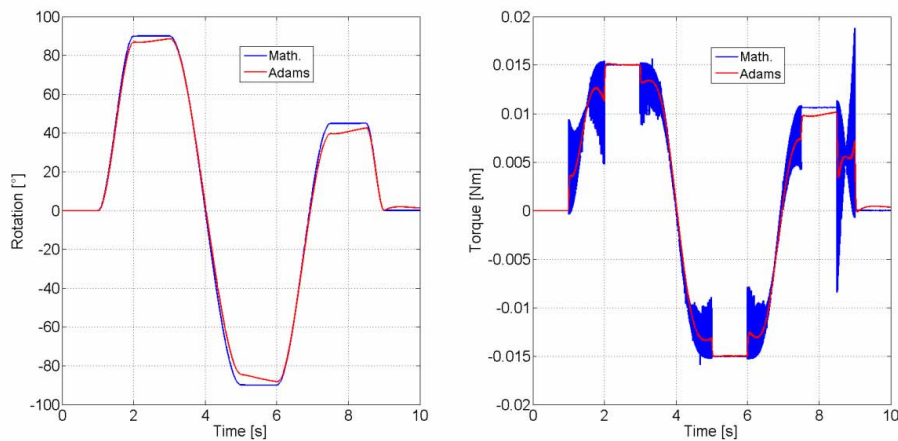


Fig. 7. Course of arm rotation and motor torque for mathematical model (Math.) and virtual dynamic model (Adams)

Conclusion

The results of the controlled position are illustrated in “Fig. 7”. Regarding the rotation required; the course of the arm rotation from the mathematical model is very precise. For the virtual dynamic model the deviations are more significant “Fig. 8”, therefore, it would be necessary to modify the values of regulators for this model.

All in all, we present the solution of the dynamic system regulation on a dynamic model incorporating the influences of the forces of inertia emerging in the movement of the system as well as all the external forces influencing the system. The significance of these models utilization is much higher for the complex systems of fixed solids, where the mathematical description is more demanding.

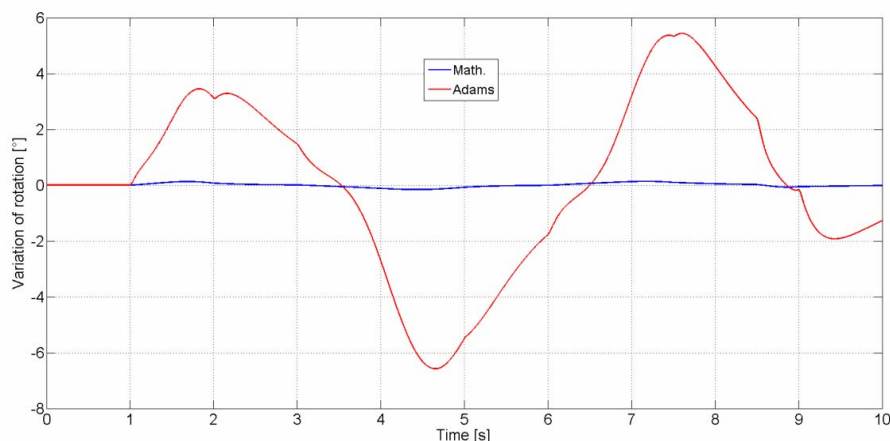


Fig. 8. Deviation of arm rotation regarding the value required

Acknowledgement

The paper has been supported by VEGA Grant Agency (Grant No. 1/0534/12).

The contribution is sponsored by KEGA 003STU-4/2012 prepared project „Elaboration of interactive multimedia textbook of Mechatronics for secondary vocational schools“.

References

1. Žalman M. Actuators. – STU Bratislava, 2003. – ISBN 80-227-1835-1.
2. Schmid D. Management and control for engineering and mechatronics. – Verlag EUROPA, 2005. – ISBN 80-86706-10-9.
3. Bishop H. R. The Mechatronics Handbook. – CRC Press, 2006. – ISBN 0-8493-0066-5.
4. Heimann B., Gerth W., Popp K. Mechatronik – Komponenten – Methoden – Beispiele. – HANSER, 2007. – ISBN 978-3-446-40599-8.
5. Weber W. Industrieroboter. – HANSER, 2009. – ISBN 978-3-446-41031-2.
6. Barbour N., Elwell J., Setterlund R. Inertial instruments: Where to now. – URL: www.media.mit.edu/resenv/classes/.../Inertialnotes/DraperOverview.pdf [cit. 2011-07-15].
7. Nikitin Y. R., Abramov I. V. Models of information processes of mechatronic systems diagnosis // University Review. – 2011. – Vol. 5. – No. 1. – P. 12–16. – ISSN 1337-6047.
8. Titterton D. H., Weston J. L. Strapdown inertial navigation technology (2nd Edition). – URL: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1241 [cit. 2011-07-12].
9. Šipoš E. Inertial navigation. – Zvolen, 2011.
10. Nikitin Y.R. Diagnostic models of mechatronic modules and analysis techniques // Proceeding of 2nd International Conference “Advances in Mechatronics”, December 2007, Brno, Czech Republic. – ISBN 978-80-7231-314-3.
11. Soták M. Integration navigation systems. – Košice, 2006.

Павол Божек, кандидат технических наук, доцент, Словацкий Технологический Университет, Трнава

Владимир Гога, Словацкий Технологический Университет, Братислава

А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Контроллер руки робота на основе ИНС с применением моделирования MATLAB / SIMULINK

В статье описаны принципы работы и возможности применения инерционной навигационной системы (INS) для управления роботами. Также дано описание настройки двигателя постоянного тока, применяемого для позиционирования вращающегося манипулятора. Система управления двигателем включает в себя настройку силы тока, угловой скорости и согласование вращения вала двигателя, соединенного с рукой робота, с учетом требуемого углового изменения поворота руки. Настройка двигателя постоянного тока выполняется в программной среде MATLAB/Simulink. Движения руки описаны с помощью математической модели и виртуальной динамической модели, полученной с помощью программы MSC.ADAMS.

Ключевые слова: INS, гироскоп, акселерометр, динамическая модель, PID-контроллер, MATLAB/Simulink.

УДК 623.44

М. Е. Драгунов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

М. М. Черных, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Г. Р. Садыкова, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

КОНКУРЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СПОРТИВНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПИСТОЛЕТОВ

Проведен анализ моделей спортивных пневматических пистолетов, производимых ведущими зарубежными фирмами, и модели МР-46М отечественного производства. Показана необходимость оснащения отечественного образца адаптированной под кисть спортсмена эргономической рукояткой.

Ключевые слова: спортивный пневматический пистолет, ортопедическая рукоятка, МР-46М.

В последнее время растет популярность спортивной стрельбы из пневматического пистолета. Доступность оружия (согласно Федеральному закону «Об оружии» для приобретения спортивного пневматического пистолета нет необходимости в наличии лицензии), недорогое оборудование для тира – эти и другие факторы способствуют расширению рыночной ниши пневматических спортивных пистолетов.

Пневматические пистолеты для спортсменов высокого уровня выпускают следующие фирмы:

- «Вальтер», ТЕСРО, «Файнверкбау» (Германия);
- «Штайр Шпортваффен» (Австрия);
- «Морини» (Швейцария);
- «Бенелли», «Матч Ганз» (Италия).

Из отечественных предприятий спортивные пневматические пистолеты производит Ижевский механический завод.

Спортивные пневматические пистолеты должны удовлетворять правилам соревнований по стрелковому спорту. Основные требования к оружию следующие:

- калибр – 4,5 мм;
- дульная энергия пули – не более 7,5 Дж (что соответствует начальной скорости не более 170 м/с);
- пистолет должен влезать в ящик с размерами 420×200×50 мм;
- масса пистолета не должна превышать 1500 г;
- усилие спуска должно быть не менее 4,9 Н (500 г);
- ни одна часть рукоятки не должна обхватывать кисть руки, упор кисти должен составлять с осью рукоятки угол не менее 90 градусов.

Подавляющее большинство современных спортивных пистолетов действуют на принципе использования энергии сжатого воздуха, находящегося в предварительно накачанном баллоне – пневмобаллонная схема (зачастую такое оружие называют РСР – Pre-Charged Pneumatic, «предварительно заряженная пневматика»). В модельном ряду Ижевского механического завода продолжает оставаться пистолет компрессионного типа МР-46М, недорогой относительно зарубежных аналогов и поэтому доступный для начинающих стрелков, но позволяющий при этом добиваться высоких результатов.

В оснащении современных спортивных пистолетов основное внимание уделяется обеспечению максимального комфорта для стрелка, эргономичности элементов удержания.

Немецкие эксперты Ульрих Айхштэdt (Ulrich Eichstädt) и Вольфганг Мюллер (Wolfgang Müller) отмечают, что современный пневматический (пневмобаллонный) пистолет должен иметь баллон с манометром (для постоянного контроля за наполнением баллона), регулируемую длину прицельной линии, регулируемую ширину прорези прицела, сменную рукоятку различных размеров и возможность изменения углового положения рукоятки относительно трех осей (так называемая 3D-рукоятка) [1].

Особое значение имеет эргономика рукоятки. На сайте компании *Match Guns* отмечается, что удобная рукоятка обеспечивает 40 % успеха в стрельбе.

Для повышения кучности стрельбы в конструкцию пистолета вводят также компенсаторы отдачи (абсорберы), компенсирующие отверстия в дульной части ствола. Регулировку баланса и момента инерции пистолета обеспечивают за счет сменных балансировочных грузов.

Разумеется, что любой конструктивный элемент, улучшающий эргономику оружия и комфорт для стрелка, ведет к удорожанию оружия. Производители обеспечивают конкурентоспособность своих изделий либо за счет максимального насыщения элементами, повышающими удобство пистолета для стрелка (при этом высокая цена зачастую компенсируется популярностью фирменного бренда у пользователей), либо за счет введения минимально необходимых и самых существенных опций, что позволяет удерживать цену на приемлемом уровне.

В таблице приведен результат анализа информационных материалов ведущих компаний – производителей спортивных пневматических пистолетов.

Отечественный пистолет МР-46М (см. рисунок) при существенно меньшей цене (в среднем меньше в шесть раз) содержит те же основные опции – регулировку длины прицельной линии, сменные целики, сменные мушки – и соответствует правилам соревнований.

Анализ характеристик спортивных пневматических пистолетов

Фирма производитель, модель	Опции				
	Регулировка длины прицельной линии	Регулируемые элементы прицельного приспособления	Комплектация сменными рукоятками	Регулировка положения рукоятки	Прочее
 <p>Feinwerkbau, P44 [2]</p>	Есть	Ширина прорези, сменная мушка	Пять типоразмеров; под левую и правую руку	3-D	Абсорбер, сепаратор, балансировочные грузы
 <p>Morini, CM 162 MI/ EI [3]</p>	Есть	Ширина прорези, сменная мушка	Семь типоразмеров; под левую и правую руку	3-D, нет для модификации EI	Модификация EI с электронным спусковым механизмом
 <p>Match Guns, MG H1 [4]</p>	Есть	Ширина прорези	Рукоятка изготавливается по индивидуальному отпечатку кисти	3-D	Компенсатор, балансировочные грузы
 <p>Steyr Sportwaffen, LP 10 [5]</p>	Есть	Ширина и глубина прорези, сменная мушка	Восемь типоразмеров; под левую и правую руку	3-D	Стабилизатор, компенсатор, балансировочные грузы
 <p>Walther, LP 400 [6]</p>	Есть	Ширина мушки	Шесть типоразмеров; под левую и правую руку	3-D	Абсорбер, компенсатор, балансировочные грузы, регулировка положения спускового крючка
 <p>TESRO, PA 10 [7]</p>	Есть	Ширина прорези	Три типоразмера; под правую и левую руку (один размер)	3-D	Компенсатор



Спортивный пневматический пистолет MP-46M [8]

Однако производитель предлагает только стандартную рукоятку единственного типоразмера (под «большую» руку), не адаптированную под стрелка. Адаптация выполняется вручную спортсменами самостоятельно либо с привлечением мастера. С учетом значимости эргономики рукоятки именно в части возможности адаптации к анатомическим особенностям стрелка пистолет MP-46M наиболее серьезно проигрывает зарубежным аналогам, поэтому актуально проектирование и промышленное производство адаптированных рукояток.

Библиографические ссылки

1. Eichstädt U., Müller W. Man(n)ometr. – Visier, 2003. – Nr. 6. – S. 52–63.
2. Feinwerkbau – Westinger & Altenburger GmbH [Электронный ресурс] // Air Pistol Model P44: [сайт]. – URL: <http://www.feinwerkbau.de/en/Sporting-Weapons/Air-Pistols/Air-Pistol-Model-P44> (дата обращения: 23.07.2013).
3. Morini Competition Arm S. A. [Электронный ресурс] // CM 162EI: [сайт]. – URL: http://www.morini.ch/product_det.php?id=1 (дата обращения: 23.07.2013).
4. MATCH GUNS [Электронный ресурс] // MGH1 MECCANICA La nuova era della pistola ad aria: [сайт]. – URL: <http://matchguns.com/it/mgh1-meccanica-la-nuova-era-della-pistola-ad-aria> (дата обращения: 23.07.2013).
5. Steyr-sportwaffen [Электронный ресурс] // LP10. – URL: <http://www.steyr-sportwaffen.at/index.php/luftpistolen/lp-10> (дата обращения: 23.07.2013).
6. CARL WALTHER [Электронный ресурс] // Walther LP400 Alu right, MEMORY 3D-grip size M. – URL: <http://www.carl-walther.de/cw.php?lang=en&content=products&sub=1&subsub=11&product=1478> (дата обращения: 23.07.2013).

7. TESRO sportwaffen [Электронный ресурс] // Matchluftpistole PA10-2 Classic. – URL: <http://www.tesro.de/?MSID=212&TSID=ra2oavepgi228hikm739tin9h4> (дата обращения: 23.07.2013).

8. Ижевский механический завод [Электронный ресурс] // Стандартный пневматический пистолет МР-46М. – URL: <http://baikalinc.ru/ru/company/55.html> (дата обращения: 23.07.2013).

M. E. Dragunov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. M. Chernykh, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

G. R. Sadykova, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Sport Air Pistols Competitive Analysis

The analysis of sport air pistols manufactured by leading foreign companies and home-produced MP-46M is done in this paper. The need of home-produced sample equipping with anatomical grip adapted to athletes palm is shown.

Key words: sport air pistol, anatomical grip, MP-46M.

УДК 621.77

А. И. Абрамов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

И. В. Абрамов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

П. В. Лекомцев, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Представлен анализ точности геометрии конусного отверстия, получаемого методом упругопластического деформирования (калибровки) заготовки с черновым отверстием, предварительно смазанным жестким пуансоном. Анализ проведен с помощью кривых распределения применительно к базорасстояниям конических отверстий, распределение которых предположительно подчиняется нормальному закону.

Ключевые слова: конические отверстия, точность, калибровка, нормальное распределение, критерий Пирсона.

Традиционно конические отверстия получают методами растачивания, развертывания и электрохимической обработки. Для материалов, обладающих способностью пластического деформирования, был предложен метод упругопластического деформирования (калибровки) заготовки с черновым отверстием, предварительно смазанным жестким пуансоном [1]. В основе этого метода лежит гидродинамический эффект, возникающий в слое смазки, сдавливаемой параллельно сближающимися поверхностями. В результате этого эффекта в слое смазки возникает давление, вызывающее упругопластические деформации материала заготовки. Другим положительным свойством данного метода для упрочняющихся материалов является эффект автофреттирования, характеризующийся созданием благоприятных остаточных напряжений, что, в свою очередь, позволяет повысить несущую способность таких изделий в 1,6...2,0 раза [1, 2].

В таблице представлены две выборки с результатами измерений базорасстояний конических отверстий шестерен (рис. 1), используемых в зубчатых приводах сушильных цилиндров бумагоделательной машины Б-15, до и после калибровки. Заготовка

шестерни представляла собой поковку из стали 40Х ГОСТ 4543–71, предварительное отверстие в которой получено операциями сверления и растачивания. Шероховатость стенок отверстия после черновой обработки колебалась в пределах $Rz = 15...30$ мкм.

После статистической обработки первого массива экспериментальных данных построен полигон наблюдаемых частот и гипотетическая кривая теоретического распределения базорасстояний конусов до калибровки (рис. 2).

Распределение значений базорасстояний до калибровки находилось в пределах 7...13,5 мм. В этом диапазоне выбрано 8 интервалов с шагом 0,8125 мм, для каждого из которых подсчитывались эмпирические частоты – количество заготовок с базорасстоянием из соответствующего интервала. Среднеарифметическая величина интервального ряда распределения $\bar{X}_{a1} = 10,25$ мм, среднеквадратическое отклонение размеров $\sigma_1 = 1,93$ мм.

Для нормального закона использовались среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонения эмпирического ряда распределения [3]. Проверка по критерию Пирсона (χ^2) показала, что эмпирическое

распределение базорасстояний конусов после черновой обработки (до калибровки) не соответствует нормальному закону. Причиной этого может быть как недостаточный объем выборки для построения

ряда распределения измеряемого параметра при данном виде обработки, так и колебания припусков обработки при растачивании конического отверстия из цилиндрического.

Результаты измерений базорасстояний конусов [1]

№ заготовки	Размер после черновой обработки, мм	Размер после калибровки, мм	№ заготовки	Размер после черновой обработки, мм	Размер после калибровки, мм
1	10,0	-0,3	27	7,5	0,1
2	11,5	-0,2	28	8,7	0,8
3	7,2	-0,4	29	9,2	0,3
4	8,1	-0,9	30	13,0	0,6
5	9,3	-0,1	31	11,3	0,1
6	12,3	-0,2	32	10,5	0,7
7	13,5	0,3	33	7,0	0,4
8	7,9	0,5	34	12,3	0,8
9	9,6	0,0	35	10,8	0,4
10	12,3	-0,3	36	8,3	1,0
11	8,8	0,1	37	9,1	0,5
12	9,5	-0,4	38	8,7	0,3
13	11,5	0,6	39	11,8	0,2
14	7,7	-0,2	40	9,2	-0,9
15	8,3	-0,8	41	11,5	1,2
16	12,8	1,0	42	10,2	-1,3
17	13,0	-0,8	43	13,3	1,4
18	7,1	1,2	44	8,2	-0,6
19	9,7	-0,2	45	9,3	-0,2
20	13,1	-1,0	46	11,2	-0,9
21	12,0	-0,8	47	11,8	-1,5
22	13,4	-0,9	48	7,0	-0,8
23	7,0	0,3	49	12,0	-0,2
24	10,1	0,4	50	9,3	-0,9
25	12,3	0,1	51	8,7	-1,4
26	7,5	0,6	52	10,1	1,2

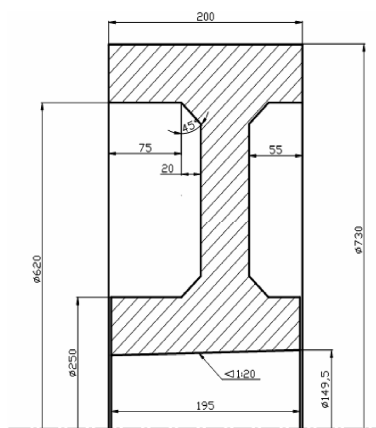


Рис. 1. Эскиз шестерни (без зубьев)

На рис. 3 представлены полигон частот и кривая теоретического распределения базорасстояний конусов после калибровки, полученные аналогичным образом. Распределение значений базорасстояний после калибровки лежит в пределах $-1,5 \dots 1,4$ мм, шаг интервального ряда $0,3625$ мм. Среднеарифметическая величина интервального ряда $\bar{X}_{a2} = -0,05$ мм, среднеквадратическое отклонение размеров $\sigma_2 = 0,72$ мм.

По критерию Пирсона (χ^2) эмпирическое распределение базорасстояний конусов после калибров-

ки соответствует нормальному закону. Величина поля рассеяния, которая характеризует точность операции калибровки, равна $4,32$ мм, что соответствует 7-й степени точности допусков углов конусов по ГОСТ 8908-81.

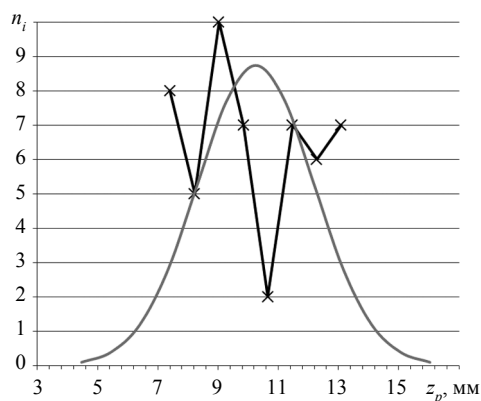


Рис. 2. Полигон частот (отмечены крестиками) и гипотетическая кривая теоретического распределения базорасстояний конусов до калибровки

Для наглядности на рис. 4 представлены оценки плотности нормального распределения базорасстояний конусов после калибровки (слева) и гипотетической (при условии принятия ряда мер по повышению

качества черновой обработки конических отверстий) кривой распределения базорасстояний конусов после черновой обработки.

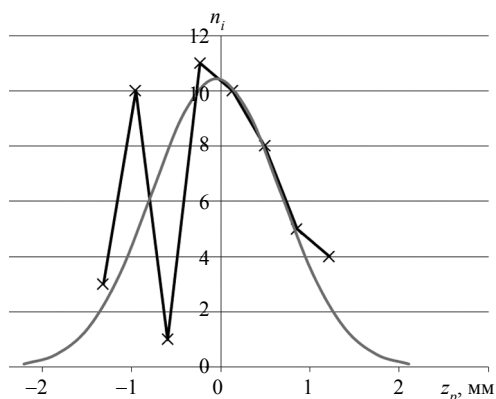


Рис. 3. Полигон частот и кривая теоретического распределения базорасстояний конусов после калибровки

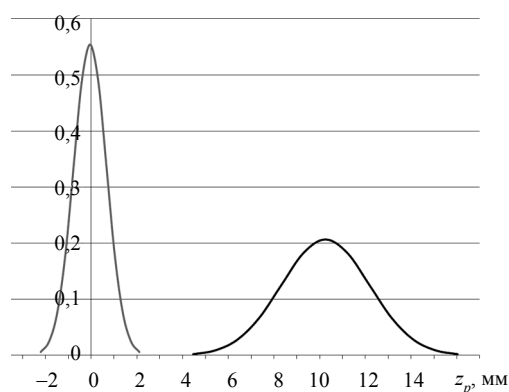


Рис. 4. Плотности нормального распределения базорасстояний конусов

Из представленных графиков видно, что распределение значений базорасстояний конусов после калибровки с достаточной точностью центрировано около нуля, имеет в 2,68 раз меньшую величину поля рассеяния по сравнению с черновой обработкой. Это

означает, что процесс правильно центрирован, стабилен и статистически управляем [4]. Тем самым создаются благоприятные условия для его автоматизации, суть которой сводится к автоматическому управлению режимом жидкостного трения и программному управлению величиной натяга при калибровке для каждой конкретной заготовки с целью повышения точности получаемых конических отверстий.

Выводы

Обработка экспериментальных данных с результатами измерений базорасстояний конических отверстий шестерен показала, что по критерию среднеквадратического отклонения точность конического отверстия после калибровки повышается более чем в два раза, что свидетельствует об эффективности предлагаемого метода получения окончательных конических отверстий.

Дополнительным положительным свойством калиброванного данным способом отверстия является эффект автофретирования, позволяющего повысить несущую способность конического соединения более чем в два раза.

Метод калибровки обладает не только достаточной точностью получения отверстий, но и простотой реализации в производственных условиях, что создает благоприятную перспективу для его автоматизации.

Библиографические ссылки

1. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И. В. Абрамов [и др.]. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2002. – 300 с. : ил.
2. Абрамов И. В., Клековкин В. С., Фаттиев Ф. Ф. Оценка эффективности способов автофретирования охватываемых деталей соединений с натягом // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1984. – № 4. – С. 15–17.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. – 9-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с. : ил.
4. Шиндовский Э., Шюц О. Статистические методы управления качеством : Контрольные карты и планы контроля : пер. с нем. – М. : Мир, 1976.

A. I. Abramov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. V. Abramov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

P. V. Lekomtsev, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Analyzing the Accuracy of Conical Holes, Obtained by Method of Elastic-Plastic Deformation in Fluid Friction Mode

The paper presents the accuracy analysis of the conical holes geometry produced by the elastic-plastic deformation (calibration) of the billet with a rough hole using pre-oiled hard punch. The analysis was performed with the help of the distribution curves with respect to bases distance of conical holes, the distribution of which is presumably subject to the normal law.

Key words: conical holes, accuracy, calibration, normal distribution, Pearson's criteria.

УДК 621.979

С. В. Кузнецов, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Статья посвящена разработке способов теоретического определения поперечных (горизонтальных) сил, возникающих при выполнении технологических операций обработки металлов давлением в зависимости от условий их проведения.

Ключевые слова: обработка металлов давлением, уравнение, расчет, силовой анализ, поперечные силы.

Повышение точности заготовок, получаемых методами обработки металлов давлением, снижение трудоемкости, повышение надежности кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки и, как следствие, снижение себестоимости изготовления детали – одни из основных задач технологии машиностроения.

При выполнении операций обработки металлов давлением на любом из существующих видов оборудования кроме сил, действующих вдоль оси деформирования, отмечено возникновение поперечных сил, действующих в плоскости разъема штампа и перпендикулярных оси деформирования.

Вопросы, связанные с определением силовых воздействий при выполнении операций ОМД, исследовались рядом авторов (см., например: Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977). В результате этих исследований было установлено:

1) отсутствие единой методики определения и учета поперечных сил;

2) возникновение поперечной силы связано с наличием двух основных факторов, связанных, с одной стороны, с перекосом ползуна прессы вследствие эксцентрично приложенной нагрузки, с другой – с особенностями выполнения конкретной технологической операции;

3) создание конструкций элементов кузнечно-прессового оборудования и штамповой оснастки производится в основном без учета воздействия и количественной оценки поперечных сил вследствие отсутствия соответствующих методик их определения, хотя эти силы могут существенно влиять на работу узлов оборудования, точность и качество получаемых изделий в целом.

Можно предположить, что появление поперечных сил в основном отрицательно сказывается на прессовом оборудовании, штамповой оснастке и качестве выпускаемой продукции: наблюдается смещение верхней части штампа относительно нижней, что приводит к ухудшению точности изготовления получаемых изделий, увеличению вероятности поломки элементов прессы и штампа (в первую очередь матриц и пуансонов), присутствует повышенный износ элементов привода и направляющих ползуна, возникают ударные нагрузки, шум, вибрации.

Очевидно, что отсутствие способов определения поперечных сил не дает возможность получить достоверную картину силовых взаимодействий в зоне выполнения технологической операции и вне ее, соответственно, теряется возможность сделать математически обоснованные расчеты, выводы и прогнозы поведения инструмента и оборудования под действием данных сил.

Таким образом, целью работы является создание методики определения величины и направления поперечных сил в зависимости от условий проведения технологической операции для операций объемной и листовой штамповки.

С целью определения сил произвольно выделялся элементарный участок dF_k на поверхности AB контакта (рис. 1). Считалось, что на такой поверхности присутствуют распределенные нормальные σ_n и касательные τ_k напряжения.

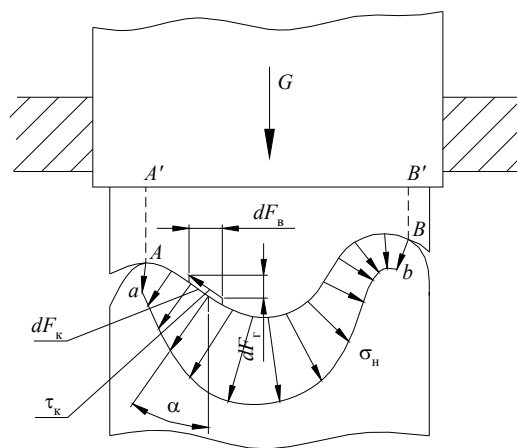


Рис. 1. Схема определения нормальных и касательных напряжений для нахождения деформирующих сил для рассматриваемой контактной поверхности (Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977)

Для произвольно выделенного участка можно записать:

$$dP_B = \sigma_n \cdot dF_k \cdot \cos \alpha + \tau_k \cdot dF_k \cdot \sin \alpha = \sigma_n \cdot dF_B + \tau_k \cdot dF_T;$$

$$dP_T = \sigma_n \cdot dF_k \cdot \sin \alpha + \tau_k \cdot dF_k \cdot \cos \alpha = \sigma_n \cdot dF_T + \tau_k \cdot dF_B;$$

где dF_r и dF_b – площади проекций элементарного участка заготовки на плоскости, перпендикулярной и совпадающей с направлением движения инструмента; dP_r и dP_b – проекции элементарных усилий, действующих по выделенной поверхности контакта, на плоскости, перпендикулярной и совпадающей с направлением движения инструмента; α – угол между направлением нормального напряжения σ_n и направлением движения инструмента.

Решение задачи, связанной с определением поперечных сил, а также различного по времени вхождения в контакт с гравюрой штампа деформируемого

материала, условий прогрева образца перед выполнением операции, формы заготовки и заусенца, потребовало выявления нормального напряжения σ_x , действующего со стороны препятствия. Препятствие в момент начала контакта приводит к смене схемы деформируемого состояния (рис. 2), а именно: объемное деформированное состояние на поверхности переходит в плоское.

Для такого состояния справедливы выражения:

$$\sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \text{ и } \tau_{xy} = \tau_{zy} = 0.$$

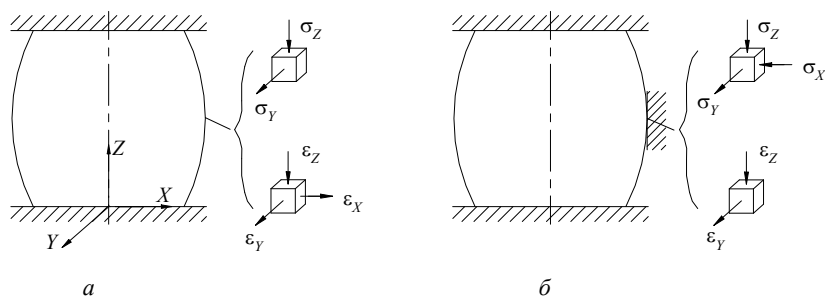


Рис. 2. Схемы напряженно-деформированного состояния образца: а – при его осадке; б – при касании образцом препятствия (гравюры штампа)

Предполагалось, что процессы, протекающие на торцах заготовки и в зоне контакта с препятствием, носят схожий характер, поэтому определение τ_{xz} проводилось по методике Сторожева М. В. и Попова Е. А., применяемой в расчетах на торцах заготовки. На основании этого полагалось, что при касательном напряжении τ_k на контактной поверхности $\tau_k \leq 0,7k$ напряжения определяются соотношением $\sigma_x - \sigma_z = \pm \sigma_s$, и точное значение σ_x определено

быть не может. При $0,7k < \tau_k \leq k$ $\sigma_x = \sigma_z = -\left|\frac{\sigma_s}{3}\right|$.

Определение напряжений проводилось на основании соответствия напряженного и деформированного состояний заготовки из книги Сторожева М. В. и Попова Е. А. «Теория обработки металлов давлением». Это позволило найти напряжение σ_x без нахождения касательных напряжений на поверхности заготовки. При этом вводились следующие допущения: а) относительные сдвиги γ отсутствуют, и направления удлинений совпадают с главными осями деформаций; б) направления напряжений совпадают с главными осями нормальных напряжений.

В результате было получено, что искомое напряжение находится в диапазоне $-\left|\frac{\sigma_s}{3}\right| \leq \sigma_x \leq 0$. Для рассмотренной схемы в предельном случае $\sigma_x = \sigma_z = -\frac{\sigma_s}{3}$. Таким образом, максимально возможное значение напряжения в зоне контакта заготовки с препятствием $\sigma_x \left|\frac{\sigma_s}{3}\right|$.

В результате нами была предложена следующая последовательность расчета поперечных сил для заготовки произвольной пространственной формы.

1. Криволинейная контактирующая поверхность штампа и заготовки в рассматриваемый момент времени разделялась на совокупность элементарных поверхностей (плоскость, цилиндр, сфера и т. д.), причем шаг разбиения зависел только от сложности рассматриваемой формы.

2. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение ее положения относительно базовой плоскости.

3. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение площадки контакта.

4. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение нормальных напряжений.

5. Для каждой выделенной элементарной поверхности производилось определение касательных напряжений.

6. Определялось значение элементарной поперечной силы для каждой выделенной поверхности.

7. Определялось результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения соответствующих элементарных сил, действующих во всех выделенных участках заготовки.

Рассмотрим способ определения данных сил для операций листовой штамповки. С этой целью (см. рис. 3) были составлены основные уравнения равновесия выделенного элемента:

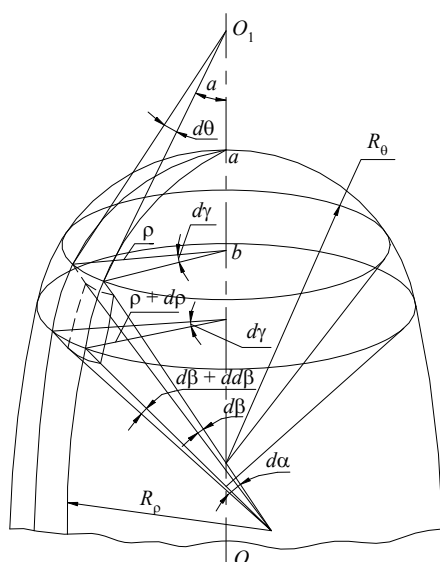
а) при проецировании на нормаль к поверхности

$$\sigma_n \cdot f_3 - 2\sigma_p \cdot f_1 \frac{d\alpha}{2} - 2\sigma_0 \cdot f_2 \frac{d\beta}{2} = 0; \quad (1)$$

б) при проецировании на касательную к поверхности заготовки в меридиональном сечении

$$\sigma_p \cdot f_1 + d(\sigma_p \cdot f_1) - \sigma_p \cdot f_1 - 2\sigma_\theta \cdot f_2 \frac{d\theta}{2} - \mu \cdot \sigma_n \cdot f_3 = 0. \quad (2)$$

На основе уравнений (1), (2) рассматривались различные варианты определения поперечных сил. В качестве наиболее приемлемого с точки зрения дальнейшего использования, принимаем уравнение



$$dF_{Ti} = s \cdot d\gamma \cdot d\rho \left[(\sigma_p - \sigma_\theta) + d\sigma_p \cdot \frac{\rho}{d\rho} \right], \quad (3)$$

где dF_{Ti} – поверхностная сила трения, действующая в выделенном i -м элементарном участке; β – переменный коэффициент, являющийся функцией главных нормальных напряжений; s – толщина заготовки; $d\gamma$ – угол; ρ – параметр, определяющий положение выделенного элемента заготовки относительно оси симметрии.

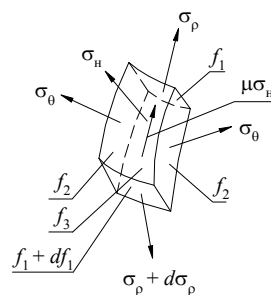


Рис. 3. Схема для определения элементарной силы трения на поверхности исходной заготовки

Величина поперечной силы, действующей в выделенном сегменте, в конечном счете определялась по зависимости

$$F_{Ti} \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \int_{r_1}^{r_2} (\pm\beta \cdot \sigma_s \cdot d\rho + d\sigma_p \cdot \rho) \cdot s \cdot d\gamma, \quad (4)$$

$$F_{Ti} = (\sigma_p \pm \beta \cdot \sigma_s \cdot \ln \rho) \cdot s \cdot \rho \cdot \gamma + C, \quad (5)$$

где r_1 и r_2 – соответственно, внутренний и наружный радиусы рассматриваемого сегмента относительно оси симметрии заготовки; γ_1 и γ_2 – начальное и конечное значения угла, в пределах которого рассматривается выделенный сегмент; C – постоянная интегрирования.

Общее уравнение для определения поперечных сил в приближенном виде, полученное с использованием неравенства $\sigma_p = \sigma_s - |\sigma_\theta| < \sigma_s$, представленное в работе Сторожева М. В. и Попова Е. А., может рассматриваться как случай с предельными по величине поперечными силами. Оно имеет вид

$$F_{Ti} = (\sigma_s \pm \beta \cdot \sigma_s \cdot \ln \rho) \cdot s \cdot \rho \cdot \gamma + C. \quad (6)$$

В результате могут быть получены общие уравнения определения исследуемых сил для операций листовой штамповки на основе точного (5) вида, установлены способы нахождения входящих в форму-

лу величин из условия связи напряжений и деформаций рассматриваемого элемента в зависимости от конструктивных особенностей и геометрии применяемого инструмента.

Таким образом, расчет поперечных сил для операций листовой штамповки может иметь следующую последовательность.

1. Определить ось симметрии заготовки.
2. Поверхность заготовки разбить на участки (сегменты), ограниченные радиусами r_1 и r_2 и углом в диапазоне $\gamma_1 \dots \gamma_2$.
3. Для каждого из выделенных сегментов экспериментально определить значения величин s , ρ , γ ; на основе справочных данных определить σ_s .
4. Найти величины деформаций ε_ρ , ε_θ , ε_z для каждого рассматриваемого участка заготовки.

При апробации представленной работы (ведущая организация ОАО «Группа «ГАЗ») применялось два способа определения данных величин: а) для деталей несложных осесимметричных геометрических форм – экспериментальный (при помощи метода координатных сеток); б) для сложных несесимметричных деталей – расчетный способ (на основе МКЭ с использованием САЕ-системы ANSYS).

5. Полученные значения деформаций подставить в уравнение $\sigma_\theta = \sigma_s \cdot \frac{-(\varepsilon_\rho + 2 \cdot \varepsilon_z)}{\varepsilon_z + 2 \cdot \varepsilon_\rho}$.

6. Полученное значение напряжения подставить в уравнение пластичности $\sigma_p - \sigma_0 = \pm \beta \cdot \sigma_s$, откуда найти σ_p .

7. На основе уравнения (5) в зависимости от рассматриваемой технологической операции, условий ее проведения и граничных условий определить постоянную интегрирования C .

8. На основе полученного уравнения установить величину поперечной силы в пределах выделенного сектора.

9. Аналогично определить поперечные силы во всех выделенных секторах заготовки.

10. Найти результирующее значение поперечной силы путем векторного сложения сил, действующих в каждом выделенном сегменте, по всей поверхности заготовки.

Выводы

1. Подтвержден факт возникновения поперечных сил при выполнении технологических операций обработки металлов давлением.

2. Предложен способ теоретического определения поперечных сил.

3. Подтвержден факт влияния поперечных сил на штамповую оснастку, следовательно, и прессовое оборудование. Вследствие этого поперечные силы должны учитываться при проектировании и эксплуатации оборудования и штамповой оснастки.

4. Предложенный новый способ определения исследуемых сил может быть использован на стадии проектирования оборудования и оснастки в качестве уточняющего к существующим.

S. V. Kuznetsov, PhD in Engineering, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

Theoretical Definition of Cross-Section Forces Arising at Performance of Metal Pressure Processing

The paper is devoted to working out of ways of theoretical definition of the cross-section (horizontal) forces arising at performance of technological operations of processing the metals by pressure depending on conditions of their carrying out.

Key words: metal pressure processing, equation, calculation, force analysis, cross-section forces.

УДК 621.001.2+629.3.018

Pavol Božek, PhD., Assoc. Prof., Slovak University of Technology, Trnava

A. I. Korshunov, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

MECHATRONIC SYSTEM CONTROL PROPOSAL USING MATHEMATICAL EXPRESSION OF RELIABILITY VERIFICATION METHOD

Submission is concerned to complete information system about quality, operation, automatic testing and new evaluating method of vehicle subsystem. Presentation of statistic significant group of tracing commercial cars is used. Data about operational parameters were taken from this group. Numeric analysis is realised on the base of automatic collection and systematic recording of commercial car operation. Proposed new information system about operation and trial process allows verification according to proposed method. Critical components verified in laboratory conditions are detected by numeric analysis of reliability. Trial method is described and also numerically compared in three levels. Quality level increasing not only for final product, but also related automatic test laboratory for cars is the result of these principles respecting.

Key words: measuring information, trial automation, new methodology.

Tendency to ensure car's high technical and operational parameters, and consequently successful realisation of any difficult technical system and mechanism comes out from perfect knowledge of operational conditions, knowledge of operation - technical characteristics and parameters of own system. This fact conditions to increase requests for technical level of measurement, actual time of measure results, precision of measurement results, possibility of measurement results processing, level of measurement automation i.e. measurement as method of objective quantification of physical values, or about relation between two or higher number of physical values. Analysis of achieved results from solving and car security area in whole scale of connectivity and relations confirms, that the role of laboratory verification is not replaceable in new quality man-

agement system. Complete access problematic to the test questions in new quality management system, continually to car production concept is getting necessary and logic part of car production process and, as analysis of development trends in car industry shows, effect of solution in testing automation has objective need [8].

It is necessary to concern about automation data gathering about component operation mode in real conditions. It is possible to define their reliability based on gathered data about operating and component failure accepting. It is possible to design device for test tracing of components and test method after defining critical elements.

This way to gather data about component operation, as a difficult system is in accordance with science and developing principles; by this we prevent un-controlled

production of non-verified elements in industrial production. Based on gathered data, it is possible to increase component reliability and to reach higher level in planned car production [1].

GEARBOX QUALITY PROBLEM

Current dynamic development of car industry, continuous increasing level of their technical parameters and characteristics confirms continually whole process speeding competition in the world.

Using the gearbox as a car decisive component is limited also by complex access level to quality assurance. Gearbox general function model and its accuracy analysis is possible to realise based on present ways of functional unit and devices accuracy. General accuracy of function units is understood as quality of approach function and operational dependencies, acted in mechanisms to requested dependencies, for which these function units were constructed and are chosen [2].

From point view of gearbox utility, i.e. gearbox using and ability, general criteria is its quality and its basic intention, divided into:

– *manipulation ability*, if we evaluate it in aspect of control and manipulation with gearbox within speed striking,

– *technologic ability*, if gearbox is evaluated in aspect of use in car as mean of realisation of chosen drive kind.

Problems with quality management

Today brings significant changes in product area, in all industry forwarded countries. Understanding of changes in quality is possible to characterise as a movement from clearly technical soundness to integral product quality. Product quality became significant criteria of science and research effect and big productivity reserve of common work.

This general definition of development in quality field and objective need to continually increase quality in application for cars, which reports to increasing requirements for high technical and operating parameters, requires:

– to direct systematically all related actions, i.e. arrange questions of quality management to whole creating process of gearbox

– to complex evaluate quality, which requires to use quantitative evaluation

– to identify quality, i.e. to evaluate reached quality level, which has basic importance to control whole creating process and innovation gearbox process

– to compare objective gearbox parameters with comparable world level types directly by measuring of chosen parameters, or indirectly by data from progressive technical information.

Quality management is concerned as complex, if it is expanded to all fields, which can have influence the final gearbox quality, including user's operation. This system, which dominate today in all industry forwarded countries, leads to create conditions in flow pre-production, production and after production activities by using objective methods for apply testing [6].

Analyse of reliability influence to profitability and economic effect

Before analysis of gearbox reliability influence to economic effect, it is important to realise basic ideas of reliability theory and to check relation of coefficients quantitative reliability to economic coefficient and efficiency coefficient. Related basic ideas:

Quality of product is properties summary, expressing ability to fulfil functions, for which it is dedicated. We take into account also product economic coefficients, its outfit by accessories, spare parts etc., as well as premises, which producer creates to provide services connected to product use.

Reliability is general object attribute, reposing in ability to fulfil requested functions with keeping of values for specified operational coefficients in specified limits and in time according to technical conditions. Reliability is one of the most important groups of product quality marks [7].

METROLOGICAL ASSURANCE OF AUTOMATION TESTING

From point view of measuring accuracy technics for test managing mechanism, it is necessary to look, that measuring technical assurance is realised mostly on principles of electrical measuring of non-electrical values with appropriate automation measuring process level and evaluating process. This concept of automatic measuring systems creation is not secured very well in the metrological way yet [3,4]. This field significantly documents the current status, advance of technical practice before readiness of metrological assurance. That is why it is possible to define requirements needed to metrological assurance at least of individual parts of automation measuring system i.e. individual measuring strings used in measuring and tests.

Measuring string structures

Measuring string – devices set intended to measuring, transport and data processing about measured value in general form represent sensor set, measures, measuring instrument, converters, measuring channels, analogue and numeric technical devices, computing devices, sensors and registered devices attached to one function unit in order to requested measuring, processing of data about measured parameters. Measuring string block schema is generally showed on fig. 1.

It is possible to characterise measuring string individual blocks in the way of functions by this description:

1. input block – is created by sensors set, which scan required measured parameters, ensure data entrance to measuring string.

2. block of converters – ensure data processing from entrance block to suitable form for following processing, mostly to the numeric form.

3. pre-processing block – is used to data pre-processing (check, filtration etc.)

4. processing block – ensure data processing by specified algorithm, it is composed with suitable computing devices including particular software.

5. Output block – ensure data output in required form. Printers, recorders, control panels etc belongs here.

Following memory device, where it is possible to store reached data for following processing.

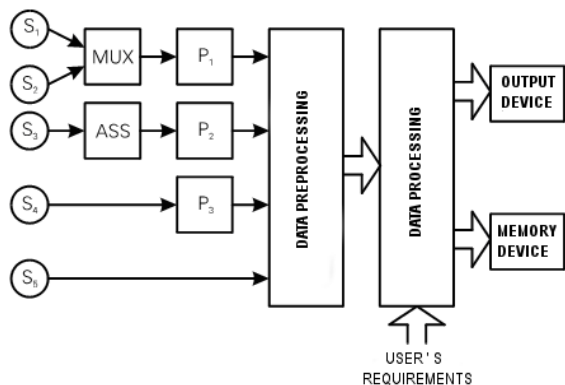


Fig. 1: Measuring string block schema: $S_1...S_5$ - sensors; MUX – measuring switchers, multiplexer; $P_1...P_3$ – analog-numeric converters; ASS – analog exekuting system

Measuring string does not have to contain all involved parts, it is possible to drop some of them, or to expire some parts and to complete according to requirements of concrete application [9].

Follow component results in running

Numbers of several speed degree exploitations are written in table 1. After mathematic counting of individual speed strikes, coefficient of exploitation has been stated for individual speed as well as for all gear system. To emphasize difference, measuring results of both modes are drawn to one graph 1. This result proves arguments of earlier car abrasion in city traffic. Values are concreted. After measuring results summary, it is possible to express also gear mechanism use in percents. Result is in graph 1.

Table. 1. Control mechanism and speed degrees of 5 speed degrees gerbox use

Geared speed degree	Number of gear n	use [%]	coefficient f_j [%]
1	97555	20,4	8,49
2	114100	23,8	12,44
3	154050	32,1	26,06
4	91300	19,1	36,70
5	18805	3,9	15,80
R	3350	0,7	0,47
TOTAL	479160	100,0	100,00

Graph 1 analysis provide following data perfect overview and is used as a base for development designers team.

TECHNICAL MEANS OF AUTOMATION TEST SYSTEM

The role of technical devices is getting important meaning in accordance with increasing technical level of developed devices and with motoring research trends, as well as with high requirements and method severity of their testing and evaluation [5].

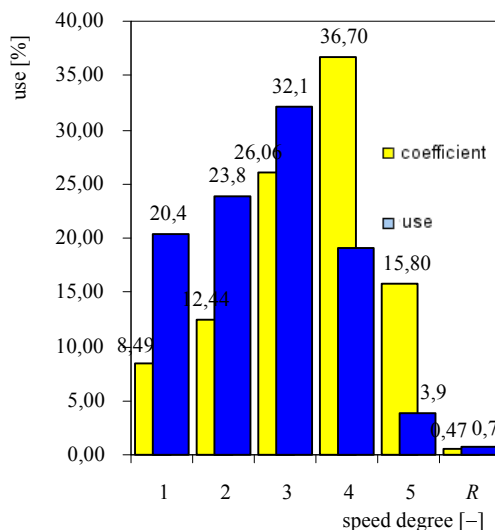
Technical assurance of car components measuring, i.e. difficult devices must fulfil these limits and conditions:

– tests technical severity on moving car with big lack of place to install measuring and testing equipments to the car require to apply measure signal remote transmission on analogue or discrete signal level,

– it is necessary to measure mechanical values by transformation of physical parameter to electrical signal, i.e. with measuring method of no electrical values by electrical way. It is necessary to correct signal from sensor and store it so that it will be available for direct processing, or for analyse,

– test system must be able to automatic function, i.e. automatic scanning of measured values, their processing, storing and editing in suitable form for next using,

– in tests realisation, there must be connectivity between gear mechanism movement and measuring system control, that means test system must be automatic and connected to test cycle managing via control inputs of gear mechanism.



Graph 1: Control mechanism total use

Technical assurance and realisation of automatic test system has a lot of technical and methodical problems according to previous one. [11] We can mention these problems:

– accessories to follow and check of classic parameters is completely available from serial produced devices and measuring technical,

– accessories to follow mechanical (non-electrical) values, which are critical in term of utility attributes,

Presented one is considered and, for technical assurance testing of control mechanism field, these directions and goals were specified:

– to propose automatic test technics for mechanical values group,

– to propose automatic test system to follow-up functionality and reliability of gear mechanism

– to apply and propose computing technic hardware accessories for its connection to automatic test systems and propose idea of related software

– to specify testing methodology

Configuration of automatic test system devices and their connection

As a result from present possibilities and the most necessary needs, configuration for ATS, which is drawn in fig. 2 was proposed.

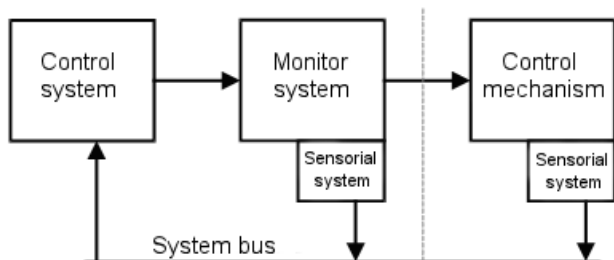


Fig. 2. Block schema devices ASS

Individual measuring equipments and control devices are connected to control system by system bus, which fulfil requirements for adaptability of devices configuration for individual measuring and testing tasks and for eventual configuration expansion [10].

Automatic test system project

It is possible to create concrete project solution of automated test system accepting results reached by now, according to fig. 3.

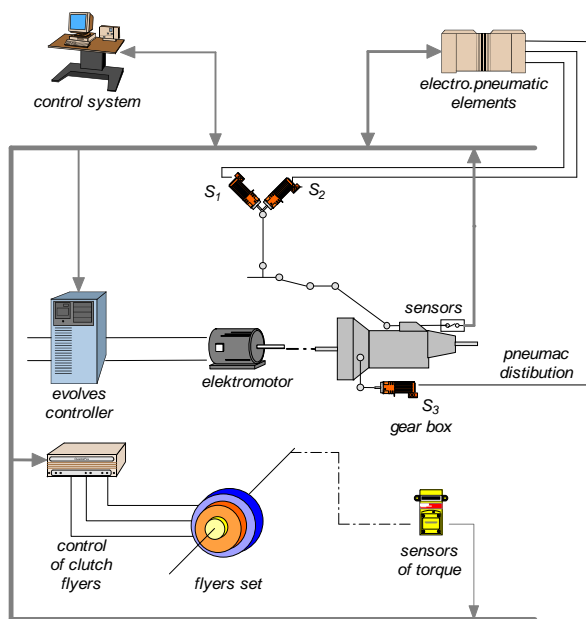


Fig. 3. Insertion ASS schema

As it comes out from gear mechanism test conditions, flyer system, evolve controller and starting clutch connection is not needed.

These parameters are necessary to take into account in speed degree gear (related to handle gear arm). This is test condition in laboratory conditions:

- 1) control power of default $F_p = 50N$
- 2) control power of gear $F_r = 70N$
- 3) path length by default $l_p = 30mm$
- 4) path length by operation $l_R = 55mm$

5) time of default $s_P = 1sec$

6) operate of gear $s_R = 1sec$

Pneumatic rollers S_1 and S_2 do speed gearing process. Double acting pneumatic roller S_1 assure pre-selection of speed degrees directly at gear arm and double acting pneumatic roller S_2 assure speed degrees gearing.

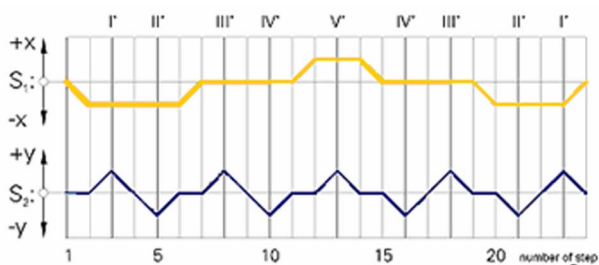
Motive system acts description

Algorithm of charging whole gear control mechanism is specified by pneumatic rollers synchronisation. One trial cycle is in table 2. It result speed degrees gear process-graph 2. This material is base for control system programming.

Gear mechanism trial process depends on its used level. The base of test is to repeat speed degree gear process. From 1 speed degree to 5 speed degree and inside out from 5 speed degree to 1 speed degree. Concrete algorithm of test pass includes methodology part.

Table. 2. Pneumatic rollers synchronisation

Number of step	Description	Roler S ₁	Roler S ₂
	A C C E L E R A T I O N M O D E		
1	Roler 1. defaul 1. speed degree	✓	
2	Roler 2. gear 1. speed degree		✓
3	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
4	Roler 2. gear 2 speed		✓
5	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
6	Roler 1. moves gearbox to neutral position	✓	
7	Roler 2. gear 3 speed degree		✓
8	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
9	Roler 2. gear 4 speed degree		✓
10	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
11	Roler 1. defaults 5 speed	✓	
12	Roler 2. gear 5 speed degree		✓
	D E C E L E R A T I O N M O D E		
13	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
14	Roler 1. moves gearbox to neutral position	✓	
15	Roler 2. gear 4 speed degree		✓
16	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
17	Roler 2. gear 3 speed degree		✓
18	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
19	Roler 1. defaul 2 speed degree	✓	
20	Roler 2. gear 2 speed degree		✓
21	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
22	Roler 2. gear 1 speed degree		✓
23	Roler 2. moves gearbox to neutral position		✓
24	Roler 1. moves gearbox to neutral position	✓	



Graph 2. Speed degrees gear proces

RELIABILITY TRIALS METHODICS PROPOSE

Automated reliability verifying and gear mechanism life cycle is the goal of test.

It is necessary to change dimensions, eventually construction nodes of least reliable elements before test. Test methodology is deduced from the way of speed degree gearing during car running. Speed degrees gearing flow is introduced in previous part. The flow repeats always the same way with aspect to chosen speed degree.

It is necessary to assure handle control power, path length of default and path length of speed degree gear. Gear mechanism lines effort by power intensity, which is prescript in tolerances during car running and followed construction nodes, ensure fulfil these conditions.

Whole system is specified to follow up gear mechanism in aspect of car reliability during car running. From table 1 is deduced that in aspect of number speed degrees gears the most used is 3 speed degree (32,1 %), and (26,06 %) in short path. 4 speed degree is geared in small number (19,1%), but it is geared on longer path (36,70 %). It is not possible to follow this reality in one aspect, because:

- a) if we want to follow results in aspect of number of gears, than it is in gear mechanism field
- b) if we want to look and follow the parameters change in aspect of gear length, than problem elements are gear-wheel, winches and their installing in gear box.

Test commerce car measuring results are base to propose the test method about control mechanism use in aspect of number of individual speed gear. Graph1 deducing from table 1 shows the ratio of gear mechanism use. This ratio must be keep during test and gear mechanism test in number, what is used and record in tables. Proposed ratio method seems to be the most suitable.

Ratio method

Ratio method comes from distribution of percentage ratio elements use of gear mechanism during speed degrees gearing. Values of use from table 1 are the base of distribution. Maximum level is reached when each component of gear mechanism will be running by distribution in table one during follow-up. Mathematic interpretation of number of gear z_u in one level and trial process is:

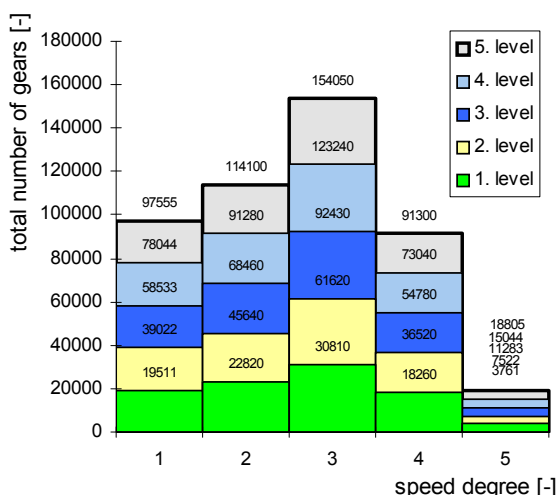
$$z_u = \frac{1}{u} \times \left[\sum_{i=1}^n n_{1i} + \sum_{i=1}^n n_{2i} + \sum_{i=1}^n n_{3i} + \sum_{i=1}^n n_{4i} + \sum_{i=1}^n n_{5i} \right],$$

where: n_1-n_5 – number of gear in u -level

u – dividing level of max. number of gear
 $z_{1r}-z_{5i}$ – number of gear of individual speed degrees
 n – maximum number of speed degrees gear of related speed

Example: if we want to follow-up gear mechanism element reliability in speed degree 5, then number of individual speed degrees gears will be:

- $n_1 = 97555 / 5 = 19511$ times
 - $n_2 = 114100 / 5 = 22820$ time
 - $n_3 = 154050 / 5 = 30810$ time
 - $n_4 = 91300 / 5 = 18260$ time
 - $n_5 = 18805 / 5 = 3761$ time
- Ratio method data are in graph 3.



Graph 3. Testing according to ratio method by 5 levels

Use coefficient estimate exactness or gear mechanism element reliability is higher, when dividing level is higher. It is important to know, same number of gears ratio in every level is kept in ratio method.

We can see on graph 3, that there is an area in the bottom, which is showing ratio number of gears of speed degrees of one level. Level 5 has 5 times smaller number of gears in same ratio as a basic level. It is possible to fill this area by trial in 2 ways:

- 1) vertical classification
- 2) horizontal classification

Vertical classification

The level of test according to vertical classification is divided in sequence according to speed percentage use. It means, that control program give command to gear speed degree 5 and then 4, 1, 2, and 3 as the last one. It is because all gear mechanism elements would be follow-up from the speed degree which use is the smallest.

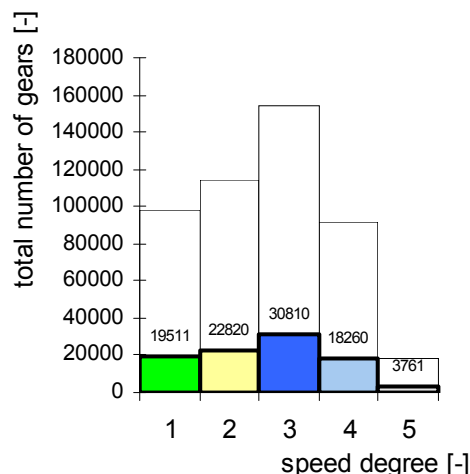
We have the biggest chance, that we verify biggest number of gear mechanism elements. We can see logical flow of gear mechanism test in graph.

Mathematic total number of gear z_{uV} in vertical classification, is expressed by relation:

$$z_{uV} = u \times \left[\sum_{j=1}^{n_5} z_{5j} + \sum_{j=1}^{n_4} z_{4j} + \sum_{j=1}^{n_1} z_{1j} + \sum_{j=1}^{n_2} z_{2j} + \sum_{j=1}^{n_3} z_{3j} \right],$$

where: n_1-n_5 – number of gear in u -level
 u – dividing level of max. number of gear
 $z_{1i}-z_{5i}$ – number of gear of individual speed degrees
 Vertical classification is risky, because rest parts of gear mechanism will stay untested for example by testing 4 speed degree by failure.

This negative solves trial according horizontal classification.



Graph 4. Level of test according to vertical classification

Horizontal classification

The test of gear mechanism elements by horizontal classification is equable according to graph 5. All speed degrees gearing are in phase one. After that, control system gives command to test control mechanism from 4 speed degree. Test till 3 speed degree is done the same way. It is gear separately from neutral position. We can mathematically interpret the number of gears Z_{uH} by horizontal classification test like this:

$$Z_{uH} = u \times \left[z_u - \sum_{j=1}^{n_5} z_{5j} - \sum_{j=1}^{n_4} z_{4j} - \sum_{j=1}^{n_1} z_{1j} - \sum_{j=1}^{n_2} z_{2j} - \sum_{j=1}^{n_3} z_{3j} \right],$$

where: n_1-n_5 – number of gear in u -level
 u – dividing level of max. number of gear
 $z_{1i}-z_{5i}$ – number of gear of individual speed degrees
 Cycle is repeating after one level of test is finished according to proposed method.

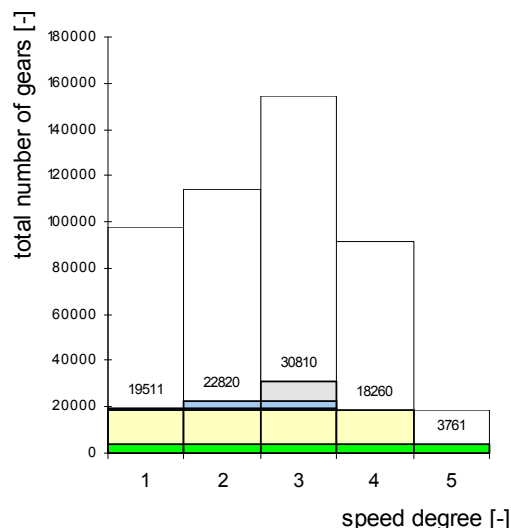
Slovak technical norms do not contain gear mechanism test method of car. That's why a space is given to this part, which will be needed to improve according to reached knowledge by test realisation.

CONCLUSION

The base for evaluation, formulate and parameters assurance of technical level, running quality and car reliability or its components, is knowledge of their technical and running parameters and running conditions. It is important knowing in operating mode, dynamic stress, the way of operating and use during running.

Quality requirements are increasing also requirements to function models laboratory testing, their parts, prototypes and their new components. This comes out of facts.

Practise in foreign countries showed, and it should be advise for us, that it is profitable to apply car problem parts to development and research. This submission is specified to increase quality level not only of final product, but also to developing time by car automation test and its technical accessories.



Graph 5. Level of test according to horizontal classification

ACKNOWLEDGMENTS

This work was written as part of the strategic development program of the Izhevsk state technological university by name M.T. Kalashnikov PSR/A2/D2.5/KAP "Development of methods for modeling and performance evaluation of manufacturing systems engineering as an information management system for automated machinery manufacturer."

The contribution is sponsored by KEGA 003STU-4/2012 prepared project „Elaboration of interactive multimedia textbook of Mechatronics for secondary vocational schools“.

References

1. Bajcsy J. a kol. Meranie elektrických a neelektrických veličín. – Bratislava : ES STU Bratislava, 1994.
2. Bartová Z. a kol. Elektrické meranie – meranie na lukratívne merania.– Bratislava : ES STU, 1993.
3. Černecký J., Pivarčiová E., Dubovská R. Holografia a jej technické aplikácie. – Radom, Polsko, 2003.
4. Králik M. Automatizované projektovanie výrobných systémov // In.: Časopis Manufacturing Engineering. – ISSN 1335 – 7972. – TU Košice, 2004.
5. Králik M. Manufacturing Systems Layout // Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering. – Vol. III(XIII). – ISSN 1583 – 0691. – P. 158b. – CD-ROM Edition, 2004.
6. Labašová E., Labaš V. Modification of resonance method for determination of dynamic Young's modulus // In Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. – P. 75–80. – ISSN 1336-1589. – Trnava, 2004.
7. Zajac J., Vojtko I. Trendy v prevádzkovej diagnostike on-line. – Bratislava : Manufacturing Engineering, 2004.
8. Mudrončík D., Zolotová I. Priemyselné programovateľné regulatory. – Bratislava : ELFA, 2000.

9. Popelka V., Wenzlova M. Informacné technológie v poľnohospodárskych subjektoch // Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie. – P. 88–90. – ISBN 80-7137-946-8. – Nitra, 2001.

10. Makyš P., Vidová H. Knowledge discovery from databases in marketing // In 12th international scientific conference CO-MAT-TECH 2004. – P. 826–833. – ISBN 80-227-2117-4. – STU Bratislava, 2004.

Павол Божек, кандидат технических наук, доцент, Словацкий Технологический Университет, Трнава
А. И. Коришунов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Усовершенствование управления мехатронными системами с применением математического аппарата теории проверки надежности

В статье описана созданная информационная система, содержащая данные по качеству, функционированию, автоматизированным испытаниям и новому методу оценки транспортной подсистемы. Система протестирована на статистически важной группе коммерческих грузовиков. В данном случае была использована информация об эксплуатационных параметрах представителей этой группы. Численный анализ выполнен на основе автоматизированного сбора и систематической записи информации о работе коммерческих грузовиков. Предложенная новая информационная система данных по функционированию и испытаниям позволяет проверять надежность в соответствии с разработанной методикой. Детали машин, находящиеся в критическом состоянии, выявленные в лабораторных условиях, распознаются численным анализом надежности. Описана методика испытаний и ее численное моделирование на трех уровнях. Результатом работы является не только повышение качества готовой продукции, но и созданная автоматизированная испытательная лаборатория для автомобилей.

Ключевые слова: данные измерений, автоматизация испытаний, новая методология.

УДК 658.011.56

А. П. Кузнецов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

К. И. Замятин, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРУКТУР-СТРАТЕГИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рассматривается усовершенствованная модель синтеза вариантов технологического обеспечения структур-стратегий производственных систем машиностроения. Разработанная модель может быть использована при модернизации производственных систем, а также при смене номенклатурной модели предприятия.

Ключевые слова: промышленная система, варианты структур-стратегий, модель синтеза.

Машиностроительное предприятие, осуществляющее хозяйственную деятельность в условиях рыночной конкуренции, стремится минимизировать затраты на производство, а также максимизировать свою прибыль. Вместе с тем, по данным ассоциации «Станкоинструмент», парк механообрабатывающего оборудования, состоящий преимущественно из отечественных станков, за последние 15 лет практически не обновлялся, сократился на 1 млн единиц и составляет сегодня около полутора миллиона единиц. Более 70 % станочного парка эксплуатируется свыше 15-20 лет и находится на грани полного физического износа, а большая часть из более чем 300 предприятий России нуждается в модернизации и диверсификации [1, 2].

По мнению российских и зарубежных экспертов, любая модернизация машиностроительных предприятий должна сочетать в себе эффективную замену старого оборудования с внедрением современных

принципов и подходов в организации и управлении производством [1, 2]. Однако решение этой многокритериальной задачи невозможно без использования эффективных алгоритмов оценки и подбора новых элементов структур-стратегий производственных систем, а также подразумевает использование современных автоматизированных систем поддержки принятия решений.

Основой для усовершенствованной модели синтеза вариантов технологического обеспечения структур-стратегий производственных систем (ПС) машиностроения является базовая модель выбора технологического оборудования [3], не учитывающая ряд потребностей предприятий, таких как частичная модернизация производств.

Предлагаемая модель построена на основе комбинаторного алгоритма синтеза технологического обеспечения структур-стратегий производственных систем (ПС) машиностроения и является составной

частью автоматизированной системы поддержки принятия решений при модернизации производственных систем машиностроения [3, 4].

Модель может быть использована при модернизации производственных систем машиностроения в условиях штучного и мелкосерийного производства, а также при смене номенклатурной модели предприятия и обеспечивает синтез вариантов технологического и информационного обеспечения производственных систем в автоматизированном режиме.

К наиболее значимым изменениям базовой модели относится возможность анализа и оценки существующего парка металлообрабатывающего оборудования, что позволяет предприятиям наиболее гибко и эффективно пройти процедуру модернизации механообрабатывающих производств.

Синтез вариантов технологического обеспечения структур-стратегий осуществляется в несколько этапов (рис. 1).

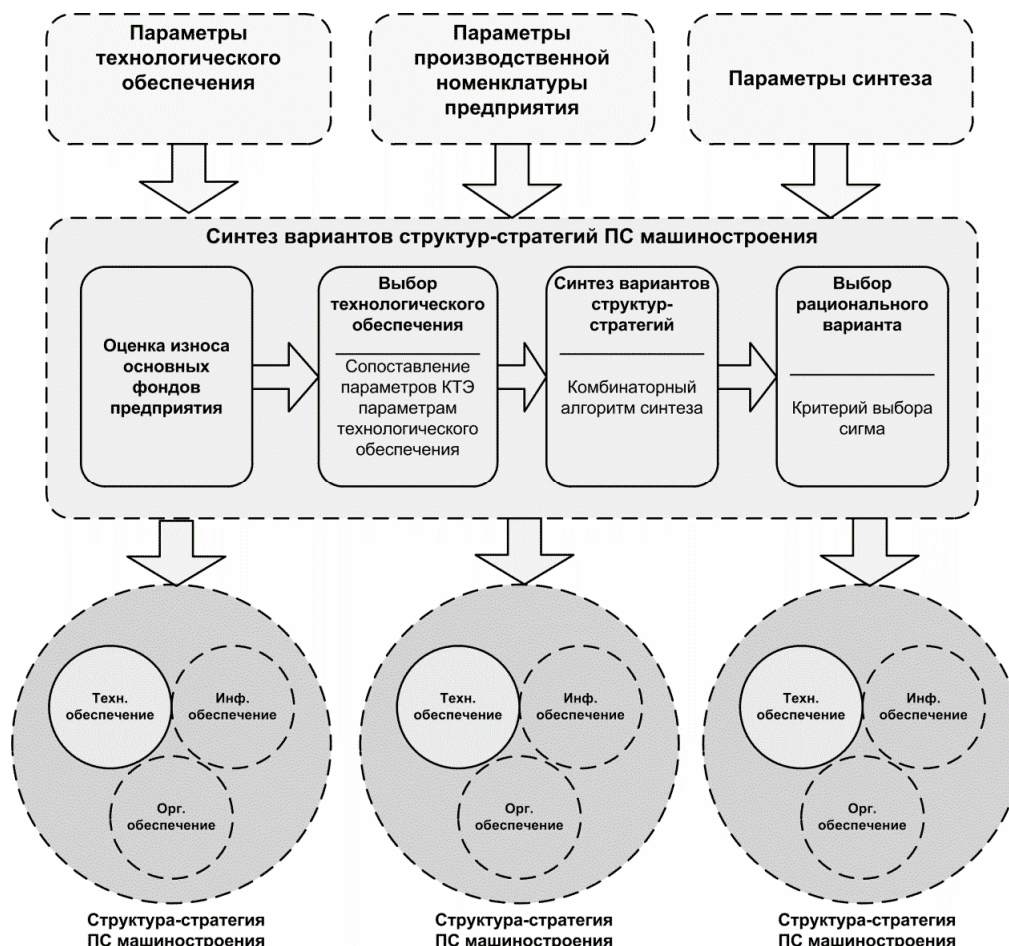


Рис. 1. Этапы синтеза вариантов технологического обеспечения структур-стратегий ПС

На первом этапе синтеза осуществляется оценка состояния основных фондов машиностроительного предприятия. Степень физического износа основных фондов характеризуется величиной уменьшения их стоимости, а также может быть выявлена по времени эксплуатации, объемам выполняемых работ и техническому состоянию [5].

Коэффициент физического износа основных фондов может быть определен следующим образом [5]:

$$K_{и.ф} = \frac{A}{\Phi}, \quad (1)$$

где A – сумма износа основных фондов, руб.; Φ – первоначальная стоимость основных фондов, руб.

Данный коэффициент может быть определен также следующим образом [5]:

$$K_{и.ф} = T_{ф} / T_{н}, \quad (2)$$

где $T_{ф}$ и $T_{н}$ – фактический и нормативный срок службы основных фондов соответственно.

Величина уменьшения стоимости основных фондов по техническому состоянию устанавливается на основании экспертной оценки специалистами путем оценки состояния отдельных узлов оборудования и исчисления средневзвешенного процентного износа [5, 6].

Коэффициент износа основных фондов используется на последнем этапе синтеза вариантов структур-стратегий, при этом для нового оборудования данный коэффициент принимается равным 0.

На втором этапе синтеза осуществляется выбор технологического обеспечения, при этом учитыва-

ются параметры не только нового, но и параметры работающего на предприятии оборудования с учетом суммы его остаточной стоимости.

В качестве входных данных алгоритм выбора технологического обеспечения использует множество A' , содержащее набор параметров оборудования, обеспечивающего выполнение технологических операций для производства заданной номенклатуры [7, 8, 9]:

$$A' = \left[a_1, a_2, \dots, a_n \mid a_i \in A \text{ при } \bigwedge_{j=1}^4 f_j(X) = 1 \right], \quad (3)$$

$$a_i = \langle p_i^a, p_c^a, p_m^a, p_w^a, p_p^a, p_a^a, p_d^a \rangle, \quad (4)$$

где p_i^a – конечное множество типов оборудования; p_c^a – признак наличия ЧПУ; p_m^a – максимальный размер заготовки; p_w^a – вес станка; p_p^a – класс точности оборудования; p_a^a – множество технологических операций, выполняемых на оборудовании; p_d^a – стоимость оборудования; X – подмножество параметров технологического оборудования, на которых функция может принимать единичное или нулевое значение; f_i – функция принадлежности для элементов подмножеств; A' – логическая функция, определенная в терминах алгебры логики:

$$f_i = \bigvee_{j=1}^n \phi_j(x_j), \quad (5)$$

где ϕ_j – дизъюнктивный терм, принимающий единичное значение на наборе высказываний x_j в случае, если каждое высказывание принимает истинное значение.

Множество A' получено путем последовательного уточнения множества A параметров технологического обеспечения в зависимости от множества D параметров оборудования, полученного путем декомпозиции детали до конструктивно-технологических элементов [7].

На третьем этапе осуществляется комбинаторный синтез вариантов технологического обеспечения. В зависимости от типа оборудования все элементы множества A' подлежат группировке в m упорядоченных множеств $t_i \in T$, при этом каждое такое множество содержит станки, относящиеся к одной и той же группе технологического оборудования. В этом случае количество вариантов структур-стратегий ПС машиностроения будет равно сумме комбинаторных конфигураций, полученных сочетанием всех элементов ранее сформированных множеств (рис. 2).

Учитывая, что в сформированные варианты структур-стратегий ПС машиностроения войдет оборудование разной ценовой категории, необходимо осуществить отсечение вариантов, не удовлетворяющих финансово-экономическим потребностям предприятия. Такое отсечение производится в зависимости от суммарной стоимости каждого варианта

технологического обеспечения, вошедшего в синтезируемое множество [10].

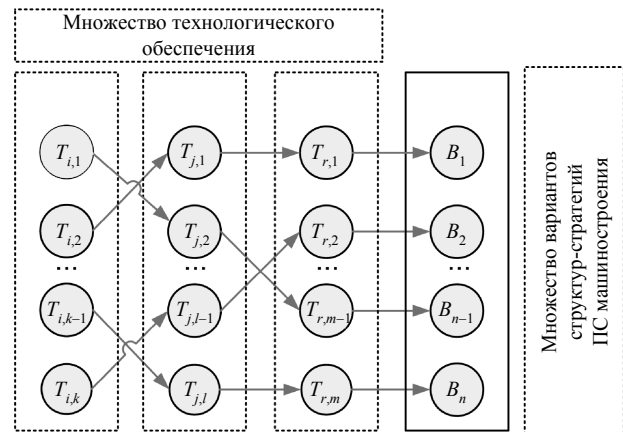


Рис. 2. Синтез вариантов структур-стратегий ПС машиностроения

На последнем этапе синтеза осуществляется выбор рациональных вариантов, которые войдут в финальное множество и будут предложены лицу, принимающему решения. Оценка и выбор рациональных вариантов осуществляется с использованием критерия σ . В качестве основы предложенного критерия была использована его обратная зависимость от стоимости и прямая – от производительности синтезированных вариантов. Такая зависимость позволяет произвести качественную оценку эффективности синтезированных вариантов и необходима для автоматизации синтеза вариантов структур-стратегий. Для оценки вариантов, содержащих уже работающее на предприятии оборудование, данный критерий учитывает также коэффициент физического износа основных фондов $K_{и.ф.}$:

$$\sigma_i = \alpha_1 \left(1 - \frac{C_i}{C_m} \right) + \alpha_2 \frac{P_i}{P_m} + \alpha_3 (1 - K_{и.ф.с}), \quad (6)$$

где C_i – стоимость i -го варианта структуры-стратегии; P_i – производительность i -го варианта структуры-стратегии; C_m и P_m – соответственно, максимальная стоимость и производительность технологического обеспечения; $K_{и.ф.с}$ – средний износ оборудования по каждому варианту; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты, определяемые методом экспертной оценки, при этом $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ [3].

Определим производительность технологического обеспечения [11], входящего в j -й вариант структуры-стратегии, как

$$P_j = \sum \frac{N_i \cdot T_i}{F}, \quad (7)$$

где N_i – количество деталей, обрабатываемых на i -м технологическом оборудовании; T_i – трудоемкость изготовления деталей i -й детали, определяемая на основе статистического анализа маршрутных карт; F – фонд рабочего времени в год.

Учитывая, что эффективность варианта структуры-стратегии стремится к максимуму, могут быть отобраны варианты, эффективность которых выше эффективности базового варианта структуры-стратегии ПС, функционирующего на предприятии.

Усовершенствованная модель синтеза вариантов структур-стратегий ПС машиностроения ориентирована на использование определенным кругом специалистов и позволяет максимально гибко произвести модернизацию существующей производственной системы с учетом как существующего, так и нового технологического оборудования.

В целом разработанный алгоритм в составе автоматизированной системы решает актуальную научную проблему, имеющую существенное теоретическое и прикладное значение, заключающееся в выборе технологического и информационного обеспечения современных производственных систем машиностроения на этапах принятия решения об их модернизации и дальнейшем техническом развитии.

Библиографические ссылки

1. Станкостроение в России: состояние, тенденции, перспективы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mashportal.ru/machinery_russia-15488.aspx
2. Концепция формирования государственной комплексной программы развития машиностроения России / Союз машиностроителей России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.soyuzmash.ru/informcenter/concept/concept.htm>
3. *Замятин К. И.* Разработка автоматизированной системы выбора технологического и информационного обеспечения

печения структур-стратегий производственных систем машиностроения : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2010.

4. *Замятин К. И., Кузнецов А. П.* Автоматизированная система принятия решений при синтезе структур-стратегий производственных систем машиностроения (СППР «Синтез ПС») // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 4. – С. 20.

5. *Бабук И. М.* Экономика предприятия. – Минск : Белорусская гос. политехн. акад., 2000. – 131 с.

6. Оценка машин, оборудования и транспортных средств : учеб.-метод. пособие / А. Н. Асаул, В. Н. Старинский, А. Г. Безлюдная, П. Ю. Ерофеев ; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. А. Н. Асаула. – СПб. : Гуманистика, 2007. – 296 с.

7. *Замятин К. И., Кузнецов А. П.* Выбор технологических элементов структур-стратегий производственных систем машиностроения // Изв. Самарского науч. центра РАН. – Самара, 2009. – С. 292–295.

8. *Якимович Б. А., Коршунов А. И., Кузнецов А. П.* Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур-стратегий производственных систем машиностроения : монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – 280 с.

9. Теория сложности / Ю. С. Шарин, Б. А. Якимович, В. Г. Толмачев, А. И. Коршунов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1999. – 132 с.

10. *Замятин К. И., Кузнецов А. П.* Комбинаторный алгоритм синтеза вариантов структур-стратегий производственных систем машиностроения // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 4. – С. 171–173.

11. *Якимович Б. А., Коршунов А. И.* Методы укрупненного нормирования в машиностроении и перспективы получения прогнозной трудоемкости // Информатика. Машиностроение. – 1996. – № 3. – С. 34–37.

A. P. Kuznetsov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
K. I. Zamyatin, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Advanced Model of Variants Synthesis of Industrial System Structures-Strategies

The article provides the advanced model of variants synthesis of industrial system structures-strategies. The developed algorithm can be used for modernization of industrial systems, and when changing the enterprise model nomenclature.

Key words: industrial system, variants of structures-strategies, synthesis model.

УДК 658.512

А. Ю. Уразбахтина, кандидат технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

Ф. А. Уразбахтин, доктор технических наук, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СБОРКЕ КЛЕПКОЙ *

Рассматриваются предельные ситуации, которые могут возникнуть при сборке клепкой корпусов ракет из алюминивно-магниевых сплавов по прочности, стойкости к коррозии, технологичности и себестоимости выполнения швов; по характеристикам заклепок, оборудования и приспособлений. Предельные ситуации оцениваются специальными показателями с помощью моделирования в среде MathCAD.

Ключевые слова: предельные ситуации, математическая модель, корпус летательного аппарата, клепка деталей из алюминивно-магниевых сплавов.

Одним из надежных и распространенных способов соединения деталей корпусов ракет из алюминивно-магниевых сплавов до сих пор остается сборка клепкой. Клепанные соединения обладают достаточной прочностью, успешно сопротивляются значительным вибрационным и переменным нагрузкам. Процессы клепки тонкостенных корпусов из алюминивно-магниевых сплавов в настоящее время успешно освоены в производстве деталей ракет [1].

Низкое качество и эффективность клепки являются результатами предельных ситуаций в процессе выполнения этого технологического процесса [1]. Это обстоятельство делает необходимым проведение моделирования процесса клепки. Математическая модель процесса клепки представлена в виде конечного множества количественных показателей y_i , каждый из которых оценивает степень приближения к отдельной предельной ситуации. Непосредственно на возникновение i -й предельной ситуации указывает значение показателя, большее единицы. Общая эффективность технологической системы клепки определяется по целевой функции из [2]:

$$Y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \rightarrow \min,$$

где m – общее количество показателей в математической модели.

Каждое состояние технологической системы оценивается значениями параметров, среди которых характеристики формы и клепального инструмента,

диаметр, длина заклепки, диаметр отверстия. Все параметры в математической модели разделены на константы и управляющие переменные. В математической модели используется специальная система кодирования технологических параметров. На основе построенной математической модели разработано программное обеспечение, которое функционирует в среде MathCAD.

К управляющим параметрам технологической системы клепки корпусов из алюминивно-магниевых сплавов относятся: информационные коды формы типа заклепки – zaa (принято, что 5 – с полукруглой головкой, 6 – с потайной, 7 – составные, с плоским буртиком); материала корпуса – $mks1$ и стержня заклепки – $mks2$ (10 – X18H9; 16 – AlMg5); вида усилий kkz (1 – ударная или 2 – прессовая клепка); оборудования для установки заклепок io (1 – автомат АК-5,5-2,4; 6 – заклепочник Taurus2); приспособления – llo (1 – прижимы, ограничители; 3 – приспособление); оборудования для выполнения отверстий – oio (1 – дрель; 2 – радиально-сверлильный станок). Управляющими параметрами также являются: класс точности заклепки – KTZ (B или C); диаметр – d_3 и длина заклепки – l_{kz} ; расстояние от оси заклепки до края детали – C_3 .

Рассмотрим процесс моделирования клепки приборной платы к шпангоуту корпуса ракеты 18 заклепками (толщина шпангоута в месте клепки – 15 мм; приборной платы – 10 мм). Представим исходные данные для 4 разработанных вариантов (табл. 1). Ход моделирования покажем на листингах, а результаты сведем в табл. 2.

Таблица 1. Управляющие параметры и целевая функция

Управляющие параметры и целевая функция	Значения управляющих параметров и показателей критичности			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Информационный код формы головки и типа заклепки zaa	5	6	9	7
Информационные коды материала корпуса и стержня заклепки $mks1$ и $mks2$	16	16	16	15
	16	16	16	10

© Уразбахтина А. Ю., Уразбахтин Ф. А., 2013

Получено 01.10.13

* Статья написана в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Окончание табл. 1

Управляющие параметры и целевая функция	Значения управляющих параметров и показателей критичности			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Класс точности заклепки <i>KTZ</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
Длина (корпуса) заклепки <i>l_{KZ}</i>	60	50	38	30
Информационный код метода установки заклепки <i>kkz</i>	1	1	2	1
Расстояние от оси заклепки до места скругления детали <i>C₃</i>	18	10	3	3
Информационный код оборудования для клепки <i>io</i>	16	14	22	8
Информационный код приспособления <i>llo</i>	1	6	1	4
Информационный код оборудования для выполнения отверстий <i>oio</i>	1	2	5	4
Диаметр <i>d₃</i> заклепки, мм	24	24	10	5
Целевая функция <i>Y</i>	7,07	5,51	5,239	5,18

Таблица 2. Результаты моделирования

Обозначения показателей	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Обозначения показателей	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
\bar{y}_1	0,000	0,000	0,000	0,36	\bar{y}_9	0,002	0,002	0,009	0,035
\bar{y}_2	0,510	0,510	0,000	0,000	\bar{y}_{10}	0,009	0,009	0,023	0,044
\bar{y}_3	0,761	0,522	0,501	0,500	\bar{y}_{11}	0,001	0,001	0,006	0,022
\bar{y}_4	0,555	0,555	0,993	0,993	\bar{y}_{12}	0,960	0,750	0,789	0,797
\bar{y}_5	0,660	0,66	0,592	0,625	\bar{y}_{13}	0,579	0,000	0,220	0,000
\bar{y}_6	0,505	0,505	0,609	0,551	\bar{y}_{14}	0,300	0,200	0,300	0,100
\bar{y}_7	0,873	0,873	0,364	0,185	\bar{y}_{15}	0,063	0,048	0,120	0,015
\bar{y}_8	0,973	0,556	0,333	0,632	\bar{y}_{16}	0,320	0,320	0,400	0,320

1. Ввод данных:

mks1 := 16	mks2 := 16	Информационные коды материала корпуса и стержня заклепки
	zaa := 5	Информационный код формы головки и типа заклепки
	KTZ := "B"	Класс точности заклепки
	kkz := 1	Информационный код метода установки заклепки (для ударной 1 или прессовой клепки 2).
	C3 := 18mm	Расстояние от оси заклепки до места скругления детали

2. Считаем, что материал заклепки должен соответствовать материалу соединяемых деталей с точки зрения значений электродных потенциалов. В противном случае возникает предельная ситуация. Она связана с возникновением взаимодействия между материалом изделия и корпусом заклепки и возможным появлением коррозии [3]. Степень приближения к предельной ситуации определяется показателем

$$\bar{y}_1 = 1 - k_{PT}, \tag{1}$$

где k_{PT} – коэффициент соответствия значений и знаков электродных потенциалов материалов заклепки и соединяемых деталей. Например, для алюминиевого сплава АМг6 стационарный потенциал равен (-0,5 В), а для нержавеющей стали Х18Н9 – (+0,46 В) [3].

Cp21 := CP_{mks1,1} = -0.5V	Cp22 := CP_{mks2,1} = -0.5V	Стационарный потенциал материалов корпуса и стержня заклепки
k1PT :=	$\begin{cases} \frac{Cp21}{Cp2} & \text{if } Cp2 > Cp21 \\ \frac{Cp2}{Cp21} & \text{otherwise} \end{cases}$	= 1
k2PT :=	$\begin{cases} \frac{Cp22}{Cp2} & \text{if } Cp2 > Cp22 \\ \frac{Cp2}{Cp22} & \text{otherwise} \end{cases}$	= 1
y1 := max[(1 - k1PT), (1 - k2PT), (1 - k3PT)] = 0		Коэффициенты соответствия значений и знаков электродных потенциалов материалов корпуса и стержня заклепки материалу соединяемых деталей
		k3PT :=
		$\begin{cases} \frac{Cp21}{Cp22} & \text{if } Cp21 > Cp22 \\ \frac{Cp21}{Cp22} & \text{otherwise} \end{cases}$
		= 1

3. Диаметр заклепки d_3 назначается по толщине склепываемых краев деталей. Если на предприятии такие заклепки отсутствуют, то считаем, что возникла предельная ситуация по отсутствию материалов, необходимых для выполнения технологического процесса. Возможность оценки этой предельной ситуации будем определять по значению показателя

$$\bar{y}_2 = A_{48} + B_{48} d_3 + C_{48} d_3^2, \quad (2)$$

где коэффициенты A_{48}, B_{48}, C_{48} определяются из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} A_{48} + d_{13} B_{48} + d_{13}^2 C_{48} &= 1 \\ A_{48} + d_{23} B_{48} + d_{23}^2 C_{48} &= 1 \\ A_{48} + B_{48} \frac{(d_{13} + d_{23})}{2} + C_{48} \frac{(d_{13} + d_{23})^2}{4} &= 0,5 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где d_{13}, d_{23} – предельные значения допускаемых диаметров заклепки, мм.

$X := \begin{bmatrix} 1 & \frac{d13}{mm} & \left(\frac{d13}{mm}\right)^2 \\ 1 & \frac{d23}{mm} & \left(\frac{d23}{mm}\right)^2 \\ 1 & \left(\frac{d13 + d23}{2mm}\right) & \left(\frac{d13 + d23}{2mm}\right)^2 \end{bmatrix} \quad Y := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}$	$D48 := \text{Isolve}(X, Y)$	$d3 := \begin{cases} G1_{id,1} & \text{if } zaa = 5 \vee zaa = 6 \vee zaa = 7 = 0.024m \\ G4_{id,1} & \text{if } zaa = 9 \vee zaa = 10 \vee zaa = 11 \\ G5_{id,1} & \text{if } zaa = 7 \\ 0mm & \text{otherwise} \end{cases}$
		$y_2 := \begin{cases} A48 + B48 \cdot \frac{d3}{mm} + C48 \cdot \left(\frac{d3}{mm}\right)^2 & \text{if } zaa = 5 \vee zaa = 6 = 0.51 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

4. Неудачно подобранная геометрия заклепки и ее частей приведет к появлению предельной ситуации. Например, если корпус заклепки слишком короткий, то возникнет предельная ситуация, связанная с нехваткой материала для формирования замыкающей головки. Оценим эту предельную ситуацию показателем

$$\bar{y}_3 := A_{30} + B_{30} \frac{l_{KZ}}{\min} + C_{30} \left(\frac{l_{KZ}}{\min}\right)^2 = 0,761, \quad (4)$$

где l_{KZ} – длина заклепки, мм; коэффициенты A_{30}, B_{30}, C_{30} находятся из системы уравнений, аналогичной (3), но в которой участвуют предельные значения длин корпуса заклепки из [5] – l_{ZMAX}, l_{ZMIN} .

5. При изготовлении сборок клепкой необходимо обеспечить требуемые зазоры между стержнем заклепки и стенкой отверстия. В противном случае возникает предельная ситуация, которая оценивается показателем

$$\bar{y}_4 := A_{63} + B_{63} \frac{\Delta SZO}{\min} + C_{63} \left(\frac{\Delta SZO}{\min}\right)^2 = 0,555, \quad (5)$$

где коэффициенты A_{63}, B_{63}, C_{63} находятся из системы уравнений аналогичной (3). При этом зазор между стержнем заклепки и стенкой отверстия ΔSZO составляет от 0,1 до 0,4 мм, что обеспечивает хорошее заполнение отверстия [6].

6. Фактические отклонения диаметра стержня δDZA и длины (стержня) заклепки δLZA согласно стандарту не должны превышать определенных значений. В противном случае наступят предельные ситуации, степень приближения которых определяются двумя показателями:

$$\bar{y}_5 := A_{49} + B_{49} \frac{\delta DZA}{\text{micron}} + C_{49} \left(\frac{\delta DZA}{\text{micron}}\right)^2 = 0,66;$$

$$\bar{y}_6 := A_{39} + B_{39} \frac{\delta LZA}{\text{micron}} + C_{39} \left(\frac{\delta LZA}{\text{micron}}\right)^2 = 0,505, \quad (6)$$

где коэффициенты $A_{49}, B_{49}, C_{49}, A_{39}, B_{39}, C_{39}$ определяются из двух систем уравнений, аналогичных (3), с учетом предельных значений отклонений диаметра стержня $\delta_{DAZ}, \delta_{DIZ}$ и длины заклепки $\delta_{LAZ}, \delta_{LIZ}$ (мкм).

7. Предельные ситуации, связанные с прочностью клепаного шва, оценим показателями:

$$\bar{y}_7 := \frac{2d_3}{c_3} = 0,873;$$

$$\bar{y}_8 := \frac{C_3}{0,5D_3} = 0,973, \quad (7)$$

где D_3 – диаметр головки заклепки, мм; d_3 – диаметр заклепки, мм; C_3 – расстояние от оси клепаного шва до края профиля детали, мм; c_3 – расстояние от оси клепаного шва до поверхностей, мешающих подводу инструмента, мм [7, 8].

8. Качество соединения при клепке существенно зависит от прочности заклепок [5, 6, 7]. При появлении напряжений в шве возникают предельные ситуации среза или разрыва заклепок, которые можно определить по значениям следующих показателей:

$$\bar{y}_9 := \frac{P_s}{P_{spr}} = 0,002; \quad \bar{y}_{11} := \frac{P_o}{0,45\sigma n \pi \frac{d_3^2}{4}} = 0,00099;$$

$$\bar{y}_{10} := \frac{\sigma CM}{\sigma CM_{pr}} = 0,009,$$

где P_s, P_o – фактические продольные и растягивающие нагрузки на заклепки, Н; P_{spr} – допускаемые нагрузки на заклепку, Н; $\sigma CM, \sigma CM_{pr}$ – фактическое и допускаемое напряжения смятия, Па; n – количе-

ство заклепок; σ_t – предел текучести склепываемого материала, Па.

9. В случае неправильного выбора оборудования для установки заклепки возникает предельная ситуация. Ее оцениваем показателем

$$\bar{y}_{12} = \frac{d_3}{[d_3]}, \quad (9)$$

где d_3 – диаметр заклепки, мм; io – номер строки в реляционной базе данных (БД «ВО») оборудования; $[d_3]$ – наибольший диаметр расклепываемой заклепки, мм, указанный в паспорте оборудования и занесенный в 1-й столбец базы данных.

$$y_{12} := \frac{d_3}{(BO_{io,1}) \cdot 1 \text{ мм}} = 0,96.$$

$BO_{\langle 3 \rangle} =$	1	"Автомат сверлильно-клепальный АК-5,5-2,4"
	2	"Молоток массой 200...300 г"
	3	"Молоток массой 350...400 г"
	4	"Молоток массой 400...450 г"
	5	"Молоток массой 450...500 г"
	6	"Заклепочник Taurus 2"
	7	"Заклепочник РН 2-КА"
	8	"Заклепочник SN 2"
	9	"Заклепочник HN 2"
	10	"Заклепочник AccuBird"
	11	"Пневматический клепальный молоток КМП-14-0,25"

10. Выбор оборудования для выполнения клепки зависит не только от диаметра заклепки, но и от габаритов клепаных узлов [6, 7]. В построенной математической модели это учтено показателем

$$\bar{y}_{13} := \begin{cases} \frac{c_3}{(BO_{io,7}) 1 \text{ мм}} & \text{if } 0 \neq (BO_{io,7}) = 0,57895, \end{cases} \quad (10)$$

где c_3 – расстояние от оси клепаного шва до поверхностей, мешающих подводу инструмента, мм; $BO_{io,7}$ – наибольший размер склепываемого узла, допустимого для данной модели оборудования (например, размах скобы, записанный в соответствующем столбце базы данных).

11. При выборе варианта проведения процесса клепки предпочтение отдается стационарному автоматическому оборудованию и в последнюю очередь – ручному механизированному инструменту. Учтем это показателем критичности

$$\bar{y}_{14} := 1 - BO_{io,5} = 0,3, \quad (11)$$

где $BO_{io,5}$ – коэффициент предпочтительности применяемой модели оборудования для выполнения отверстий и клепки (0,1).

12. Технологичность сборки оценивается коэффициентом точности сборки $KtOc$ [1], который примем за показатель критичности

$$\bar{y}_{15} := KtOc = 0,063. \quad (12)$$

13. Экономичность соединения элементов конструкции клепкой оценивается относительной себе-

стоимостью сборки $KoSS$ в расчете на установку 1000 силовых точек соединений [1]. Очевидно, что чем ближе значение $KoSS$ к 100 %, тем ближе появление предельной ситуации по экономичности сборки. Оценим ее приближение показателем

$$\bar{y}_{16} := \frac{KoSS}{100,1} = 0,32. \quad (13)$$

Такова математическая модель, оценивающая критичность технологического процесса клепки.

С использованием этой модели было проведено моделирование 4 вариантов выполнения процесса клепки. Результаты представлены в табл. 2.

Анализ результатов моделирования позволяет утверждать следующее. Из представленных вариантов наиболее эффективным является четвертый с параметрами: заклепка – алюминий/нерж. сталь с плоским буртиком; диаметр заклепки $d_3 = 5$ мм; дина заклепки $l_{KZ} = 30$ мм; оборудование – заклепочник SN2; специальное сборочное приспособление; сверлильный станок для выполнения отверстий. В этом варианте значение целевой функции наименьшее – $Y_4 = 5,18$.

Подведем итоги.

1. Разработана математическая модель и программное обеспечение в среде *MathCAD*, позволяющие оценивать эффективность технологического процесса клепки корпусных деталей ракет по степени приближения предельных ситуаций.

2. В построенной математической модели эффективность процесса клепки определяется с точки зрения обеспечения качества шва и рационального применения ресурсов предприятия.

Библиографические ссылки

1. Колганов И. М., Дубровский П. В., Архипов А. Н. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения : учеб. пособие. – Ч. 1. – Ульяновск : УлГТУ, 2003. – 148 с.
2. Уразбахтин Ф. А., Уразбахтина А. Ю., Хмелева А. В. Критические ситуации при производстве и технической эксплуатации транспортно-пусковых контейнеров ракет. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 408 с.
3. ГОСТ 9.005–72. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, металлические и неметаллические неорганические покрытия. Допустимые и недопустимые контакты с металлами и неметаллами.
4. Справочник технолога-машиностроителя. – Ч. 2 [Электронный ресурс]. – URL: <http://stehmash.narod.ru/stm2str40tab10.htm> (дата обращения: 1.08.2013).
5. Заклепочные соединения и технология клепки [Электронный ресурс]. – URL : <http://ubtec-russia.ru/2012/12/zaklepochnye-soedineniya-i-tekhnologiya-klepki/> (дата обращения: 13.09.2013).
6. Технология авиационного машиностроения [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/3621/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F (дата обращения: 4.02.2013).
7. Заклепочные соединения [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cherch.ru/soedinenie_detaley/zaklepochnie-soedineniya.html (дата обращения: 16.08.2013).
8. Расчет заклепочных соединений [Электронный ресурс]. – URL: http://вфмисс.рф/docs/kaf_opd/prezent/dm/2009/soedineniya.pdf (дата обращения: 15.08.2013).

A. Yu. Urazbakhtina, PhD in Engineering, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

F. A. Urazbakhtin, DSc in Engineering, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Program Realization of Mathematical Models of Ultimate Situations Arising at Riveting Assembly

The paper considers the ultimate situations which can arise at riveting assembly of rockets cases made of aluminum-magnesium alloys with account of their durability, resistance to corrosion, technological effectiveness and cost of performance of seams and according to characteristics of rivets, equipment and adjustment devices. Ultimate situations are estimated by special characteristics when modeling within MathCAD system.

Key words: limit situations, mathematical model, aircraft case, riveting of parts made of aluminum-magnesium alloys.

УДК 62-114.003.13

Д. С. Пахомов, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет

А. Б. Чуваков, кандидат технических наук, Павловский филиал Нижегородского государственного технического университета

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Предложена методика решения задач повышения эффективности работы комплекта инструментов путем назначения оптимальных режимов обработки и рационального выбора инструмента под конкретную производственную ситуацию. Рассмотрены конкретные примеры повышения эффективности обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ.

Ключевые слова: эффективность, оптимизация, производительность, надежность.

Современные технологии ориентированы на обработку детали по возможности на одном многоцелевом станке с ЧПУ. В связи с этим приобретают особую актуальность задачи, связанные с повышением эффективности работы комплекта обрабатываемых инструментов. Решение этих задач может достигаться посредством назначения оптимальных методов и режимов обработки, изменения структуры работы инструментов в наладке, подбора наиболее эффективных обрабатываемых инструментов, посредством оптимального программирования и др.

В настоящее время при назначении режимов обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ не учитываются многие актуальные в текущий момент времени требования и условия производства, определяющие выбор соответствующего критерия оптимизации. Примеры выбора критерия оптимизации в зависимости от требования и условия производства приведены в табл. 1.

Таблица 1. Примеры выбора критерия оптимизации

Требования и условия производства	Критерий оптимизации
Срочное выполнение заказа	Максимальная производительность
Экономия затрат	Минимум себестоимости
Применение безлюдных технологий	Максимальная надежность процесса

В представленной работе приведено решение задач повышения эффективности операции при использовании одного комплекта инструментов с учетом различных требований и условий производства. Рассмотрим пути повышения эффективности операции на конкретном примере изготовления партии деталей типа корпус. Заготовка – отливка. Материал – СЧ-20. Партия запуска – 40 шт. Оборудование – фрезерно-сверлильно-расточной многоцелевой станок с ЧПУ.

Данные по инструментальной наладке приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные по инструментальной наладке

№ инстр.	Наименование инструмента	Номер и наименование перехода	Материал режущей части	$L_{рез}$	$L_{р.х}$
1	Фреза торцовая Ø 125	№ 1. Фрезерование черновое плоских наружных поверхностей.	ВК8	1420	1590
		№ 2. Фрезерование получистовое тех же поверхностей		1420	1590
2	Сверло Ø10	№ 3. Сверление десяти сквозных отверстий	Р6М5	500	540
3	Резец расточной	№ 4. Растачивание отверстия	ВК8	300	304
4	Фреза концевая Ø20	№ 5 Фрезерование двух лысок 20×10	ВК8	60	136
5	Зенковка Ø20	№ 6. Зенкование фасок 1×45° в десяти отверстиях с двух сторон	Р6М5	20	100

Обозначения: $L_{рез}$ – длина резания; $L_{р.х}$ – длина рабочего хода.

Задача 1. Повысить эффективность обработки с точки зрения экономии затрат

Рассмотрим назначение режимов обработки для комплекта инструментов с использованием при назначении стойкости инструмента в качестве критерия «минимум себестоимости». Целевая функция для определения переменной части себестоимости, зависящая от режимов обработки:

$$C_{пер} = t_0 E + \tau_{см} E/Z + S_T/Z, \quad (1)$$

где t_0 – основное время; E – стоимость минуты работы станка; $\tau_{см}$ – время, затрачиваемое на смену инструмента; S_T – затраты на инструмент за период стойкости; Z – количество деталей, обрабатываемых за период стойкости.

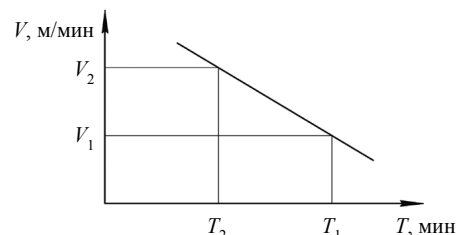
Исходя из приведенной выше целевой функции (1) можно определить оптимальное значение стойкости для каждого инструмента, которое рассчитывается по следующей зависимости:

$$T_{Cmin} = \lambda(1 - m_i)(\tau_{см} + S_T/E), \quad (2)$$

где λ – отношение длины резания к длине рабочего хода; m_i – коэффициент, учитывающий влияние скорости на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материала.

Для многоцелевых станков время на смену инструмента в большинстве случаев составляет несколько секунд, стоимость минуты работы таких станков (в связи с их большой стоимостью) составляет десятки рублей, затраты на инструмент незначительные, поэтому значения минимальных стойкостей, рассчитанные по зависимости (2) для инструментов, эксплуатируемых на многоцелевых станках, сместились в сторону небольших значений. Это привело к воз-

растанию значений скоростей резания (см. рис.), что явилось одной из причин широкого применения высокоскоростной обработки.



Зависимость стойкости инструмента от скорости резания

Для рассматриваемого примера значения стойкости каждого инструмента принимались по Общемашиностроительным нормативам режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы (с учетом ограничений на стойкость снизу), что соответствует обработке детали с наименьшими затратами. Расчет режимов резания производился при условии обслуживания станка оператором и замены инструмента по фактическому состоянию в соответствии с методикой, приведенной в справочнике «Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы» (М.: ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.).

Данные для расчета режимов резания и полученные результаты сведены в табл. 3. По значениям основного времени видно, что инструменты 1 (резец) и 2 (сверло) являются лимитирующими (доля основного времени данных инструментов занимает большую часть от основного времени обработки детали).

Таблица 3. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 1

№перех	№	m_i	T_i	$S_{об}$	V	n	S_m	t_p	t_0	Z_i
1	1	0,25	45	2,45	83	213	521	2,72	3,05	7,3
2				1,44	114	290	417	3,4	3,81	
3	2	0,25	15	0,16	36	1150	184	2,71	2,93	5,5
4	3	0,25	15	0,2	172	1100	220	1,36	1,38	11
5	4	0,25	30	0,1	84	1350	135	0,44	1,0	68
6	5	0,25	15	0,1	45	1430	143	0,13	0,69	115
Итого								10,76	12,86	

Обозначения: m_i – коэффициент, учитывающий влияние скорости на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материала; T_i – стойкость инструмента, мин.; $S_{об}$ – подача на оборот, мм/об; V – скорость резания, м/мин.; n – частота вращения, об/мин.; S_m – минутная подача, мм/мин.; t_p – время резания, мин.; Z_i – количество деталей, обрабатываемых за период стойкости (с учетом вероятности безотказной работы инструментов $p = 0,7$), шт.; t_0 – основное время, мин.; $Z_{пр}$ – принятое количество деталей за период стойкости, шт.

Рассчитаем норму штучного времени с учетом принятых режимов обработки на данную операцию крупнее по зависимости

$$T_{шт} = t_0(1 + a/100), \quad (3)$$

где a – процент потерь времени, включающий вспомогательные время, время на обслуживание, на отдых и личные потребности, подготовительно-заключительное время; примем $a = 30\%$.

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_0(1 + a/100) = 12,86 \cdot (1 + 30/100) = 16,72 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену определим по формуле

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K/T \text{ [шт.]} \quad (4)$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 16,72 = 25 \text{ [деталей]},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери времени в течение смены (плановые и внеплановые), принимаем $K = 0,9$.

Задача 2. Повысить эффективность обработки с точки зрения повышения производительности операции и экономии затрат

Так как после обработки партии деталей заменяется весь комплект инструментов, то произведем расчет режимов резания для всех инструментов с учетом партии запуска (40 шт.) и принятого количества деталей до замены $Z_{пр}$, которое принимаем кратным числом относительно партии запуска (см. табл. 4).

Таблица 4. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 2

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{пр}$
1	1	0,25	45	2,45	240	588	2,41	2,7	5
2				1,44	377	542	2,61	2,93	
3	2	0,25	15	0,16	1180	188	2,65	2,87	5
4	3	0,25	15	0,2	1130	226	1,32	1,34	10
5	4	0,25	30	0,1	1600	160	0,37	0,85	40
6	5	0,25	15	0,1	2020	202	0,09	0,49	40
Итого							9,45	11,18	

Изменение количества обрабатываемых за принятый период стойкости деталей повлияет на изменение скорости резания.

Данное влияние скорости резания на стойкость инструмента было положено в основу разработки всех отечественных справочных и нормативных материалов, используемых для расчетов режимов резания (см. рис.).

Частоту вращения шпинделя пересчитываем под принятое число деталей по формуле

$$n_{пр} = (Z_i / Z_{пр})^{m/(1-m)} n, \quad (5)$$

где m – степень влияния скорости резания на стойкость инструмента для соответствующего сочетания инструментального и обрабатываемого материалов.

Формула (5) была выведена на базе общеизвестной зависимости (см. рис.), учитывающей влияния скорости резания на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материалов (см.: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.).

Данные для расчета и результаты расчета режимов резания, а также количество принятых деталей приведены в табл. 4.

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 11,18 \cdot (1 + 30/100) = 14,53 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 14,53 = 29 \text{ [деталей]}.$$

Относительное увеличение производительности за смену составило 16 % с учетом минимальной себестоимости выполнения операции.

Соответственно, при большем количестве инструментов в наладке и уменьшении количества деталей в партии запуска производительность может быть увеличена в большей степени.

Задача 3. Повысить эффективность обработки операции при увеличении партии запуска (до 50 шт.)

Для увеличения производительности в данном случае можно, например, заменить один из лимитирующих инструментов – быстрорежущее сверло Ø10 (№ 2 в табл. 2) на сверло с пластинами из твердого сплава ВК8. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты, а также количество принятых деталей до замены инструментов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 3

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{пр}$
1	1	0,25	45	2,45	240	588	2,41	2,7	5
2				1,44	377	542	2,61	2,93	
3	2	0,4	15	0,12	2740	328	1,52	1,64	10
4	3	0,25	15	0,2	1100	220	1,36	1,38	10
5	4	0,25	30	0,1	1490	149	0,4	0,91	50
6	5	0,25	15	0,1	1880	188	0,1	0,53	50
Итого							8,4	10,09	

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 10,09 \cdot (1 + 30/100) = 13,11 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 13,11 = 33 \text{ [деталей]}.$$

Относительное увеличение производительности за смену составит 32 %.

Аналогичными действиями в отношении других инструментов (например, путем использования инструментов с покрытием и т. д.), можно добиться еще большего увеличения производительности.

Задача 4. Повысить надежность обработки при условии работы станка без участия оператора при той же партии запуска деталей (50 шт.)

В приведенных выше примерах режимы резания рассчитывались с учетом вероятности безотказной работы инструментов: $p = 0,7$. Это означало, что принятое количество деталей, обрабатываемое одним инструментом, гарантировалось только на 70 %, а инструмент мог отказать раньше, чем предполагалось.

При работе станка без участия оператора замена инструмента осуществляется согласно принятому регламенту, автоматически после отработанного заданного количества деталей $Z_{пр}$. Во избежание нештатных ситуаций требуется обеспечение надежности работы каждого инструмента с большой степенью вероятности ($p = 0,99$). В связи с вышеизложенным значения частот вращения шпинделя n_p

(и соответствующих им скоростей резания) были скорректированы с учетом поправочного коэффициента ($K_p = 0,75$, см.: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М. : ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.) для обеспечения заданной надежности ($p = 0,99$):

$$n_p = n \cdot K_p. \quad (6)$$

Данные для расчета режимов резания и полученные результаты, а также количество принятых деталей до регламентированной замены инструментов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 4

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{шт}$
1	1	0,25	45	2,45	180	441	3,21	3,6	5
2				1,44	282	406	3,49	3,91	
3	2	0,4	15	0,12	2050	246	2,03	2,19	10
4	3	0,25	15	0,2	820	164	1,82	1,85	10
5	4	0,25	30	0,1	1120	112	0,53	1,21	50
6	5	0,25	15	0,1	1410	141	0,14	0,71	50
Итого							11,22	13,47	

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 13,47 \cdot (1 + 30/100) = 17,51 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,95 / 17,51 = 26 \text{ [деталей]},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери времени (примем $K = 0,95$ с учетом повышения надежности работы комплекта инструментов за счет уменьшения вероятности случайных отказов инструмента).

В результате расчета произойдет снижение скоростей резания и производительности (за смену относительно предыдущего варианта расчета на 26 %), но при этом увеличится надежность работы каждого инструмента и комплекта инструментов в целом, что необходимо при условии работы станка без участия оператора и для обеспечения регламентированной замены инструментов.

При необходимости для сокращения затрат вспомогательного времени на операцию возможно дублирование лимитирующих инструментов в магазине станка, использование сменных столов и т. д.

Также данный расчет позволяет более точно прогнозировать расход инструмента и, соответственно, производить более обоснованный его заказ.

Рассмотренные примеры расчета режимов обработки для различных производственных ситуаций и условий производства подтверждают возможность повышения эффективности работы комплекта инструментов посредством оптимизации режимов обработки и рационального выбора инструмента.

D. S. Pahomov, PhD in Engineering, Nizhniy Novgorod State Technical University

A. B. Chuvakov, PhD in Engineering, Pavlovo branch of Nizhniy Novgorod State Technical University

Increasing the Efficiency of CNC Machining

Method of increasing the efficiency of CNC machining was proposed. The method is based on competent set of tools selection and optimum cutting conditions choice.

Key words: efficiency, optimization, productivity, reliability.

УДК 621.88.084

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Е. С. Чухланцев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЛИКОНТАКТНОГО НЕРАВНОЖЕСТКОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ

Экспериментально определена нагрузочная способность поликонтактных неравножестких соединений с натягом (ПКНС). Рассмотрены факторы, влияющие на величину нагрузочной способности ПКНС. Получена графическая зависимость величины нагрузочной способности от относительного положения деталей ПКНС.

Ключевые слова: соединения с натягом, нагрузочная способность, поликонтактные неравножесткие соединения с натягом.

Две серии экспериментов позволяют оценить влияние конструктивных параметров на нагрузочную способность (сопротивление осевому сдвигу) ПКНС. Прочность соединения в рамках

натурного эксперимента определяется путем измерения силы при распрессовке в посадке 1 (внешняя деталь – промежуточная деталь) и в посадке 2 (промежуточная деталь – внутренняя деталь), а также

вычисления контактных давлений. В заключение проводится сравнение данных вычислительного и натурального экспериментов по исследованию поликонтактных неравножестких соединений с натягом (рис. 1).

В зависимости от схемы конструктивного исполнения ПКНС может быть собрано с натягом или по переходной посадке, при этом натяг изменяется от $N_{\min} = 0$ (переходная посадка) до предельного значения N_{\max} , ограниченного физико-механическими свойствами материала деталей $\sigma_i = \sigma_T$.

Эксплуатация соединения в механизмах перекося [1] требует поворота деталей по абсолютному и относительному значениям, изменяющимся в пределах $0 \dots 360^\circ$ и более.

Для серии экспериментов по определению нагрузочной способности в зависимости от относительного положения сопрягаемых деталей соединения принято два варьируемых фактора: величины натягов зон посадок ПКНС и величины относительного поворота деталей соединения. Факторы регулировались минимальными и максимальными допустимыми значениями упругих деформаций для каждой из контактных зон. Такие параметры соединений, как длины деталей, диаметр внутренней детали, оставались детерминированными.

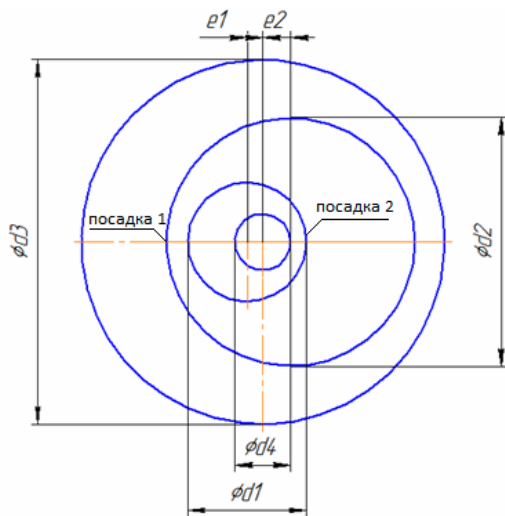


Рис. 1. Поликонтактное неравножесткое соединение с натягом: d_1 – диаметр внутреннего эксцентрика (вала); d_2 – диаметр промежуточного эксцентрика (промежуточная втулка); d_3 – диаметр наружного эксцентрика (втулка); d_4 – диаметр отверстия внутреннего эксцентрика (втулки); $e_1 \neq e_2$ – величина эксцентриситета внутреннего и промежуточного эксцентриков

Использование математических методов планирования и статистической обработки их результатов предполагается на всех этапах исследования для рациональной организации эксперимента, сокращения времени и затрат. Для получения представления о поверхности отклика факторов серий эксперимента запишем функцию в аналитическом виде. Контактное давление, которое в первом приближении можно определить по формуле Ламе – Гадолина [2], представим в виде

$$P_k = f(r_i, \theta_i, N_i, l_i), \quad (1)$$

где r_i – радиус деталей ПКНС в i -й момент времени работы соединения; θ_i – угол относительного поворота сопрягаемых деталей; N_i – величина натяга; l_i – длина сопрягаемых деталей.

Величина и соотношения размеров образцов были приняты на основе анализа практики применения соединений с натягом в промышленности [3–7], а также с учетом требований, предъявляемых к ПКНС в процессе эксплуатации. С учетом диаметра длина внутренней детали принята на уровне 60 мм. Диаметр отверстия в детали I равен 20 мм и необходим для размещения технологической оснастки (приводов). Для обеспечения жесткости детали I ее внешний диаметр принимаем равным 60 мм. В соответствии с рекомендациями общего машиностроения длина посадки принимается $L = 0,9d$.

В соответствии с дальнейшими эксплуатационными характеристиками соединения устанавливаемая на внутреннюю деталь промежуточная деталь имеет длину меньше, поэтому длина промежуточной детали принята на уровне 47 мм. Длина внешней детали, устанавливаемой на промежуточную деталь, также имеет меньшую длину, принятую на уровне 30 мм.

Материалом деталей принята конструкционная сталь 40 с последующей термообработкой – улучшением НВ 280-320. Качество наружных поверхностей деталей для натурального эксперимента принято на уровне высоты микронеровностей $Rz = 0,4 \dots 0,8$ мкм (седьмой квалитет). Качество внутренних поверхностей деталей для натурального эксперимента принято на уровне высоты микронеровностей $Rz = 2,6 \dots 2,8$ мкм (восьмой квалитет).

Для заданных размеров деталей рассчитывались величины натягов с помощью аналитической методики расчета с использованием зависимостей Ляме – Гадолина для условия $P_k \leq [\sigma_T]$. Для минимальных натягов необходимо выполнение условия неподвижности соединения. Критерием выбора максимальных натягов явилось удовлетворение условию нахождения контактных напряжений в зоне упругости. Расчетные значения натяга $N1$ (внутренняя деталь – промежуточная деталь) варьируются нижним пределом в 4 мкм и верхним пределом в 25 мкм. Для $N2$ (промежуточная деталь – внешняя деталь) эти значения, соответственно, 12 мкм и 51 мкм. Образцы деталей для экспериментального исследования представлены на рис. 2.

Детали по разработанным эскизам изготовлены совместно с отделом высоких технологий Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова. В соответствии с ГОСТ 3328–95 детали выполнены с требуемой твердостью, шероховатостью и точностью. Точность подбора натягов в цилиндрических соединениях обеспечивалась селективной подборкой в пределах допустимых отклонений.

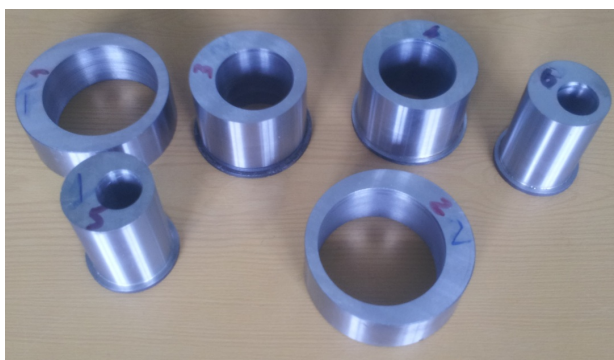


Рис. 2. Комплект деталей ПКНС для экспериментального исследования

Определение твердости образцов выполнено портативным твердомером TDM-3.

Выполнено также измерение микрогеометрии (шероховатости и профилограммы) деталей. Измерение выполнялось до сборки полисоединений на предмет удовлетворения требованиям эксперимента по шероховатости. С целью получения достоверной информации измерение шероховатости до сборки проводилось дважды: в Институте механики Уральского отделения РАН на приборе для контроля шероховатости «Профилометр цеховой 296» фирмы «АСМА-Прибор» (рис. 3). Измерение образцов производилось щуповым методом с восемью точками трассирования с длиной трассы 1,5 мм; стандарт измерения ISO.

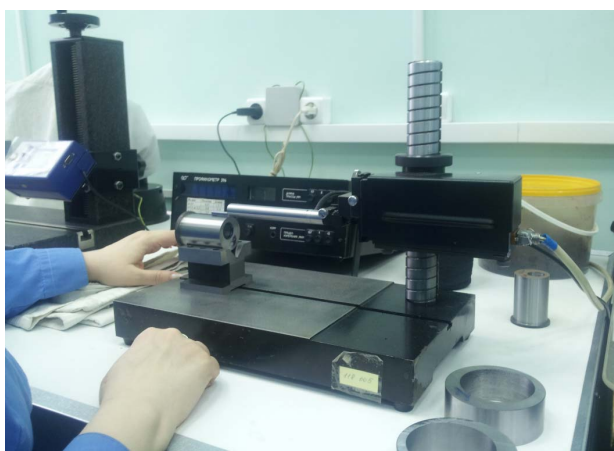


Рис. 3. Профилометр цеховой 296 фирмы «АСМА-Прибор» для контроля шероховатости

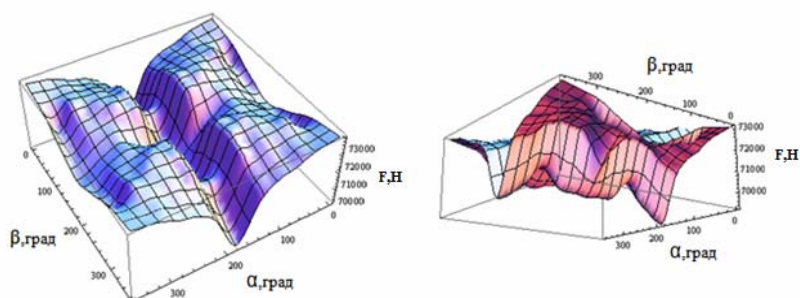


Рис. 4. Нагрузочная способность ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей по внешней поверхности

В соответствии с теорией измерений были выполнены обмеры посадочных поверхностей деталей на 3D координатно-измерительной машине *DuraMax* фирмы *Carl Zeiss*.

Натурный эксперимент проводился в следующей последовательности.

1. В нагревательной установке при температуре 300 °С в течение 8 мин. осуществляется нагрев комплекта подготовленных образцов промежуточной детали соединения.

2. Выполняется установка внутренней детали в отверстие нагретой промежуточной детали с необходимым базированием.

3. Собранное соединение выдерживается не менее 120 мин.

4. В нагревательную установку помещается комплект подготовленных образцов внешней детали соединения и выдерживается в течение 8 мин. при температуре 300 °С.

5. Выполняется установка собранного ранее соединения «внутренняя деталь – промежуточная деталь» в отверстие нагретой внешней детали с необходимым базированием.

6. Собранное соединение выдерживается не менее 120 мин.

7. Производится распрессовка деталей соединения с учетом усилий распрессовки и соответствующих ему перемещений. Сначала из соединения через специальное приспособление выпрессовывается внешняя деталь. Величина усилия распрессовки фиксируется, сигналы выводятся на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой – перемещение. По окончании сборки строится диаграмма распрессовки.

8. Осуществляется выпрессовка промежуточной детали через специальное приспособление. Величина усилия распрессовки фиксируется, сигналы выводятся на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой оси – перемещение. По окончании сборки строится диаграмма распрессовки.

9. Все полученные в ходе эксперимента данные документируются.

По данным натурального эксперимента по определению нагрузочной способности поликонтактного неравножесткого соединения построены графики поверхностей (рис. 4, 5).

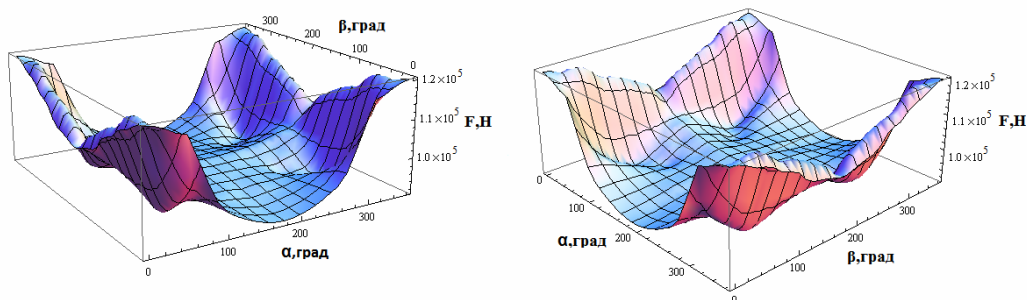


Рис. 5. Нагрузочная способность ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей по внутренней поверхности

С точки зрения эксплуатации с течением времени режимы нагружения ПКНС могут меняться. Следовательно, при использовании полученного ранее графика нагрузочной способности ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей (рис. 4, 5) можно выбирать оптимальные режимы нагружения соединения в процессе его дальнейшей эксплуатации, что позволяет, например, более точно назначить параметры проходки бурильной колонны.

Библиографические ссылки

1. Патент № 111878 РФ. Управляемый механизм перекося / Е. С. Чухланцев, А. В. Щенятский. – 2011.

2. Дарков А. В., Шниро Г. С. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1989. – 623 с.

3. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И. В. Абрамов [и др.]. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 300 с. – ISBN 5-7526-0114-2.

4. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 310 с.

5. Новиков А. Ф. Адаптивное управление процессом сборки продольно-прессовых соединений: дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2002. – 194 с.

6. Щенятский А. В. Напряженно-деформированное состояние и нагрузочная способность многослойных соединений с натягом: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1993. – 171 с.

7. Щенятский А. В. Теория и технология гидропрессовых соединений с натягом: дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2003. – 311 с.

A. V. Shchenyatskiy, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. S. Chukhlantsev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experimental Study the Load Capacity of Multiple-Contact Uneven Stiffness Interference Joints

The load capacity of multiple-contact uneven stiffness interference joints (MCUSJ) is determined experimentally. The factors influencing the load capacity of MCUSJ are considered. The diagram of load capacity versus the relative position of MCUSJ parts is obtained.

Key words: interference joint, load capacity, multiple-contact uneven stiffness interference joints.

ЭКОНОМИКА

УДК 332.8

Е. С. Журавлев, аспирант, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия

РАЗВИТИЕ ФИНАНСОВЫХ МЕХАНИЗМОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЖИЛИЩНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Систематизированы источники финансирования жилищных услуг на примере типового многоквартирного дома с учетом вероятности получения денежных средств. Произведенный расчет стоимости кредита на капитальный ремонт для типового дома показывает несостоятельность размера федерального стандарта на капитальный ремонт. В статье предпринята попытка создания системы финансового обеспечения капитального ремонта многоквартирного дома из разных источников финансирования.

Ключевые слова: капитальный ремонт, кредит, источники финансирования, федеральный стандарт, вероятность получения денежных средств.

Одна из самых насущных проблем жилищно-коммунального комплекса России – это критически изношенные основные фонды и хронический дефицит финансовых ресурсов. Для ее решения создается фонд капитального ремонта и вводится понятие минимального взноса, распределяемого между всеми собственниками жилых помещений соразмерно их доле, измеряемой, например, в квадратных метрах.

По предварительной оценке затрат суммы капитальных ремонтов в многоквартирных домах составляют десятки миллионов рублей, оплатить которые собственники жилых помещений смогут с использованием заемных средств.

Сделаем расчет потребности в кредите для производства работ по капитальному ремонту общедомового имущества. При кредите в 10 млн руб. под 20,1 % годовых на 10 лет, обслуживаемой площади жилья в 5000 м², обслуживаемом фонде в 100 квартир ежемесячный платеж с одной квартиры составит 1834,17 руб., или 36,68 руб./м².

При установленных федеральных стандартах затрат на капремонт в среднем по России на 2013 год – 6,4 руб., на 2014 год – 6,9 руб., а на 2015 год – 7,4 руб. реализация данного кредита невозможна [1]. Невозможен и льготный кредит под 10,5 % годовых, так как ежемесячный платеж за капремонт составит с одной квартиры 1321,51 руб., или 26,43 руб./м².

Осуществим обратный расчет потребности в кредите при существующем федеральном стандарте на капремонт и оценочно распределим величину кредита по возможным источникам финансирования (табл. 1).

Недостающая ориентировочная сумма на все работы по дому в среднесрочном периоде 10 лет составит 10000000 – 1745000 = 8255000 руб. Распределим эту сумму на различные источники финансирования.

Авторы Е. В. Арсенова, А. Н. Кириллова, С. Е. Кован, О. Г. Крюкова, А. Н. Ряховская приводят возможные источники финансирования: средства Фонда содействия реформированию ЖКХ; средства Центра

по модернизации коммунальной инфраструктуры ВЭБ; бюджетные средства города; средства различных институциональных инвесторов; кредиты банков; собственные средства предприятий; средства собственников жилых и нежилых помещений [2, с. 132].

Таблица 1. Определение суммы кредита в зависимости от размера установленных федеральных стандартов затрат на капремонт типового многоквартирного дома общей площадью 5000 м²

	2013 год	2014 год	2015 год
Размер установленных федеральных стандартов затрат на капремонт, руб./м ²	6,4	6,9	7,4
Сумма ежемесячного сбора, руб.	32000	34500	37000
Срок кредита, лет	10	10	10
Процентная ставка, %	20,1	20,1	20,1
Сумма кредита, руб.	1745000	1881000	2017000

Однако бюджетные средства могут быть как возвратные, предоставляемые через государственные фонды поддержки под определенный процент, так и невозвратные в виде субсидий, дотаций по федеральным, региональным, муниципальным программам. Необходимо внести дополнительный фактор в виде вероятности получения денежных средств с целью дальнейшего планирования бюджета отдельного дома и всех домов, находящихся под управлением управляющей организации (табл. 2).

Собственными средствами дома можно покрыть ежемесячный платеж на сумму 76350 руб. Общая сумма заемных средств составит 3745000 руб. Чтобы произвести работы на 10 млн руб., собственникам помещений необходимо будет дополнительно финансировать капитальный ремонт.

Таким образом, учитывая социальную значимость, потребность в значительных финансовых ресурсах, экономическую целесообразность капитального ремонта и сроки его проведения, целесообразно создание системы, в которой возможными источни-

ками финансирования могут быть: средства Фонда содействия реформированию ЖКХ, бюджетные средства города, средства различных институцио-

нальных инвесторов, кредиты банков, собственные средства предприятий, средства собственников жилых помещений.

Таблица 2. Источники финансирования в год типового многоквартирного дома общей площадью 5000 м²

Источник финансирования	Сумма, руб.	Сумма ежемесячного платежа, руб.	Вероятность получения с учетом наличия неплательщиков, %	Примечание
Собственные средства				
Платежи населения (текущий ремонт 1,87 руб./м ²)	112200	9350	95 %	х
Платежи населения (капитальный ремонт 6,4 руб./м ²)	384000	32000	95 %	х
Платежи населения под целевые сборы	100000	8333	30 %	Дополнительные услуги
Прибыль	120000	10000	95 %	От аренды общедомового имущества (подвалов, стен домов для рекламы, провайдеров)
Снижение издержек	50000	4166	95 %	Проведение конкурсов на подрядные работы и на услуги, энергосбережение
Реструктуризация дебиторской и кредиторской задолженности	150000	12500	70 %	Договоры цессии с ресурсоснабжающими организациями, коллекторские агентства, отключения должников
ИТОГО	916200	76350	х	х
Заемные средства				
Банковские кредиты	1745000	32000	30 %	Для производства работ по капитальному ремонту под гарантию фонда капитального ремонта
Средства различных финансовых учреждений (пенсионные фонды, страховые и инвестиционные компании)	1755000	32190	1 %	Установка оборудования в рассрочку, производство работ с оплатой по графику в течение 1-3 лет, лизинг
Федеральный бюджет	4000000	73367	1 %	Для производства работ по капитальному ремонту под гарантию фонда капитального ремонта
Региональный бюджет	2000000	36683	10 %	Для производства работ по капитальному ремонту под гарантию фонда капитального ремонта
Муниципальный бюджет	500000	9170	10 %	Для производства работ по капитальному ремонту под гарантию фонда капитального ремонта
ИТОГО	10000000	183410	х	х
В том числе привлеченные средства				
Федеральный бюджет	4000000	х	0,01 %	В соответствии с ФЗ № 185 (фонды поддержки, дотации, субсидии, программы)
Региональный бюджет	2000000	х	0,01 %	В соответствии с ФЗ № 185 (фонды поддержки, дотации, субсидии, программы)
Муниципальный бюджет	500000	х	0,10 %	В соответствии с ФЗ № 185 (фонды поддержки, дотации, субсидии, программы)
Другие источники				
Налоговые льготы	50000	х	1 %	Участвовать в конкурсах на выделение налоговых льгот
Гранты	100000	х	1 %	Участие в научной деятельности и др.

Библиографические ссылки

1. О федеральных стандартах оплаты жилого помещения и коммунальных услуг на 2013–2015 годы : Постановление Правительства РФ от 21 февраля 2013 года № 146. – URL: <http://www.rg.ru/2013/02/25/standarti-dok.html> (дата обращения: 31.03.2013 г.).

2. Финансирование жилищно-коммунального комплекса: современные тенденции и перспективы : монография / Е. В. Арсенова, А. Н. Кириллова, С. Е. Кован, О. Г. Крюкова, А. Н. Ряховская [и др.]. – М. : Финакадемия, 2008. – 192 с.

E. S. Zhuravlev, Post-graduate, Izhevsk State Agricultural Academy

Development of Financial Mechanisms for Problem Solution in the Housing Sector

Funding sources of housing services have been systematized by the example of standard apartment building, with allowance for probability of funds receipt. Calculation of credit cost for capital repair of typical apartment building reveals insufficiency of approved federal norm for capital repair. An attempt is made to develop a system for financial funding of capital repair of apartment building using various funding sources.

Key words: capital repair, funding sources, housing sector, housing and communal services.

УДК 338.2

Д. М. Гаджикурбанов, доктор экономических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

С. Ю. Ильин, кандидат экономических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Статья посвящена интегральному подходу к оценке эффективности интенсификации сельского хозяйства.

Ключевые слова: интенсификация, показатели эффективности интенсификации сельского хозяйства, эффективность, сельское хозяйство.

Сельское хозяйство является одной из крупнейших отраслей экономики, значение которой определяется тем, что в ней создается в пределах одной четверти валового общественного продукта, две трети из которой составляет производство продуктов питания, пользующихся первичным спросом у населения, то есть роль сельского хозяйства состоит прежде всего в решении одной из важнейших общегосударственных и общемировых (глобальных) проблем – продовольственной проблемы. Кроме того, сельское хозяйство играет ключевую роль в обеспечении населения страны продукцией непродовольственного назначения. Стоит также отметить интегрирующую роль сельского хозяйства в системе, где его предназначение заключается в обеспечении необходимой продукцией перерабатывающих отраслей, отраслей торговли и питания и доходами отраслей, создающих для него требующиеся средства производства. Поэтому развитие сельского хозяйства должно быть одним из приоритетных направлений в реализации экономического потенциала страны и составляющих ее регионов.

Развитие сельского хозяйства наряду с другими отраслями экономики невозможно без эффективного использования занятыми в нем хозяйствующими субъектами различных факторов, особенно имеющих отношение к его внутренней среде, к которой относятся ресурсы, технологии, организационно-управленческий механизм. Причем в настоящее время, в период научно-технических достижений, большое значение имеет эффективное использование данных факторов на интенсивной основе, то есть за счет их качественного совершенствования, означающего повышение производительности живого и овеществ-

ленного труда при наименьших затратах. Ввиду ключевой роли качественных характеристик в эффективном функционировании сельского хозяйства дальнейшее наше внимание будет сосредоточено на показателях эффективности интенсификации данной отрасли экономики.

К показателям эффективности интенсификации сельского хозяйства ученые-экономисты относят следующие.

1. Объем продукции и прибыли от ее реализации (в руб.) на 1 руб. производственных затрат в целом и по отдельным элементам и статьям.

2. Объем продукции и прибыли от ее реализации (в руб.) на 1 руб. производственных ресурсов в целом и по отдельным группам и видам.

3. Объем продукции и прибыли от ее реализации (в руб.) на 1 чел.-час или 1 чел.-день.

4. Объем продукции и прибыли от ее реализации (в руб.) на 1 га или 100 га земельных ресурсов (сельскохозяйственных угодий, пашни, посевов).

5. Объем продукции и прибыли от ее реализации (в руб.) на 1 гол. или 1 усл. гол. скота [1, 2].

Также исследователями сельскохозяйственных вопросов большое внимание уделяется показателям интенсивности как факторному показателю эффективности интенсификации, показателями которой являются:

1. Производственные затраты в целом и по отдельным элементам и статьям (в руб.) на 1 га или 100 га земельных ресурсов (сельскохозяйственных угодий, пашни, посевов).

2. Затраты живого труда (в чел.-час. или чел.-днях) на 1 га или 100 га земельных ресурсов (сельскохозяйственных угодий, пашни, посевов).

3. Среднегодовая стоимость производственных ресурсов в целом и по отдельным группам и видам (в руб.) на 1 га или 100 га земельных ресурсов (сельскохозяйственных угодий, пашни, посевов).

4. Среднегодовое поголовье скота (в усл. гол.) на 1 га или 100 га земельных ресурсов (сельскохозяйственных угодий, пашни, посевов) [1].

Авторы согласны с тем, что интенсификация зависит от интенсивности, так как результативность не может существовать без затратности, но в то же время имеют свою собственную точку зрения на понимание процесса интенсификации, а именно:

1. Интенсификация означает не рост, а прирост результата, поэтому является лишь составным элементом эффективности.

2. Интенсификация должна достигаться главным образом за счет интенсивных показателей.

3. Интенсификацию определяют показатели затратности потребления ресурсов и вытекающие из них обратно пропорциональные показатели (показатели отдачи), а также другие подобные факторные показатели.

Из данных рассуждений видно, что не стоит ставить знак равенства между эффективностью и интенсификацией, а к ее факторам относить лишь наличие ресурсов. Следовательно, требуется более совершенный подход, позволяющий объективно оценивать эффективность интенсификации сельского хозяйства с учетом всех элементов среды, имеющих непосредственное отношение к деятельности занятых в нем хозяйствующих субъектов.

Авторский подход к оценке эффективности интенсификации сельского хозяйства сводится, во-первых, к учету ресурсов, реально вовлеченных в процесс хозяйственной деятельности, иначе говоря, не примененных, а потребленных ресурсов в течение определенного периода времени; во-вторых, к учету затрат на использование технологий и организацию деятельности, осуществляемых в течение аналогич-

ного временного интервала. Такой подход позволяет дать комплексную оценку эффективности интенсификации, поскольку в этом случае можно получить конечную обобщенную информацию о том, насколько интенсивные показатели способствуют улучшению результата хозяйствующих субъектов, занятых в сельском хозяйстве.

Согласно авторскому подходу система показателей эффективности интенсификации сельского хозяйства должна быть представлена в следующем виде.

1. Прирост объема продукции (в руб.) за счет изменения показателей эффективности использования ресурсов в растениеводстве и животноводстве.

2. Экономия затрат (в руб.) за счет изменения показателей эффективности использования ресурсов в растениеводстве и животноводстве.

3. Прирост объема продукции (в руб.) за счет изменения показателей эффективности использования технологий в растениеводстве и животноводстве.

4. Экономия затрат (в руб.) за счет изменения показателей эффективности использования технологий в растениеводстве и животноводстве.

5. Прирост объема продукции (в руб.) за счет изменения показателей эффективности организации деятельности в растениеводстве и животноводстве.

6. Экономия затрат (в руб.) за счет изменения показателей эффективности организации деятельности в растениеводстве и животноводстве.

Предложенный авторами подход соответствует объективному пониманию интенсификации и позволяет в комплексе оценить ее эффективность в целом по сельскому хозяйству, а также в растениеводстве и животноводстве.

Библиографические ссылки

1. Коваленко Н. Я. Экономика сельского хозяйства. – М., 1998. – 448 с.
2. Экономика сельского хозяйства / под ред. В. А. Добрынина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 476 с.

D. M. Gadzhikurbanov, DSc in Economics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
S. Yu. Ilyin, PhD in Economics, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Comprehensive Assessment of Agriculture Intensification Effectiveness

The article is devoted to the integral approach to the estimation of the efficiency of agriculture intensification.

Key words: intensification, indicators of the efficiency of agriculture intensification, efficiency, agriculture.

УДК 622.323

Ю. Л. Ким, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В НЕФТЯНОЙ КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «ТАТНЕФТЬ»)

Рассмотрено стратегическое планирование на примере нефтяной компании ОАО «Татнефть», которая является одной из крупнейших отечественных нефтяных компаний, осуществляющая свою деятельность в статусе вертикально интегрированной группы. Для формирования стратегии нефтяная компания «Татнефть» в качестве целей выделяет следующие условия: обеспечение устойчивого роста производственного потенциала и осуществление комплексной рационализации управления компанией. Также определены приоритетные направления: инвестиционная политика, управление рисками, управление финансами, управление инвестициями и персоналом.

Ключевые слова: стратегическое планирование, инвестиционная политика, управление рисками.

ОАО «Татнефть» – одна из крупнейших отечественных нефтяных компаний, осуществляющая свою деятельность в статусе вертикально интегрированной группы.

В состав группы входят:

- нефтегазодобывающие производства (НГДУ, ЗАО «Татнефть – Самара» и др.);
- нефтегазоперерабатывающие производства («Татнефтегазпереработка», ОАО «ТАНЕКО»);
- нефтехимические производства;
- предприятия по реализации нефти, газа, нефтегазопродуктов и нефтехимии;
- блок сервисных структур.

Наряду с укреплением ресурсной базы и повышением объемов добычи к приоритетным задачам компании относятся:

- развитие нефтегазоперерабатывающих мощностей;
- расширение рынков сбыта нефти, газа и нефтехимической продукции;
- рост сети АЗС под корпоративным брендом.

Значимое конкурентное преимущество ОАО «Татнефть» составляет комплекс нематериальных активов, включающий в себя уникальные технологии и ноу-хау в области разработки месторождений, нефтегазодобычи и т. д.

Можно выделить четыре основных вида управленческой деятельности в рамках процесса стратегического планирования:

- распределение ресурсов, в основном ограниченных, таких как фонды, управленческие таланты, технологический опыт;
- адаптация к внешней среде;
- внутренняя координация (координация стратегической деятельности для отображения сильных и слабых сторон фирмы с целью достижения эффективной интеграции внутренних операций);
- осознание организационных стратегий (осуществление систематического развития мышления менеджеров путем формирования организации, которая может учиться на прошлых стратегических ошибках, т. е. способность учиться на опыте) [1].

Процесс стратегического планирования на предприятии ОАО «Татнефть» включает в себя осуществление следующих взаимосвязанных функций:

- 1) определение долгосрочной стратегии, основных целей и задач развития предприятия;
- 2) создание стратегических хозяйственных подразделений на предприятии;
- 3) обоснование и уточнение основных целей проведения маркетинговых исследований рынка;
- 4) осуществление ситуационного анализа и выбор направления экономического развития предприятия;
- 5) разработка основной стратегии маркетинга и укрупненное планирование производства продукции;
- 6) выбор тактики и уточненное планирование способов и средств достижения поставленных задач;
- 7) контроль и оценка основных результатов, корректировка выбранной стратегии и способов ее реализации [2].

Для формирования стратегии компания «Татнефть» в качестве целей выделяет следующие: обеспечение устойчивого роста производственного потенциала и осуществление комплексной рационализации управления компанией. К направлениям политики для формирования стратегии можно отнести: рост производства и структурную политику; наращивание рентабельных запасов; программу инвестиций; повышение эффективности производственно-сбытовой деятельности; комплексную рационализацию управления; развитие финансового менеджмента и маркетинга; изменения в стимулах труда и стиля управления. Долгосрочная стратегия нацелена на определение совокупности действий, которые компания ОАО «Татнефть» выбирает не изолированно, а в условиях сильного внешнего влияния различных контрагентов. Во-первых, это хозяйствующие субъекты нефтегазового комплекса, имеющие свою конкурентную позицию и собственные стратегические планы. Во-вторых, энергопотребители нефти, газа и нефтепродуктов со своими производственно-финансовыми проблемами и корпоративными интересами. В-третьих, это государственные органы контроля и управления, в частности,

Минэнерго, Минприроды, Федеральная энергетическая комиссия, Антимонопольный комитет и другие, которые представляют и отстаивают интересы государства [3].

Стратегическое планирование в ОАО «Татнефть» строится на методах экономической вероятности, в том числе управленческой диагностики и бизнес-планирования.

Инвестиционная деятельность компании осуществляется в соответствии со стратегией развития группы ОАО «Татнефть» и направлена на решение следующих задач:

- повышение рентабельности добычи нефти;
- улучшение структуры и увеличение объемов запасов;
- добыча высоковязкой нефти на территории Республики Татарстан;
- внедрение прогрессивных технологий разработки месторождений и новейших методов ПНП;
- диверсификация производства и увеличение объемов реализации продукции за счет развития собственной нефтегазопереработки и нефтехимического блока;
- развитие розничной сети АЗС;
- реализация проектов в особой экономической зоне «Алабуга»;
- обеспечение высокого уровня корпоративной социальной ответственности.

Выводы

Данное исследование позволяет сделать вывод о том, что стратегическое планирование в ОАО «Татнефть» определяется в соответствии с целями и долгосрочной стратегией компании. Определение страте-

гических направлений деятельности постоянно требует соответствующей инвестиционной и финансовой составляющих, обеспечивающих реализацию товарно-рыночной стратегии. Приоритетными направлениями являются: инвестиционная политика, управление рисками, управление финансами, управление инвестициями и персоналом. Формулирование инновационных стратегий компании требует огромных усилий и соответствующего высокопрофессионального менеджмента для проведения прогнозно-аналитических исследований технико-технологического уровня во всех собственных производственных звеньях, конкурирующих фирмах, компаниях смежных отраслей, а также мировых тенденций развития фундаментальных и поисковых исследований, исследований отраслевого научно-технического комплекса, мирового рынка научно-технической продукции и т. д. Проведение такой работы позволит ОАО «Татнефть» предвидеть различные сценарии развития, ставить реалистичные цели и строить соответствующие планы технологического развития и развития собственного научно-технического потенциала с целью дальнейшего обеспечения устойчивого продвижения вперед в долгосрочной перспективе.

Библиографические ссылки

1. Руденко А. И. Стратегическое планирование на предприятии : учеб. пособие для вузов. – Симферополь, 1997.
2. Шершинева З. Е., Оборская С. В. Стратегическое управление. – Киев : КЭНУ, 1999.
3. Сайт отраслевой экономики России – URL: brancheconomy.info

Yu. L. Kim, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Strategic Planning in the Oil Company (by the Example of OJSC “Tatneft”)

This article considers the strategic planning by the example of the oil company OJSC «Tatneft», which is one of the largest domestic oil companies, operating as a vertically integrated group. For the formation of the strategy of the oil company OJSC «Tatneft» the following conditions are identified as objectives: ensuring the sustainable growth of the production capacity and implementing the comprehensive rationalization of the company management. The priority areas are also identified: investment policy, risk management, financial management, investment and staff management.

Keywords: strategic planning, investment policy, risk management.

УДК 51-7:330.4

С. А. Тонких, кандидат экономических наук, Глазовский инженерно-экономический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИИ РАЗНООБРАЗИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ВЫБОРА И ПРОЦЕССОРНОГО ПОДХОДА

Исследование темпоральной динамики в экономике осуществляется различными способами. В статье рассматриваются варианты на основе функции разнообразия потребительского выбора и процессорного подхода.

Ключевые слова: темпоральная динамика, процессорный подход, функция разнообразия потребительского выбора, динамические нормативы, эталонная динамика показателей.

Метод динамического норматива находит все большее применение в различных экономических процессах. Динамический норматив является частным случаем темпоральной динамики, которая характеризует интенсивность развития каких-либо экономических объектов и процессов. Исследование темпоральной динамики в экономике может осуществляться различными способами. Рассмотрим вариант на основе функции разнообразия потребительского выбора.

Функция разнообразия потребительского выбора в экономике оценивает размах выбора, его потенциал через прямой подсчет количества вариантов выбора, допускаемых некоторым набором благ: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Функция разнообразия

$$H(x) = -\lambda \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

может быть построена не на основе комбинаторного формализма, к которому приводит схема коллективного выбора, а с помощью формализма теории вероятностей.

Так, если вероятности выбора единицы блага i есть P_i , то для последовательного выбора x_i единиц свойственна вероятность $P_i^{x_i}$. Составу $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ соответствует вероятность, равная величине

$$P_i^{x_1} P_i^{x_2} \dots P_i^{x_n}, \quad (1)$$

где $P_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$.

Прологарифмируем выражение и получим:

$$H^*(x) = \sum_{i=1}^n x_i \ln P_i = \lambda \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i. \quad (2)$$

Здесь

$$\lambda = \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3)$$

Таким образом, $H(x) = -H^*(x)$. Величины P_i можно понимать как вероятностные приоритеты при

выборе благ из состава x . Если, например, $P_i > P_j$, то это означает, что выбор единицы i -го блага предпочтительнее, чем выбор единицы блага j . Вероятности P_i согласованы со строением состава $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, так как выполняется условие (1).

Однако ЛППР (лицо, принимающее решения) может априорно установить другие вероятностные приоритеты $\tau_i \neq P_i$, например, через воздействие на процедуру выбора благ.

Тогда вероятность выбора состава x станет равной величине

$$\tau_1^{x_1} \tau_2^{x_2} \dots \tau_n^{x_n}. \quad (4)$$

Логарифмируя (4) и учитывая (3), получаем:

$$H^{**}(x) = \lambda \sum_{i=1}^n P_i \ln \tau_i. \quad (5)$$

Будет $H^{**}(x) < H^*(x)$, и, следовательно, вероятность (4) меньше, чем вероятность (1).

Действительно,

$$\tilde{H}(x) = H^*(x) - H^{**}(x) = -\lambda \sum_{i=1}^n P_i \ln \frac{\tau_i}{P_i} \geq 0,$$

что было установлено ранее.

Величину $\tilde{H}(x)$ можно назвать дефектом выбора, связанным с переходом от вероятностей P_i к вероятностям τ_i . Дефект выбора порождает реальные дополнительные издержки, так как в силу неравенства $H^* > H^{**}$ необходимо увеличить число вариантов возможного выбора, чтобы факт выбора оставался достоверным событием.

При этом уменьшение вероятности реализации отдельного варианта выбора состава x компенсируется возрастанием числа таких вариантов, в силу чего общая вероятность осуществления (выбора и потребления) состава благ x , равная сумме вероятностей отдельных вариантов выбора, остается приблизительно равной единице. Если дополнительные варианты выбора предполагать не только виртуаль-

ными, но и фактически возможными, то станет необходимо создавать для этого соответствующие организационные и материальные условия, что и ведет к росту общих затрат.

В силу сказанного желательно устранить дефект выбора. Этот дефект исчезает, если $\tilde{H} = 0$. Или

$$\frac{P_1}{\tau_1} = \frac{P_2}{\tau_2} = \dots = \frac{P_n}{\tau_n} = 1.$$

Иначе говоря, должны выполняться условия:

$$\frac{x_1}{\tau_1} = \frac{x_2}{\tau_2} = \dots = \frac{x_n}{\tau_n} = \lambda. \tag{6}$$

Переменный параметр λ далее не учитывается.

Имея в виду, что $x_i = \frac{y_i}{A_i} K_i^+$, можно записать

$$\frac{Z_i}{A_i} \frac{y_i}{Z_i} K_i^+ = x_i = q_i h_i K_i^+,$$

где $q_i = \frac{Z_i}{A_i}$ – начальный уровень насыщения потребности в благе i ;

$h_i = \frac{y_i}{Z_i} = \frac{Z_i + \Delta Z_i}{Z_i}$ – темп изменения выпуска блага i .

Масштабирующая константа K_i^+ должна рассматриваться как один из факторов, определяющих приоритетность выбора единицы блага i . Действительно, положим, $\gamma_i = \frac{1}{K_i^+}$. Тогда

$$\frac{q_i h_i K_i^+}{\tau_i} = \frac{q_i h_i}{\tau_i \gamma_i} = \frac{q_i h_i}{\tau_i^+}. \tag{7}$$

Здесь $\tau_i^+ = \tau_i \gamma_i$ – обобщенный показатель приоритетности выбора единицы блага i .

В конечном итоге имеем условия:

$$\frac{q_1}{\tau_1^+} h_1 = \frac{q_2}{\tau_2^+} h_2 = \dots = \frac{q_n}{\tau_n^+} h_n. \tag{8}$$

Общая схема темпоральной динамики в соответствии с (8) будет такой:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \frac{q_i}{\tau_i^+} > \frac{q_j}{\tau_j^+}, \text{ то } h_i < h_j; \\ \text{если } \frac{q_i}{\tau_i^+} = \frac{q_j}{\tau_j^+}, \text{ то } h_i = h_j; \\ \text{если } \frac{q_i}{\tau_i^+} < \frac{q_j}{\tau_j^+}, \text{ то } h_i > h_j. \end{array} \right. \tag{9}$$

Рассмотренный подход к формированию темпоральных порядков показывает, что последние имеют достаточное теоретико-модельное обоснование.

Однако на практике подобные подходы применить затруднительно из-за высокого уровня вербальности соответствующих моделей. Поэтому на практике следует использовать более операциональные подходы, например, процессный подход, который рассматривается далее.

Важнейшей функцией экономики является «преобразование ресурсов и накопленных в системе знаний в удовлетворенные общественные потребности» (см. [1, с. 8]). Из цитированной выдержки видно, что центральную смысловую нагрузку в этой фразе имеет слово «преобразование». И действительно, все народное хозяйство представляет собой сеть преобразователей – процессоров, которые на своих входах имеют определенные материальные ресурсы, труд и информацию, а на выходе – некоторые полезные результаты разной степени готовности.

Схематично процессор можно представить следующим образом (рис. 1):

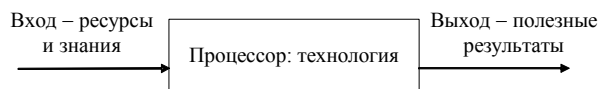


Рис. 1. Принципиальная схема экономического процесса

Процессоры могут иметь неявную форму. Например, при синтезе представительных финансовых характеристик деятельности фирмы происходит преобразование единичных показателей в сводные. Это можно рассматривать как результат функционирования неявного процессора, хотя как отдельное звено (или звенья) в структуре фирмы он не очевиден.

Характерной особенностью является то, что устройство процессора – технология – большого самостоятельного значения не имеет. Достаточным считается лишь наличие свойства возрастающей результативности процессора, которое обусловлено фундаментальными основами экономики как сферы человеческой деятельности.

В самом общем виде результативность записывается как отдача используемых ресурсов, составляющих затраты, то есть в виде отношения

$$\frac{u}{v}, \tag{10}$$

где u – результаты экономической деятельности; v – использованные для получения u затраты ресурсов.

Величины u и v не обязательно приводить к соизмеримому виду. Экономическая теория в ее современном варианте исходит из предпосылки о ненасыщаемости общественных потребностей, удовлетворение которых может быть лишь частичным, и ограниченности ресурсов, преобразуемых в средства удовлетворения потребностей, то есть блага. В этих условиях оптимальная стратегия экономического роста должна иметь составной частью увеличение результативности народного хозяйства. Достаточным условием роста народнохозяйственной результативности, очевидно, является увеличение