

УДК 621.73; 621.01

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОТРЕЗКИ ХОЛОДНОШТАМПОВОЧНОГО АВТОМАТА

Телегин В.В.

ФБГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
Липецк, e-mail: vv.telegin@yandex.ru

Работоспособность холодновысадочного автомата зависит от точности позиционирования звеньев механизмов, выполняющих операции транспортировки заготовок между штамповочными позициями. Механизм отрезки осуществляет отделение заготовки от прутка и перенос её на первую штамповочную позицию. Высокая скорость движения звеньев и резкий сброс технологической нагрузки при завершении операции отрезки приводит к возникновению колебательных процессов в механизме. В статье рассматривается методика исследования динамики механизма отрезки на основе разработанного автором программного комплекса, позволяющего автоматизировать процесс создания математической модели и расчёта на её основе перемещений, скоростей, ускорений звеньев механизма, нагрузок в них с учётом их упруго-инерционных свойств, технологических и конструктивных сил, диссипации энергии и зазоров в кинематических парах. Статья может быть полезна специалистам, занимающимся проектированием высокоскоростных циклических механизмов.

Ключевые слова: кулачковый механизм, динамическая модель, жёсткость, момент инерции, зазор в кинематической паре, динамическая нагрузка

DYNAMIC ANALYSIS OF MECHANISM CUTTING FOR AUTOMATON COLD PRESSING

Telegin V.V.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: vv.telegin@yandex.ru

The performance of automaton cold pressing depends on the accuracy of positioning parts of mechanisms performing transport operations of blanks between positions of stamping. Cutting mechanism provides separation blank from the rod and transfer it to the first position of the stamping. The high speed of parts and sharp reset technological loading after finishing cutting operation leads to the appearance oscillatory processes in the mechanism. The article deals with technique of investigation of the dynamics of the cutting mechanism based software package developed by the author, allowing to automate the process of creating a mathematical model and calculation values displacements, velocities, accelerations parts of mechanism, loads in them considering their elastic-inertial properties, technological and structural forces, energy dissipation and clearances in kinematic pairs. The article is of interest to specialists involved in the design of high-speed cyclic mechanisms.

Keywords: cam mechanism, dynamic model, rigidity, moment of inertia, clearances in the kinematic pairs, dynamic load

Анализ причин отказов кузнечно-штамповочных автоматов (ХША) показывает, что в большинстве случаев в их основе лежат динамические (колебательные) процессы, интенсивность которых резко возрастает с увеличением скорости эксплуатации оборудования [1, 2, 4].

Методика исследования динамических процессов, протекающих в механизмах различного назначения, реализована автором в системе *dam* (динамический анализ механизмов) [3, 4–6]. Цель её создания – полная автоматизация построения динамической, математической моделей исследуемого механизма и их программная реализация на основе методов объектно-ориентированных технологий [3, 6, 8].

Система *dam* предоставляет широкие возможности, связанные с управлением входными параметрами механизма и вариацией его параметров (упруго-инерционных, силовых, конструктивных), вычислительным процессом.

Результатами выполнения исследования механизма в системе *dam* являются:

1. Расчёт и построение зависимостей изменения во времени кинематических характеристик звеньев механизмов и нагрузок в них.

2. Расчёт значений таких показателей работоспособности механизма, как точность позиционирования его звеньев, максимальных, средних и среднеквадратичных значений нагрузок, скоростей и ускорений в зависимости от скорости работы и степени износа кинематических пар.

3. Анализ влияния на работоспособность механизма значений масс и жёсткостей звеньев, точности изготовления и типа закона профилирования дорожек кулачков, характеристик конструктивных и технологических нагрузок, сил трения и диссипации энергии.

В работе приводятся результаты исследования в системе *dam* (рис. 1) динамических процессов, влияющих на точность позиционирования исполнительного звена механизма отрезки гачного пятипозиционного холоднштамповочного автомата АВ1818 (рис. 2), выполняющего функции не только отделения заготовки от прутка,

но и переноса её на первую штамповочную позицию. Модель исследуемого механизма (рис. 3) включает 11 объектов: ремённая передача, вал приводной, зубчатая передача, вал главный или эксцентриковый, зубчатая передача, вал распределительный, зубчатая передача, вал кулачковый, кулачковый механизм, верхнее плечо рычага

прямого хода и ножевой шток. Исходными данными для выполнения динамических расчётов являются упруго-инерционные свойства элементов исследуемого изделия, силы (диссипации, трения, конструктивные и технологические), зазоры в кинематических парах, параметры точности изготовления высших пар (кулачков).

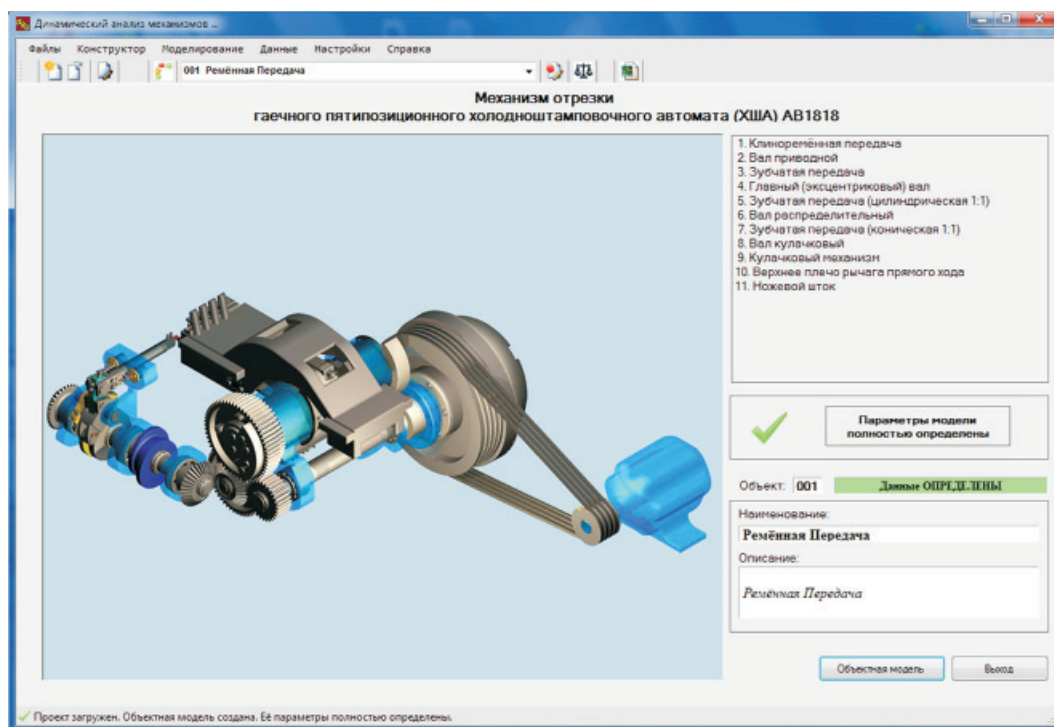


Рис. 1. Главное окно системы *dam*: проект «Исследование динамики механизма отрезки ХША АВ1818»

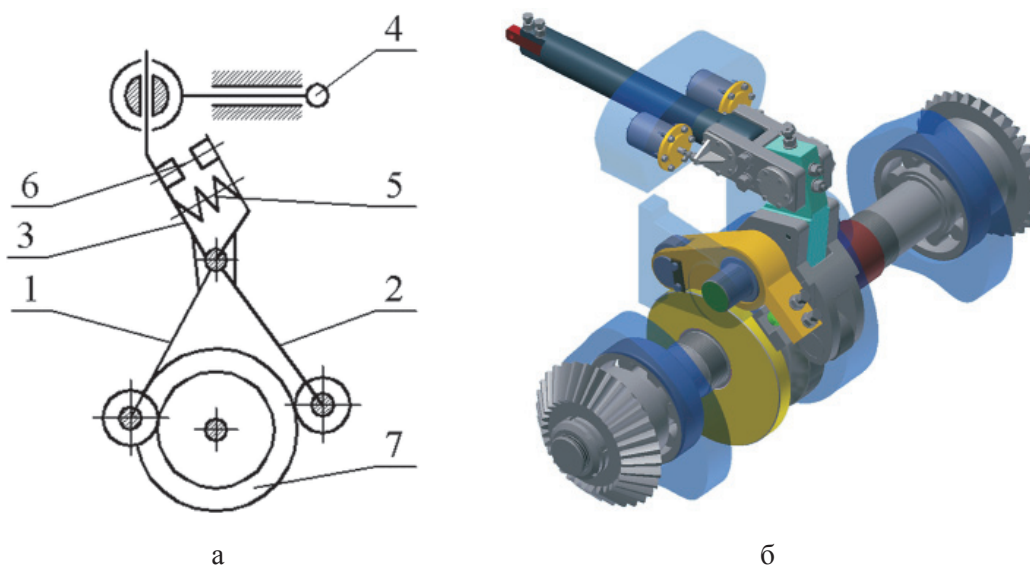


Рис. 2. Механизм отрезки холоднштамповочного автомата АВ1818:
а – кинематическая схема; б – твердотельная модель;

1 – рычаг прямого хода; 2 – рычаг обратного хода; 3 – рычаг; 4 – исполнительное звено;
5 – пружина; 6 – регулируемый зазор; 7 – блок кулачков

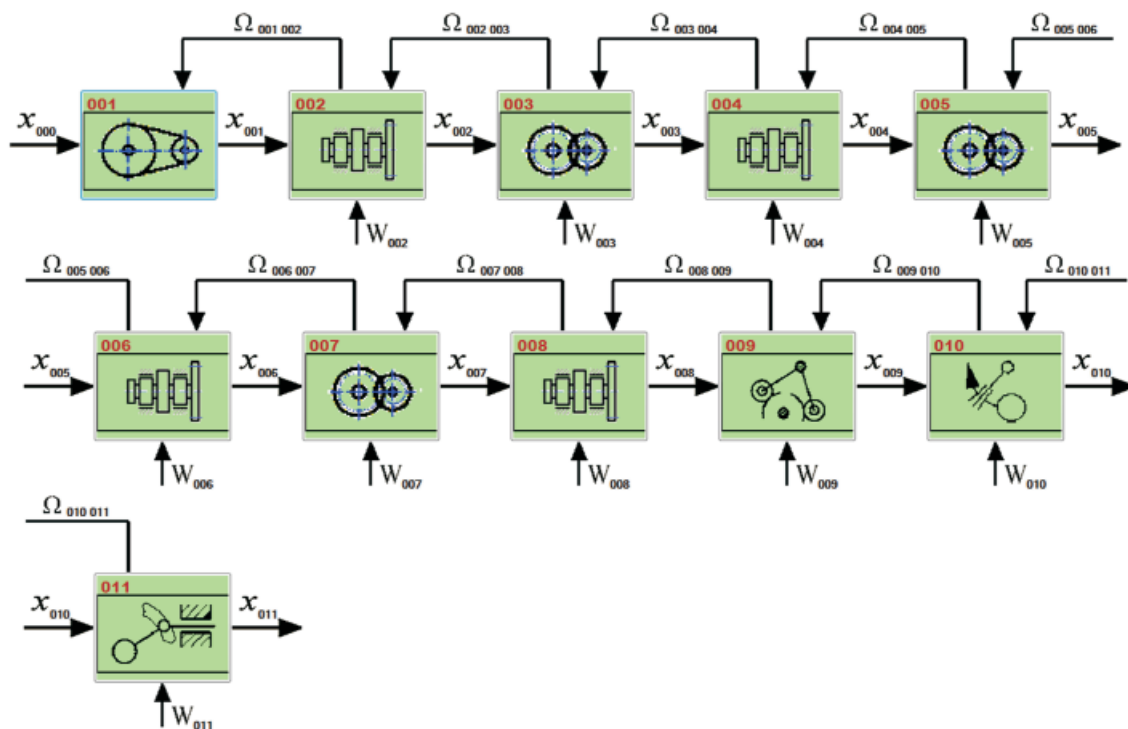


Рис. 3. Объектная модель механизма отрезки Х3А АВ1818

Задачи исследования динамики механизма отрезки:

- динамический анализ механизма в зависимости от скорости его работы и степени износа кинематических пар;
- оценка влияния на динамические процессы, протекающие в механизме, законов профилирования его кулачков;
- анализ влияния точности изготовления дорожек кулачков на динамику механизма.

В качестве критериев надёжности и работоспособности механизма отрезки будем использовать максимальные отклонения перемещения и скорости исполнительного звена от идеальных. На рис. 4 изображены расчётные значения максимального отклонения перемещения и скорости исполнительного звена механизма отрезки при усилнии предварительной затяжки пружин, равной 500 н, и зазоре 0,25 мм.

Анализ приведённых на рис. 4 зависимостей показывает, что значения максимальной точности позиционирования исполнительного звена полностью совпадают как при её вычислении для всего цикла работы механизма (рис. 4, а), так и для участка верхнего выстоя (рис. 4, б). Объяснение этого очевидно, пик амплитуды колебательных процессов, возникающих после сброса технологической нагрузки, приходится именно на участок верхнего выстоя. До максимальной скорости исполнительное звено разгоняется непосредственно сразу же после сброса технологиче-

ского усилия ещё на участке прямого хода, отсюда и весьма существенное расхождение между зависимостями, показанными на рис. 4, б и г. Говорить о скоростных режимах эксплуатации механизма, на которых динамические процессы, в нём протекающие, достигают ярко выраженных локальных экстремумов, здесь не приходится, хотя такие и существуют (рис. 4, б). Надёжную работу механизма можно гарантировать при скоростях, не превышающих 300 ходов в минуту, что совпадает с данными фирмы производителя.

При проведении дальнейших исследований будем полагать усилие затяжки равным 500 н, а зазор – 0,25 мм, а расчёт критериев осуществлять для полного цикла работы механизма.

Данные исследования динамики механизма отрезки с кулачками, спрофилированными по различным законам, приведены в таблице (точность позиционирования – δx_{\max} , мкм; максимальная скорость – \dot{x}_{\max} , м/с).

Как следует из приведённых в таблице данных, нельзя говорить о ярко выраженной зависимости интенсивности динамических процессов в механизме отрезки от вида закона профилирования дорожек кулачков. В то же время такая зависимость существует. Соответственно постановка задачи поиска закона профилирования дорожек кулачков, обеспечивающих лучшие динамические характеристики механизма, вполне целесообразна.

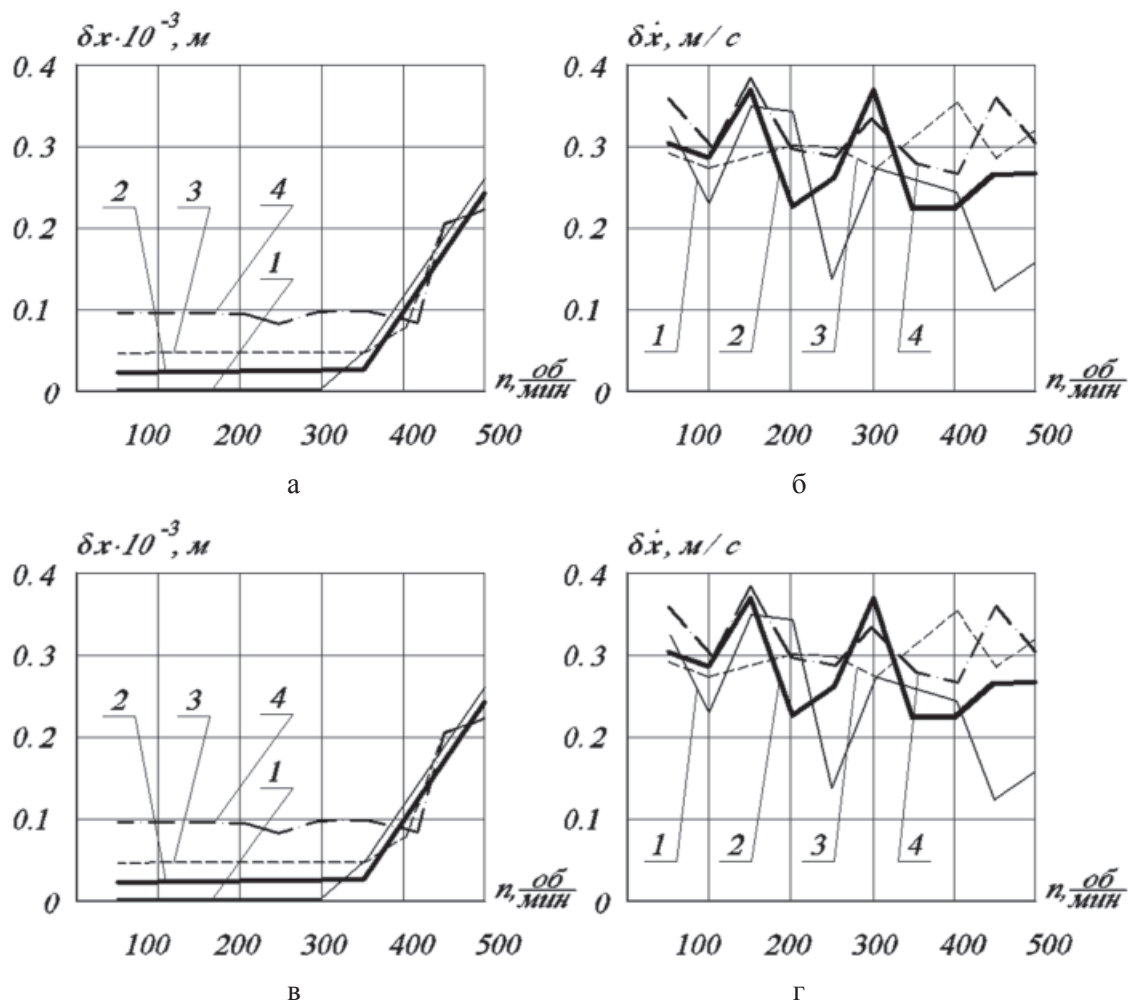


Рис. 4. Максимальные отклонения перемещения и скорости исполнительного звена механизма отрезки ХША АВ1818:
 а, б – полный цикл, в, г – участок верхней выстой при величине зазоров в кинематических парах:
 1 – 0 мкм, 2 – 25 мкм, 3 – 50 мкм, 4 – 75 мкм

Результаты динамических исследований механизма отрезки ХША АВ1818

Профиль дорожки кулачка	Зазоры в кинематических парах 25/50мкм					
	Скорость 110		Скорость 260		Скорость 500	
	δx_{\max}	\dot{x}_{\max}	δx_{\max}	\dot{x}_{\max}	δx_{\max}	\dot{x}_{\max}
Равноускоренный	83,5	0,46	85,1	0,87	233,0	1,56
	106,9	0,40	109,2	0,89	239,3	1,75
Синусоидальный	83,6	0,48	83,2	0,92	264,0	1,69
	106,8	0,53	107,5	0,95	279,4	1,74
Косинусоидальный	83,6	0,33	82,5	0,72	167,5	1,37
	107,4	0,37	110,8	0,75	171,9	1,43

Для оценки влияния точности изготовления кулачков на динамику механизма отрезки воспользуемся методикой, разработанной автором [7]. При этом износ кинематических пар механизма будем полагать минимальным, максимальную по-

грешность профиля γ_{\max} равной 40 мкм. Расчётные данные соответствуют случаю профилирования кулачков механизма отрезки по синусоидальному (рис. 5) и косинусоидальному (рис. 6) законам изменения ускорения.

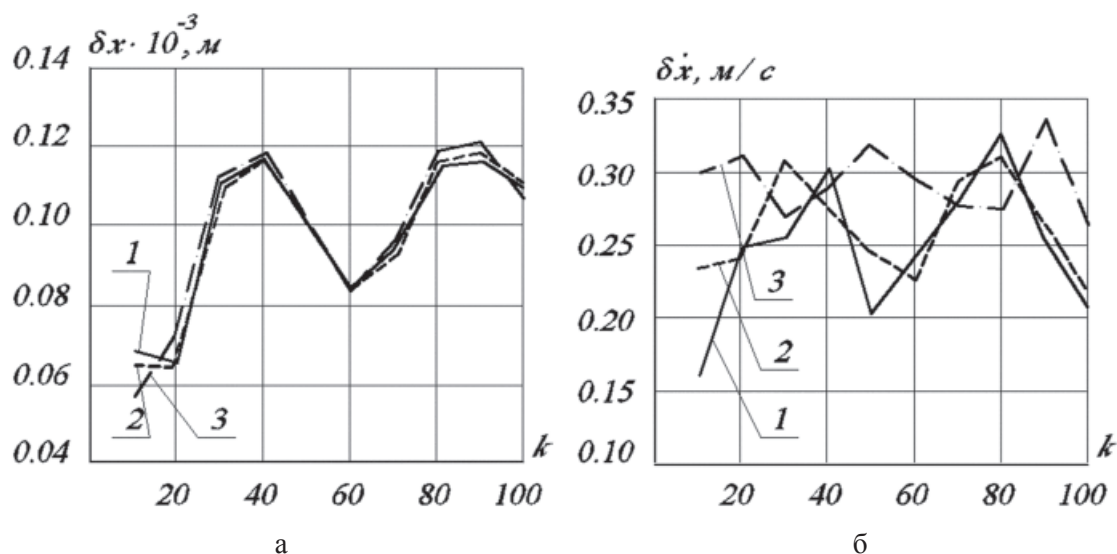


Рис. 5. Отклонения от идеальных перемещения (а) и скорости (б) исполнительного звена механизма отрезки ХША АВ1818: закон профилирования дорожек кулачков – синусоидальный; скорость работы: 1 – 110; 2 – 180; 3 – 260 ходов в минуту

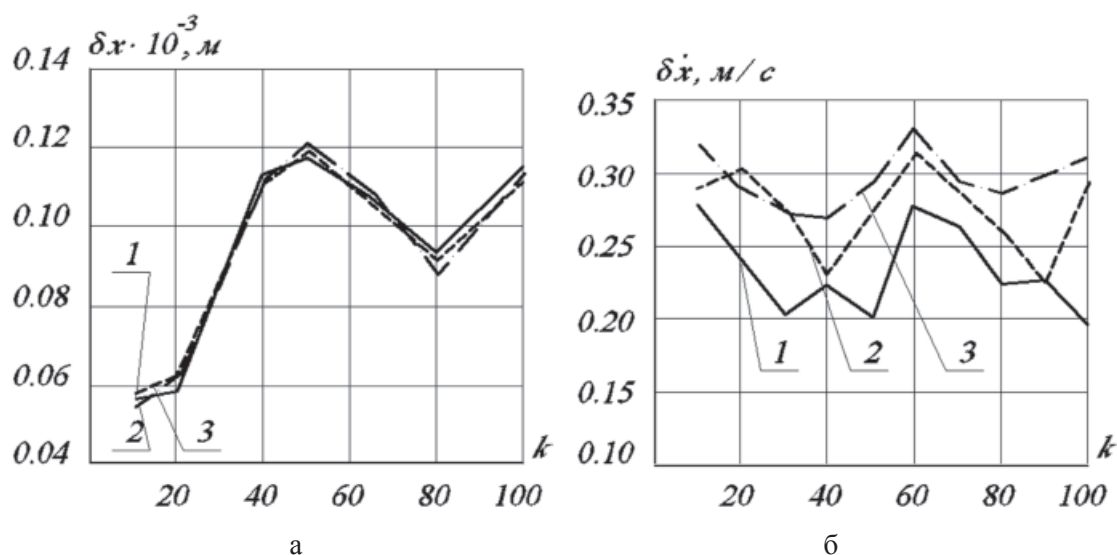


Рис. 6. Отклонения от идеальных перемещения (а) и скорости (б) исполнительного звена механизма отрезки ХША АВ1818: закон профилирования дорожек кулачков – косинусоидальный; скорость работы: 1 – 110; 2 – 180; 3 – 260 ходов в минуту

Из анализа приведённых зависимостей следует, что интенсивность динамических процессов в механизме отрезки достигает максимума при значении коэффициента k , характеризующего погрешность профиля дорожки кулачка в пределах от 20 до 80, причём на всех рекомендуемых для эксплуатации автомата скоростных режимах. Исследования динамики механизма отрезки с учётом погрешности изготовления дорожек кулачков позволяет сделать предпо-

ложение о том, что связь между уровнем динамических процессов в механизме, типом закона профилирования кулачков и погрешностью их изготовления, скорее всего, не существенна.

Список литературы

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х т./ ред.совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – т. 3. Холодная объёмная штамповка / под ред. Г.А. Навроцкого, 1987. – 384 с.

2. Миропольский Ю.А. Холодная объёмная штамповка на автоматах. – М.: Машиностроение, 2001. – 456 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610572 от 10.01.2012. Система динамического анализа механизмов (dam) / В.В. Телегин.
4. Телегин В.В. Динамика механизмов многопозиционных холодноштамповочных автоматов: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 204 с.
5. Телегин В.В. Компьютерное моделирование динамических процессов в механизмах кузнечно-штамповочного оборудования // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2010. – № 1/279(592) 2010. – С. 67–74.
6. Телегин В.В. Объектно-ориентированный подход и его компьютерная реализация в задачах исследования динамики механизмов // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2010. – Т. 12, № 4 (3). – С. 623–628.
7. Телегин В.В. О влиянии точности изготовления кулачков на динамику механизмов штамповочных автоматов // *Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твёрдого тела и обработка металлов давлением*. – Тула: ТулГУ, Вып. 2, 2005. – С. 242–248.
8. Rumbaugh J. et al. Object-Oriented Modeling and Design. – Prentice Hall, 1991. – 500 p.
3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2012610572 ot 10.01.2012. Sistema dinamičeskogo analiza mehanizmov (dam) / V.V. Telegin.
4. Telegin V.V. Dinamika mehanizmov mnogopozicionnyh holodnoshtampovочnyh avtomatov: monografija Lipeck: LGTU, 2006. 204 p.
5. Telegin V.V. Komp'juternoe modelirovanie dinamicheskikh processov v mehanizmah kuznečno-shtampovочного oborudovanija [// Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. 2010. no. 1/279(592) 2010. pp. 67–74.
6. Telegin V.V. Ob#ektno-orientirovannyj podhod i ego komp'juternaja realizacija v zadachah issle-dovanija dinamiki mehanizmov // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2010. T. 12, no. 4 (3). pp. 623–628.
7. Telegin V.V. O vlijanii točnosti izgotovlenija kulachkov na dinamiku mehanizmov shtampovочnyh avtomatov // *Izvestija TulGU. Serija. Mehanika deformiruemogo tvjordogo tela i obra-botka metallov davleniem*. Tula: TulGU, Vyp. 2, 2005, pp. 242–248.
8. Rumbaugh J. et al. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice Hall, 1991. 500 p.

References

1. Kovka i shtampovka: Spravochnik v 4-h t./ Red. Sovet: E.I. Semenov (pred.) i dr. M.: Mashinostroenie, 1987. t. 3. Holodnaja ob#jomnaja shtampovka [Tekst] / Pod red. G.A. Navrockogo, 1987. 384 p.
2. Miropol'skij, Ju.A. Holodnaja ob#jomnaja shtampovka na avtomatah M.: Mashinostroenie, 2001. 456 p.

Рецензенты:

Володин И.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой механики пластического деформирования, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Козлов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.

Работа поступила в редакцию 19.12.2013.