

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕЖРОТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Буленков Е. А., Михайлов А. Н., Товарчи И.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)  
Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

*Аннотация.* В статье приведена структура потока изделий, позволяющая обеспечить требуемую загрузку многономенклатурной роторной линии за счет объединения группы серийных производств в массовое. Представлено экспериментальное подтверждение возможности межроторной передачи изделий при реализации данной структуры потока.

*Ключевые слова:* структура потока, годовая программа выпуска, межроторная передача.

### 1. Введение

Эффективной областью применения автоматических роторных линий является изготовление небольших изделий, требующих простых движений формообразования [1]. Стержневые крепежные изделия, - винты, болты, шпильки, шурупы и т.д., - идеально подходят под это определение: они получают операциями штамповки, чеканки и накатывания [2]. Поэтому автоматизация производства стержневых крепежных изделий с использованием автоматических роторных линий является актуальной задачей. Следует отметить, что основное преимущество данных систем, - их высокая производительность [3], - в данном случае становится недостатком. В условиях рыночной экономики сложно реализовать такие большие объемы однотипной продукции. Решением данной проблемы может быть применение многономенклатурных роторных линий [4]. Известные многономенклатурные линии позволяют обрабатывать от 2 до 6 различных типоразмеров изделий одновременно [4,5]. Однако, разработка многономенклатурных роторных линий с отличными от традиционных структурами потока изделий [6] позволит изготавливать на одной линии большее количество различных типоразмеров изделий с небольшими годовыми программами выпуска.

### 2. Основное содержание и результаты работы

Следует отметить, что проблема недостаточной загрузки многономенклатурных роторных машин тесно связана с числом типоразмеров изделий, обрабатываемых на данных машинах. Суммарная годовая программа выпуска многономенклатурной роторной машины определяется как сумма годовых программ выпуска обработки изделий отдельных типоразмеров

$$Q = Q_A + Q_B + \dots + Q_S ,$$

где  $Q$  - суммарная годовая программа выпуска многономенклатурной роторной машины;

$Q_A, Q_B, \dots, Q_S$  - годовые программы выпуска обработки деталей отдельных типоразмеров.

При этом обеспечение достаточной годовой программы выпуска многономенклатурных роторных машин производится либо выбором небольшого числа изделий, с большими годовыми программами выпуска, либо расширением возможностей многономенклатурных роторных машин и обработкой большого числа изделий с малыми годовыми программами выпуска. В условиях рыночных отношений второй путь представляется более привлекательным, поэтому целесообразно использовать такие струк-

тура потока изделий, которые позволяют это реализовать.

В качестве допущения примем, что требуемые годовые программы выпуска изготовления различных крепежных изделий равны между собой ( $Q_A = Q_B = \dots = Q_S$ ). Кроме того, время кинематического цикла  $T_k$  является постоянной величиной ( $T_k = const$ ). Годовая программа выпуска многономенклатурной роторной машины может быть определена по формуле:

$$Q = \frac{\Pi_{ц}}{a} = \frac{U_p}{T_k \cdot a},$$

где  $Q$  – годовая программа выпуска многономенклатурной роторной машины,  $\Pi_{ц}$  – цикловая производительность многономенклатурной роторной машины,  $a$  – коэффициент, учитывающий сколько дней, смен, минут в году работает машина,

$U_p$  – число рабочих позиций многономенклатурной роторной машины,  
 $T_k$  – время кинематического цикла.

Рассмотрим влияние соотношения числа типоразмеров изделий  $Z_o$  и числа многономенклатурных рабочих позиций на величину требуемой годовой программы выпуска изделий одного типоразмера  $Q_A$ .

Годовая программа выпуска изготовления изделий одного типоразмера определяется по зависимости

$$Q = Q_A + Q_B + \dots + Q_S = Z_o \cdot Q_A = \frac{U_p}{T_k \cdot a}, \quad Q_A = \frac{U_p}{Z_o \cdot T_k \cdot a}. \quad (1)$$

При этом, если  $Z_o < U_p$ , то требуемая годовая программа выпуска изготовления изделий одного типоразмера больше, чем при равенстве этих значений (рис. 1) (график построен по зависимости 1 для  $T_k = 0,5$  с.).

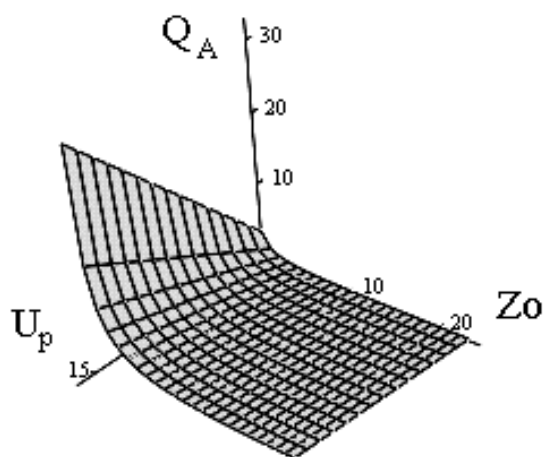


Рис. 1. Требуемая производительность изготовления изделий одного типоразмера

Когда  $Z_o > U_p$ , требуемая годовая программа выпуска изготовления изделий одного типоразмера меньше годовой программы выпуска отдельной многономенклатурной рабочей позиции. То есть, для обеспечения загрузки многономенклатурных роторных машин необходимо, чтобы число типоразмеров изделий было больше числа многономенклатурных рабочих позиций.

Указанному условию в полной мере удовлетворяет структура потока изделий, отображающая поток с  $Z_o > U_p$ , с единичной одновременной обработкой на многономенклатурных роторных машинах с последовательной поточностью и одинаковыми характеристиками потоков [6].

Структурная схема соответствующего участка многономенклатурной автоматической роторной линии приведена на рисунке 2. Изделия по входному потоку  $V$  поступают в многономенклатурную рабочую позицию технологического ротора 1, откуда передаются в позиции других роторов и выгружаются после обработки по выходному потоку  $W$ . При этом в каждой позиции одновременно обрабатывается только одно изделие. После завершения цикла обработки, когда роторная машина совершила полный оборот, в позицию загружается другое изделие. Таким образом, в каждой многономенклатурной рабочей позиции обрабатывает-

ся несколько различных изделий. Следует отметить, что подобная структура потока изделий в многономенклатурной автоматической роторной линии подразумевает передачу одной и той же позицией транспортного ротора несколько различных по форме и размерам изделий.

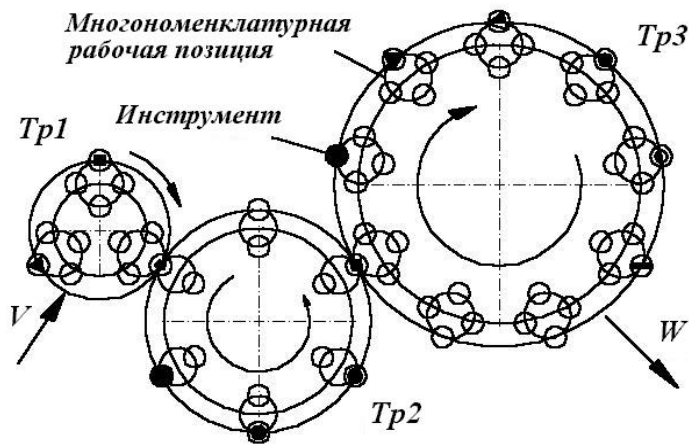


Рис. 2. Участок многономенклатурной автоматической роторной линии

редуцирование стержня. Изготовление для каждой поверхности своего захватного органа приведет к неоправданно большим затратам и усложнению конструкции транспортных устройств. Более рациональным в данных условиях представляется передача



Рис. 3. Стержневые крепежные изделия

изделия различных типоразмеров.

При проведении эксперимента была смоделирована передача изделий между транспортным и технологическим ротором в многономенклатурной роторной линии.

Целью проведения эксперимента являлось доказательство возможности передачи одним захватным органом транспортного ротора изделий нескольких типоразмеров за счет использования магнитной проводимости материала изделий.

Для достижения поставленной цели необходимо было доказать, что вероятность передачи изделий не является случайной величиной, а определяется рядом факторов, и

В общем случае, изделия отличаются не только размерами, но и формой поверхностей, по которым осуществляется захват изделий захватными органами транспортного ротора. При изготовлении стержневых крепежных изделий на разных этапах производства их захват будет осуществляться как по цилиндрическим поверхностям на этапах формообразования головки, так и по резьбовой поверхности после накатки резьбы (см. рис.3). При этом, цилиндрические поверхности даже для одного винта будут отличаться размерами: перед накатыванием резьбы осуществляется

отличаться размерами: перед накатыванием резьбы осуществляется редуцирование стержня. Изготовление для каждой поверхности своего захватного органа приведет к неоправданно большим затратам и усложнению конструкции транспортных устройств. Более рациональным в данных условиях представляется передача изделий с использованием физических свойств материала. Эти свойства для всех обрабатываемых изделий будут одинаковыми, что позволит унифицировать конструкции захватных органов и существенно упростить конструкции транспортных роторов. В связи с этим, в данной работе предложено использовать в конструкции захватных органов транспортных роторов постоянные магниты, что, учитывая магнитную проводимость сталей, применяемых для изготовления крепежных изделий, позволит одному захватному органу транспортного ротора переда-

действие этих факторов может быть спрогнозировано и обосновано.

При проведении эксперимента объектом исследования был процесс межроторной передачи изделия. Выбранный объект исследования удовлетворяет требованию воспроизводимости и является управляемым, то есть дает возможность провести активный эксперимент.

В качестве параметра оптимизации принята вероятность передачи изделия, которая в общем случае определяется по формуле:

$$p = \frac{m}{n},$$

где  $p$  – вероятность передачи изделия,  
 $m$  – количество успешно переданных изделий,  
 $n$  – общее количество изделий.

На вероятность передачи детали существенное влияние оказывает целый ряд факторов: различие в диаметрах изделий, несовпадение углов поворота роторов, межосевое расстояние роторов, усилие на пружине и форма переталкивателя, наличие или отсутствие приемных фасок в позиции технологического ротора, форма губок захватного органа транспортного ротора, сила прижима деталей к магнитным захватам, скорость вращения роторов, вибрации, наличие или отсутствие смазки на боковых поверхностях деталей, и другие, менее значимые факторы. Для упрощения проводимого эксперимента приняли, что сила прижима магнитного захвата подобрана таким образом, чтобы компенсировать влияние вибрации и центробежной силы при большой скорости вращения роторов. Кроме того, при проведении эксперимента были приняты некоторые допущения.

1. Транспортный и технологический роторы соприкасаются по окружности, являющейся траекторией перемещения центра детали, имеющей наименьший диаметр. Эта траектория совпадает с делительным диаметром зубчатого колеса, осуществляющего транспортное движение.
2. Контакт между деталью и захватным органом происходит по линии, параллельной оси детали, поэтому формой губок захватных органов пренебрегаем.
3. Характеристики пружины переталкивателя зависят от усилия магнитного прижима детали и подбираются в зависимости от этого усилия.
4. Наличие смазки на боковых поверхностях изделий компенсируется увеличением силы магнитного прижима детали.

В связи с принятыми допущениями, наиболее значимыми факторами являются различие в диаметрах изделий и несовпадение углов поворота роторов. Для исследования влияния этих факторов на вероятность передачи изделий и был проведен двухфакторный эксперимент.

Предположим, что в проектируемой многономенклатурной роторной линии будут изготавливаться винты диаметром 2, 3, 4, 5 и 6 мм. Поэтому, верхним и нижним уровнем первого фактора, обозначим его как  $x_1$ , - диаметра изделия, - будут соответственно 2 и 6 мм. Для того чтобы наложить ограничения на несовпадение углов поворота роторов следует учесть, что при смещении роторов друг относительно друга на величину, большую чем половина диаметра меньшей детали (рис. 4), эта деталь гарантированно не будет передана. Поэтому, нижним уровнем следует задать такое несовпадение углов поворота роторов, при котором смещение роторов друг относительно друга будет не более 1 мм. Исходя из конструктивных размеров лабораторной установки, нижним уровнем второго фактора, обозначим его как  $x_2$ , будет  $-36'$  (знак «-» показывает, что смещение происходит в направлении движения детали). Верхним уровнем второго

фактора принято значение 0, при котором отсутствует несовпадение углов поворота роторов. Принятые данные представлены в таблице 1.

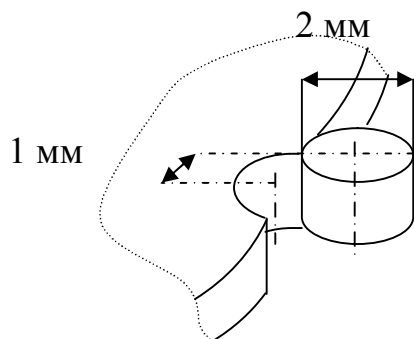


Рис.4. Смещение детали относительно приемной позиции

Таблица 1. Значения факторов

Характеристика	X1	X2
Основной уровень	4 мм	-18'
Интервал варьирования	2 мм	-18'
Верхний уровень	6 мм	0
Нижний уровень	2 мм	-36'

При проведении эксперимента необходимо исключить влияние случайных факторов, - неточностей в настройке захватных органов, погрешностей изготовления захватных органов и приемных позиций, возможных погрешностей в наладке установки. Для исключения влияния этих случайных факторов детали будут передаваться группами по 9 штук. Также будет проведено по 4 параллельных опыта. План эксперимента представлен в таблице 2.

Таблица 2. План эксперимента

№ опыта	Кодированные факторы		Натуральные значения факторов	
	X1	X2	X1	X2
1	-1	-1	2 мм	-36'
2	+1	-1	6 мм	-36'
3	-1	+1	2 мм	0
4	+1	+1	6 мм	0

Для проведения эксперимента была изготовлена лабораторная установка (рис. 5), которая моделирует передачу изделий между транспортным и технологическим роторами.

Детали 1 устанавливаются в захватные органы 2, размещенные на диске транспортного ротора 3. Диск транспортного ротора 3 жестко закреплен на валу транспортного ротора 4, передающего ему крутящий момент от зубчатого колеса транспортного ротора 5. Диски роторов и зубчатые колеса закреплены на валах при помощи гаек 6 (некоторые гайки скрыты элементами лабораторной установки и на фото (рис. 5) не видны). Крутящий момент на зубчатое колесо транспортного ротора 5 передается от зубчатого колеса технологического ротора 7, размещенного на валу технологического ротора 8. В верхней части вала технологического ротора 8 при помощи гаек 6 закреплен диск технологического ротора 9. Валы транспортного ротора 4 и технологического ротора 8 установлены при помощи втулок 10 в корпусе 11. Вал технологического ротора 8 получает крутящий момент от электродвигателя 12, установленного в нижней части корпуса 11. В верхней части корпуса 11, за дисками транспортного 3 и технологического 9 роторов, установлен переталкиватель 13, передающий детали 1 из захватных органов 2 в приемные позиции диска технологического ротора 9. Конструкция переталкивателя 13 более подробно показана на рис. 6.

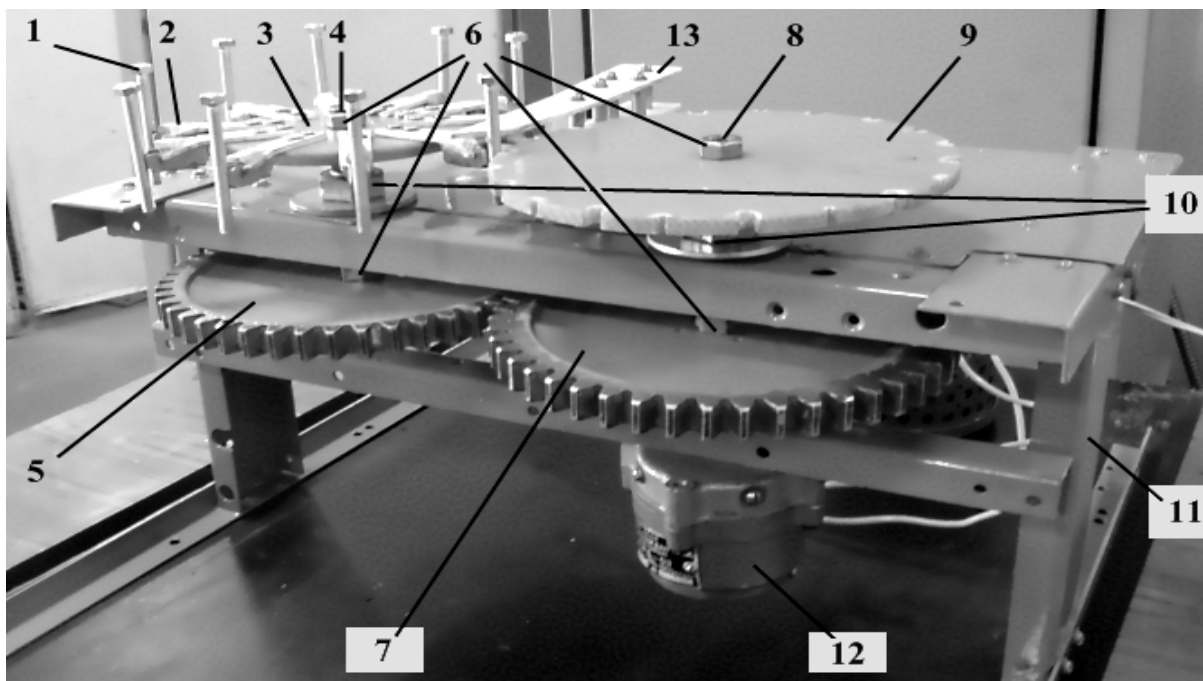


Рис.5. Лабораторная установка

Переталкиватель 13 закреплен на корпусе при помощи оси 14 и подпружинен пружиной 15, установленной на оси 16. Фиксатор 17 определяет положение переталкивателя относительно дисков роторов. Стяжки 18 предназначены для обеспечения требуемой жесткости переталкивателя.

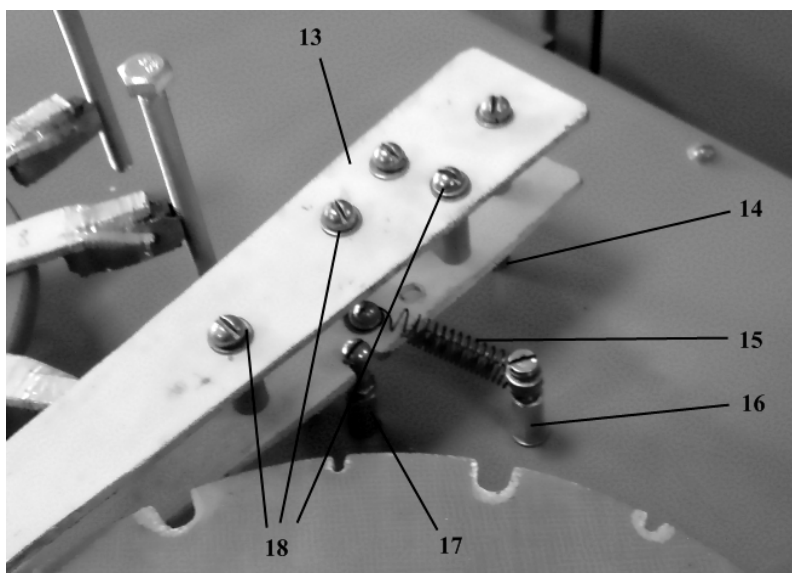


Рис. 6. Переталкиватель

Работает установка следующим образом. Детали 1 устанавливаются в захватные органы 2 таким образом, чтобы середина захватного органа приходилась приблизительно на середину стержня детали. Поле подачи напряжения, электродвигатель 12 начинает вращать вал технологического ротора 8, установленный во втулке 10 в корпусе 11. Вместе с валом вращаются и жестко закрепленные на нем диск технологического ротора 9 и зубчатое колесо технологического ротора 7. При этом, зубчатое колесо технологического ротора 7, находясь в зацеплении с зубчатым колесом транспортного ротора 5, передает ему крутящий момент. От зубчатого колеса транспортного ротора 5 вращение через вал транспортного ротора 4, установленный во втулке 10 в корпусе 11, передается на диск транспортного ротора 3 с установленными на нем захватными органами 2. Так осуществляется согласованное вращение дисков

технологического ротора 9 и зубчатое колесо технологического ротора 7. При этом, зубчатое колесо технологического ротора 7, находясь в зацеплении с зубчатым колесом транспортного ротора 5, передает ему крутящий момент. От зубчатого колеса транспортного ротора 5 вращение через вал транспортного ротора 4, установленный во втулке 10 в корпусе 11, передается на диск транспортного ротора 3 с установленными на нем захватными органами 2. Так осуществляется согласованное вращение дисков

транспортного 3 и технологического 9 роторов. В ходе согласованного вращения дисков детали 1, установленные в захватных органах 2 диска транспортного ротора 3, попадают в соответствующие позиции диска технологического ротора 9. Для осуществления передачи деталей необходимо преодолеть силу магнитного прижима, - силу, с которой магнит прижимает деталь 1 к захватным органам 2. Для преодоления этой силы на оси 14 установлен переталкиватель 13. При попадании деталей 1 в зону передачи, переталкиватель 13 вступает в контакт с деталью 1 и выталкивает ее в направлении приемной позиции диска технологического ротора 9 с усилием, определяемым жесткостью пружины 15, установленной на оси 16. Фиксатор 17 необходим для регулировки положения переталкивателя 13. Переталкиватель состоит из верхней и нижней частей, соединенных между собой стяжками 18. Такая конструкция переталкивателя позволяет избежать перекоса детали при передаче. В случае успешной передачи, детали 1 поступают в приемные позиции диска технологического ротора 9 и перемещаются в них, поджаты переталкивателем 13. В ходе дальнейшего вращения ротора, после прекращения контакта с переталкивателем, детали под действием собственного веса падают на корпус 11. Если передача не произошла, детали 1 оказываются зажаты между захватными органами 2 и диском технологического ротора 9. В ходе дальнейшего вращения роторов захватные органы 2 немного смещаются под действием зажатых деталей и переталкивателем 13 такие детали выталкиваются из зоны передачи, - они под действием собственного веса после выхода из захватных органов 2 падают на корпус лабораторной установки.

Перед проведением эксперимента установка была настроена и испытана в действии. Эксперимент проводился в соответствии с планом, представленным в таблице 2.

При проведении первой серии опытов было отмечено, что процесс передачи деталей характеризуется небольшими ударами, возникающими вследствие того, что деталь под действием переталкивателя, перед тем как попасть в приемную позицию технологического ротора, катится по губке захватного органа и бьется боковой поверхностью о фаску на приемной позиции. Здесь фаска играет скорее негативную роль, так как в некоторых случаях передача деталей не происходила из-за упора детали в фаску.

Во второй серии опытов тоже наблюдалось перекачивание деталей по губке захватного органа перед непосредственной передачей, однако ударов уже не было: диаметр деталей существенно больше, поэтому фаска на приемной позиции технологического ротора особого влияния не оказывала. К тому же, выбранная величина несовпадения углов поворота роторов для деталей данного диаметра несущественна, что стало очевидно после проведения опытов.

В ходе третьей серии опытов было установлено, что деталь при передаче скатывается переталкивателем уже на другую фаску приемной позиции технологического ротора. Однако, так как несовпадения углов поворота роторов в данной серии опытов нет, после удара о фаску деталь заталкивалась переталкивателем в приемную позицию.

Четвертая серия опытов показала, что при заданных условиях передача деталей осуществляется без проблем.

Статистическая обработка результатов эксперимента включала в себя проверку однородности дисперсий по критерию Кохрена и проверку адекватности полученных моделей по критерию Фишера, которые показали адекватность и воспроизводимость полученных результатов.

В ходе статистической обработки результатов эксперимента была получена модель, описывающая зависимость вероятности передачи детали от несовпадения углов поворота роторов и диаметров изделий:

$$y(x_1, x_2) = \frac{5 \cdot x_1}{72} + \frac{5 \cdot x_2}{1296} + \frac{47}{72}, \quad (2)$$

где  $x_1$  – диаметр изделия,  
 $x_2$  – несовпадение углов поворота.

По формуле 2 были построены графики зависимости вероятности передачи детали от несовпадения углов поворота роторов для деталей различных диаметров (рис. 7).

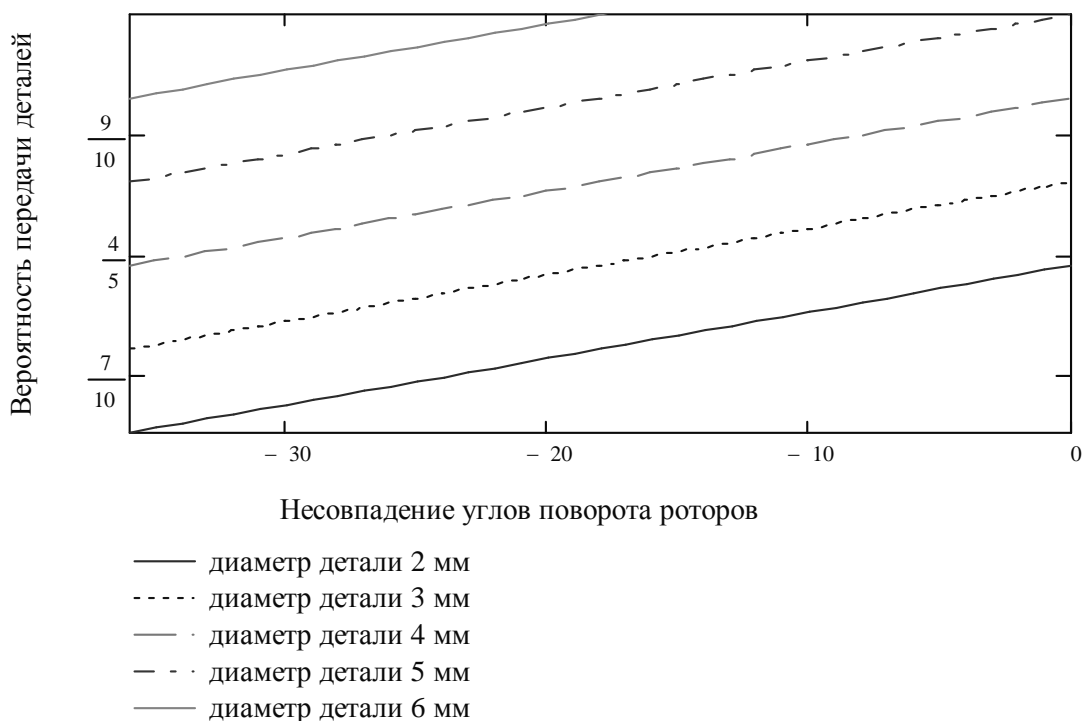


Рис. 7. Зависимость вероятности передачи деталей от несовпадения углов поворота

Эксперимент показал, что если нет несовпадения углов поворота роторов, то вероятность передачи деталей близка к 1. С другой стороны, необходимо оценить вероятность передачи деталей в случае, когда несовпадение углов поворота роторов имеет положительное значение, то есть захватные органы транспортного ротора смещены относительно приемных позиций технологического.

Для проведения второго эксперимента были приняты значения факторов, приведенные в таблице 3.

Таблица 3. Значения факторов второго эксперимента

Характеристика	X1	X2
Основной уровень	4 мм	+18'
Интервал варьирования	2 мм	+18'
Верхний уровень	6 мм	+36'
Нижний уровень	2 мм	0

План и статистическая обработка результатов второго эксперимента аналогичны первому эксперименту.

В ходе статистической обработки результатов второго эксперимента была полу-



чена вторая модель, описывающая зависимость вероятности передачи детали от несовпадения углов поворота роторов и диаметров деталей:

$$y_u(x_1, x_2) = \frac{7 \cdot x_1}{96} + \frac{5 \cdot x_2}{288} + \frac{23}{36}, \quad (3)$$

По формуле 3 были построены аналогичные графики зависимости вероятности передачи детали от несовпадения углов поворота роторов для деталей различных диаметров (рис. 8).

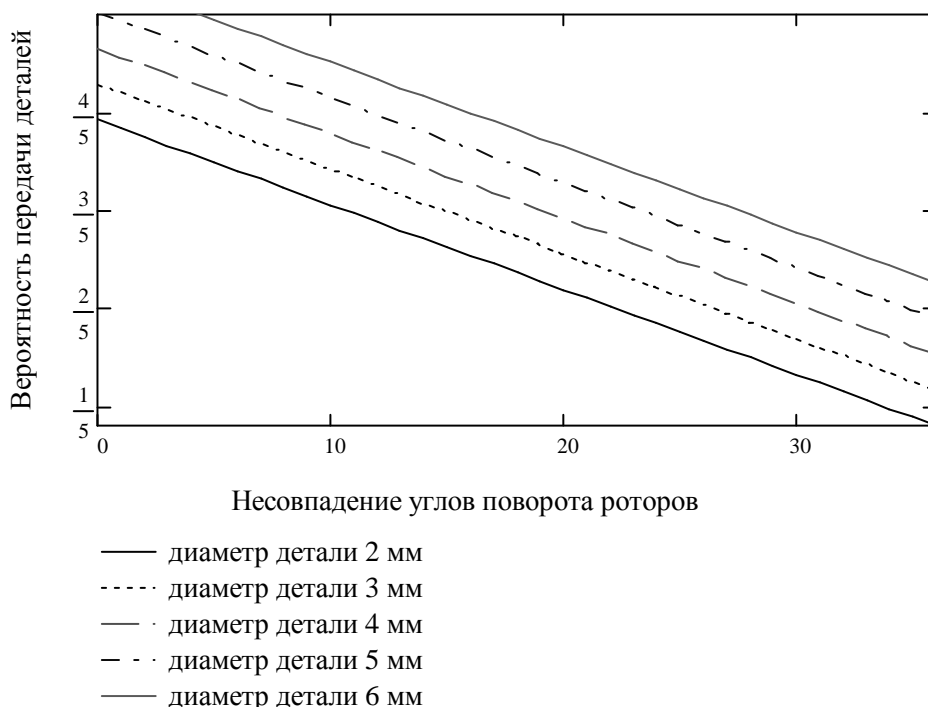


Рис. 8. Зависимость вероятности передачи деталей от несовпадения углов поворота

Второй эксперимент показал, что смещение захватных органов в направлении, противоположном направлению движения детали, приводит к уменьшению вероятности передачи деталей. Это объясняется тем, что при передаче детали под действием переталкивателя деталь скатывается по губке, противоположной переталкивателю, таким образом немного увеличивая величину смещения относительно приемной позиции технологического ротора. Для деталей больших диаметров это смещение не столь существенно, как для деталей меньшего диаметра.

### 3. Заключение

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность последовательной передачи одним захватным органом транспортного ротора деталей нескольких типоразмеров за счет использования специальной конструкции захватного устройства, работа которого базируется на магнитной проводимости материала деталей. При этом установлено, что вероятность передачи деталей не является случайной величиной, а определяется рядом факторов, и действие этих факторов может быть спрогнозировано и обосновано.

Проведенные исследования вероятности передачи деталей в зависимости от величины диаметров деталей и несовпадения углов поворота роторов показали, что ее значения выше при больших диаметрах деталей и при отсутствии несовпадения углов поворота роторов, что полностью соответствует ожидаемым результатам.

Вероятность передачи деталей может быть увеличена применением подпружиненных захватных органов в транспортном роторе. При этом следует обеспечить такую жесткость захватных органов, при которой смещения детали будут до 25% диаметра и не более 50% диаметра наименьшей передаваемой детали.

На приемных позициях технологических роторов для исключения ударов деталей о приемные позиции следует предусматривать фаски размером не более четверти диаметра меньшей детали.

**Список литературы:** 1. Клусов И. А. Эволюция автоматических роторных линий. // Автоматизация и современные технологии.- 2003.- №2.- С. 3-6. 2. Владимиров Ю. В., Герасимов В. Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. – М.: Машиностроение, 1984. – 120с. 3. Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия.- Донецк: ДонНТУ, 2002.- 379 с. 4. Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. Изд. 2-е, переработ. и доп. - М.: Машиностроение, 1972.- 351 с. 5. Клусов И. А. Технологические системы роторных машин для серийного производства. // Автоматизация технологических процессов: Сб. науч. тр.- Тула: Тульский политехн. ин-т, 1981. - С. 13 -19. 6. Буленков Е. А., Михайлов А. Н. Выбор рациональной структуры потока изделий для обеспечения загрузки многономенклатурных роторных линий. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Вып. 31. – С 27-34.

Надійшла до редколегії 20.01.2010 р.

## **RESEARCH OF PROCESS OF INTERROTOR TRANSMISSION OF WARES IN THE CONDITIONS OF MULTITOP-LEVEL PRODUCTION**

*Bulenkov E., Mikhaylov A., Tovarchi I. (DonNTU, Donetsk, Ukraine)*

*Structure of stream of wares, allowing to provide the required load of multitop-level rotor line due to the association of group of mass productions in mass resulted in this article. Experimental confirmation of possibility of interrotor transmission good during realization of this structure of stream is presented here.*

**Keywords:** *structure of stream, annual program of issue, interrotor transmission.*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІЖРОТОРНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВИРОБІВ В УМОВАХ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Буленков Є. О., Михайлов О. М., Товарчи І.С. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)*

*У статті приведена структура потоку виробів, що дозволяє забезпечити необхідне завантаження багатомноменклатурної роторної лінії за рахунок об'єднання групи серійних виробництв в масове. Представлено експериментальне підтвердження можливості міжроторної передачі виробів при реалізації даної структури потоку.*

**Ключові слова:** *структура потоку, річна програма випуску, міжроторна передача.*