

УДК 621.798:621.891:664.95

## Обоснование необходимости разработки и исследования устройств для передачи изделий

Середа Н.А.

Проблеме механизации вспомогательных операций технологических машин и линий пищевых производств уделено мало внимания, поэтому она является актуальной проблемой. На многих предприятиях вспомогательные операции выполняются вручную из-за непрактичности применения существующих машин. В статье дано обоснование необходимости разработки и исследования устройств для передачи изделий, выполняющих в интервале кинематического цикла следующие операции: схват изделия, удержание и перенос, освобождение изделия. Выделены наиболее важные показатели эффективности устройств для передачи изделий, среди которых производительность, энергозатраты на осуществление процесса передачи изделий, точность выполнения операций «схват изделия» и «выдача ...». Рассмотрены пути повышения теоретической производительности и способы снижения энергозатрат исследуемых технологических машин, последнее позволило наметить пути совершенствования устройств для передачи изделий.

*Ключевые слова:* технологический процесс, манипулятор, захват, изделия, производительность.

## The reasons for research and development of foodstuff transferring devices

Sereda N.A.

The ways to mechanize supporting operations of processing machines and food production lines have become an urgent problem. In many manufacturing companies, supporting operations are performed manually due to the shortcoming of existing machines. The paper considers the reasons for research and development of foodstuff transferring devices. They will perform a number of operations in the kinematic cycle: gripping, holding, transferring and releasing the item. The most important indicators of transferring devices will include efficiency, power consumption, accuracy of gripping and releasing operations. The ways to enhance the performance of theoretical methods for reducing energy consumption and technological machines are discussed. The ways to improve transferring devices are presented.

*Keywords:* technological process, manipulator, gripping device, goods, productivity.

### Введение

Во многих производствах пищевой промышленности преобладают многооперационные технологические процессы, состоящие из ряда основных и вспомогательных операций. Основные операции технологических процессов механизированы и автоматизированы, а вспомогательные операции, направленные на подготовку условий для выполнения основных операций, осуществляются, как правило, вручную. В технологических машинах и линиях пищевых производств вспомогательными операциями будут являться: передача из-

делий между машинами в составе технологической линии, передача объекта обработки из позиции в позицию в составе многооперационной технологической машины, выдача изделий на операции приведения их в товарное состояние, подача сырья в рыбоводы машин для наполнения банок продуктом и др.

Диспропорция между уровнями механизации основных и вспомогательных операций негативно сказывается на основных показателях работы технологических машин и линий: уменьшается фактическая производительность оборудования, растут энергозатраты на

осуществление технологических процессов, снижается качество конечного продукта. Влияние вспомогательных операций на эффективность работы машин и линий особо прослеживается при массовом выпуске изделий, например, ёмкостей, банок, тубиков и коробочек, наполненных пищевым продуктом.

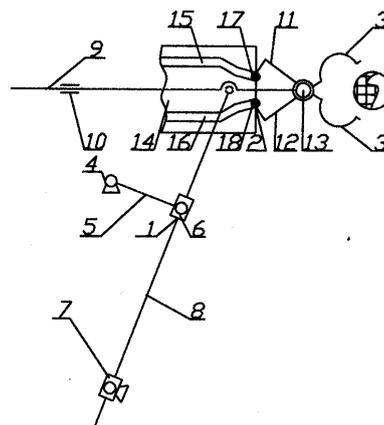
Использование ручного труда при выполнении вспомогательных операций, связанных с перемещением изделий, например, в линиях рыбоконсервного и пресервного производств, не способствует эффективности выполнения этих операций, последнее ограничивает возможность повышения производительности труда операторов, обслуживающих технологические линии. Кроме того, вспомогательные операции технологических линий пищевых производств, выполняемые вручную, отдают перспективу создания и эффективного функционирования автоматизированных технологических линий.

Необходимость исключения ручного труда на вспомогательных операциях нередко связана с требованиями обеспечения безопасности и экологичности при выполнении технологических процессов. Процессы и операции, осуществляемые в условиях негативных факторов, таких как высокая (низкая) температура среды, загазованность рабочей зоны практически исключают использование ручного труда для их выполнения.

Очевидно, что механизация вспомогательных операций в системах технологических линий и отдельных многооперационных технологических машин является задачей актуальной, требующей своего решения [1].

### Основное содержание

Для решения указанной выше проблемы механизации вспомогательных операций в соавторстве разработаны кинематические схемы устройств для передачи изделий – манипуляторов [2–4]. На рис. 1 и 2 представлены кинематические схемы двух анализируемых манипуляторов [2, 3].



**Рис. 1.** Кинематическая схема устройства для передачи изделий [2]: 1 – передаточный механизм; 2 – исполнительный механизм; 3 – губки (захваты); 4 – привод; 5 – кривошип; 6 – ползун; 7 – поворотное звено; 8 – кулиса; 9 – выходное звено механизма 1 и ведущее звено механизма 2; 10 – неподвижная направляющая; 11, 12 – выходные звенья механизма 2; 13 – палец; 14 – копир; 15, 16 – фигурные пазы; 17, 18 – ролики выходных звеньев 11 и 12.

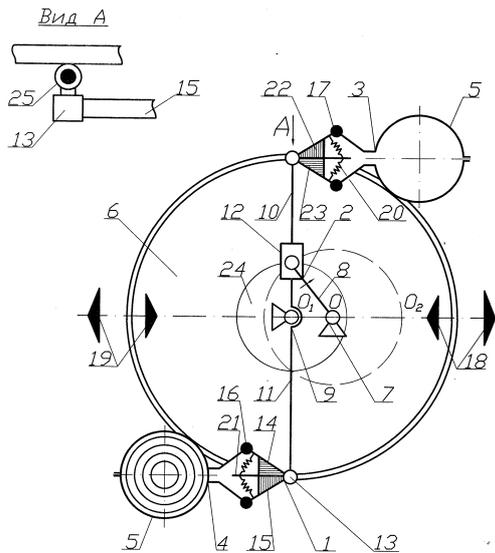
Применительно к рассматриваемым манипуляторам для передачи изделий можно выделить три наиболее важных показателя эффективности устройств [1, 5, 6], по которым можно судить о степени совершенства того или иного манипулятора:

1) частота повторения рабочих циклов, соответствующая уровню развития современного производства, то есть производительность;

2) энергозатраты на осуществление процесса передачи изделий, то есть осуществление процесса передачи изделий при минимально возможном движущем моменте на валу привода, что достигается проектированием механизмов с повышенной силовой работоспособностью;

3) точность выполнения операций, составляющих процесс передачи изделий, снижающая, как правило, внецикловые потери времени. Чем выше точность движения выходных звеньев и рабочих органов при выполнении операций «схват изделия» и «выдача ...», тем совершеннее передающее устройство.

Известно, что производительность является одним из основных показателей, опреде-



**Рис. 2.** Кинематическая схема устройства для передачи изделий [3]: 1 – комбинированный механизм; 2 – передаточный механизм; 3, 4 – исполнительные механизмы; 5 – губки (захваты); 6 – опорная площадка; 7 – привод; 8 – кривошип; 9 – кулиса; 10, 11 – плечи кулисы 9; 12 – ползун; 13 – палец; 14, 15 – выходные звенья механизмов 3 и 4; 16, 17 – ролики; 18, 19 – раздвижные клинья; 20 – пружина растяжения; 21 – стержень; 22, 23 – упоры; 24 – отверстие в опорной площадке 6; 25 – ролик.

ляющих степень совершенства любой технологической машины [1]. Рассмотрим способы повышения производительности на примере устройств для передачи изделий, поскольку вопрос, связанный с их совершенствованием по производительности освещён недостаточно. Цель статьи – частично устранить имеющийся пробел.

Устройство для передачи изделий выполняет за один оборот ведущего звена (кривошипа) передаточного механизма следующие основные операции: схват изделия (объекта обработки); удерживание и перенос изделия из одной позиции в другую или от машины к машине; выдача (освобождение) изделия.

Выразим производительность манипулятора через наиболее важные параметры и определим их влияние на величину производительности. Представим производительность манипулятора в функции периода рабочего цикла

$$G = \frac{60}{T} \cdot m \cdot z = \frac{60}{T_p} \cdot m, \quad (1)$$

где  $G$  – производительность манипулятора, изд./мин.;  $T$  – время одного оборота ведущего звена передаточного механизма манипулятора, с;  $m$  – число изделий, переносимых губками исполнительных механизмов;  $z$  – число захватов для изделий (по числу исполнительных механизмов);  $T_p$  – период рабочего цикла, с.

Выразим производительность манипулятора как функцию частоты вращения ведущего звена передаточного механизма

$$G = 60 \cdot n \cdot m \cdot z, \quad (2)$$

где  $n$  – частота вращения ведущего звена передаточного механизма манипулятора,

$$n = \frac{1}{T}, \text{ с}^{-1}.$$

Производительность манипулятора в функции угловой скорости ведущего звена передаточного механизма представим выражением

$$G = \frac{60 \cdot \omega \cdot m \cdot z}{2 \cdot \pi}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ведущего звена передаточного механизма манипулятора,  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ , рад/с.

Из формул (2) и (3) видно, что производительность манипулятора прямо пропорциональна угловой скорости ведущего звена передаточного механизма, то есть характеризует скорость протекания выполняемого технологического процесса или операции.

Анализируя формулы (1)–(3), определим эффективные способы повышения производительности устройств для передачи изделий и наметим пути совершенствования данного класса технологических машин [5, 6]. Существует, по меньшей мере, три способа повышения производительности устройств для передачи изделий.

1. *Повышение производительности путём увеличения параметра  $z$  (числа захватов для изделий) при неизменном значении времени одного оборота ведущего звена передаточно-*

го механизма. При этом остаются постоянными кинематические и динамические показатели технологической машины (манипулятора). Применительно к устройствам для передачи изделий первый способ повышения производительности выражается в обеспечении определённой структуры кинематической цепи передаточного механизма. Например, передаточный механизм манипулятора должен содержать двуплечее выходное звено, позволяющее разместить два захвата и тем самым увеличить теоретическую производительность устройства в два раза при прочих равных условиях по сравнению с машиной, имеющей один захват. Очевидно, что данный способ повышения производительности включает совершенствование манипулятора в конструктивном плане, направленное на обеспечение непрерывности технологического процесса передачи изделий путём совмещения интервалов ходов исполнительного механизма манипулятора во времени. Для манипулятора, представленного на рис. 2, имеем: при рабочем ходе (с изделием) исполнительного механизма 4 механизм 3 совершает холостой ход (без изделия). Отметим ограниченность данного способа повышения производительности, поскольку рационально увеличивать число захватов для изделий до двух.

2. *Повышение производительности путём интенсификации технологического процесса*, то есть уменьшение периода рабочего цикла манипулятора без изменения его геометрических характеристик. Уменьшение периода рабочего цикла  $T_p$  устройства для передачи изделий при постоянном  $z$  возможно только путём уменьшения времени одного оборота ведущего звена передаточного механизма манипулятора  $T$ . Анализ формул (1) – (3) позволил установить, что уменьшение параметра  $T$  неизбежно приводит к увеличению угловой скорости  $\omega$  ведущего звена передаточного механизма манипулятора.

Повышение производительности манипулятора путём интенсификации технологиче-

ского процесса приводит к некоторым неблагоприятным факторам:

1) *увеличение кинематических и динамических параметров устройства*. Значительное повышение скоростей и ускорений звеньев манипулятора нежелательно при осуществлении операции «схват изделия». Манипуляторы, в кинематических схемах которых конструктивными мерами предусмотрено замедление или выстой при выполнении операции «схват изделия», имеют большие возможности для повышения производительности. В качестве примера рассмотрим кинематическую схему манипулятора по рис. 2. В положении передаточного механизма, когда кривошип 8 лежит на продолжении линии  $OO_1$ , угловая скорость выходного звена (плеча кулисы 10) передаточного механизма 2 достигает минимальной величины за цикл движения. Поскольку выходное звено (плечо кулисы 10) передаточного механизма 2 является ведущим звеном исполнительного механизма 3, то следует заключить, что минимальной будет и скорость движения исполнительного механизма 3 при выполнении операции «схват изделия». Последнее способствует повышению точности охвата изделия. В манипуляторах, обеспечивающих при выполнении операции «схват изделия» мгновенный выстой, связанный с изменением направления скорости движения выходного звена передаточного механизма, повышение производительности путём интенсификации технологического процесса приводит к снижению качества выполнения операции «схват изделия», при этом может быть снижена точность выполнения последующих операций: удерживание и перенос, освобождение изделия.

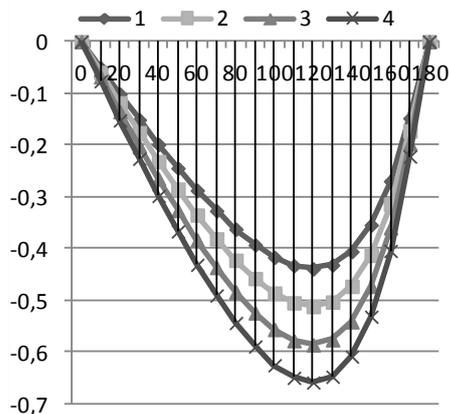
2) *повышение скоростей относительного движения в кинематических парах устройств для передачи изделий*.

Рассмотрим пару трения «кулиса – камень» устройства для передачи изделий, представленного на рис. 2. Скорость относительного движения в паре трения «кулиса – камень» определим по следующей формуле

$$V_{\text{ск}} = -\frac{r \cdot d \cdot \sin(\varphi)}{\sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot r \cdot \cos(\varphi) + r^2}} \cdot \omega, \quad (4)$$

где  $r$  – длина кривошипа, м;  $d$  – длина межосевого расстояния, м;  $\varphi$  – угол поворота кривошипа;  $\omega$  – угловая скорость ведущего звена передаточного механизма устройства, рад/с.

Подставим в формулу (4) значения  $\omega$  с учётом производительности из формулы (3) и проведём расчёт скорости скольжения в паре трения «кулиса – камень». Рис. 3 содержит результаты расчёта скорости скольжения в анализируемой паре трения манипулятора по рис. 2. Расчёт скорости относительного движения в паре трения «кулиса – камень» проведён при следующих исходных данных:  $r = 0,28$  м;  $d = 0,14$  м;  $m = 1$ ;  $z = 2$ .



**Рис. 3.** Скорость относительного движения в паре трения «кулиса – камень» манипулятора по рис. 2: 1 – при  $G = 60$  изд./мин.; 2 – при  $G = 70$  изд./мин.; 3 – при  $G = 80$  изд./мин.; 4 – при  $G = 90$  изд./мин.

Анализ графиков, представленных на рис. 3, позволил сделать вывод, что повышение производительности при постоянстве других параметров приводит к увеличению скорости скольжения в рассматриваемой паре трения устройства для передачи изделий, последнее способствует ужесточению условий нагружения в кинематических парах.

3. *Повышение производительности путём одновременного увеличения параметра  $z$  и уменьшения величины  $T_p$  (увеличения  $\omega$ ), то есть сочетание первого и второго способов повышения производительности.*

Вопросы снижения энергозатрат на осуществление технологического процесса или операции постоянно находятся в центре внимания, особенно в связи с переходом к рыночной экономике. Нередко именно повышенные энергозатраты на процесс передачи изделий, предопределяемые несовершенством конструкций средств реализации технологических процессов, способствуют предпочтению ручного труда на вспомогательных операциях, связанных с передачей изделий.

Применительно к рассматриваемым устройствам для передачи изделий снижение энергозатрат может быть достигнуто двумя способами: 1) совершенствованием конструкции машины; 2) исключением неоправданных запасов мощности привода машины при проектировании последней.

Совершенствование манипулятора в конструктивном плане с точки зрения снижения энергозатрат рассмотрим на примере устройств, представленных на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведена кинематическая схема манипулятора, в которой энергозатраты на процесс передачи изделий выше, чем в устройстве по рис. 2. Повышенные энергозатраты на передачу изделий в манипуляторе по рис. 1 являются результатом того, что удерживание изделия захватами обеспечивается за счёт взаимодействия роликов 17 и 18 выходных звеньев 11 и 12 с фигурными пазы 15 и 16 копира 14 в периоде всего рабочего (с изделием) и холостого (без изделия) хода. Такое взаимодействие приводит к появлению значительной силы трения, особенно при передаче изделий повышенной массы.

Снижение энергозатрат на процесс передачи изделий в устройстве по рис. 2 достигается тем, что захваты удерживают изделие, переносимое из одной позиции в другую, при фиксированном положении выходных звеньев 14 и 15, которое обеспечивается их контактом с упорами 22 и 23 посредством пружины растяжения 20. Освобождение изделия (разжатие захватов) происходит в период взаимодействия роликов 16 и 17 выходных звеньев

14 и 15 с раздвижными клиньями 18 и 19. Энергозатраты на удерживание изделия захватами при движении между позициями «схват изделия» и «выдача ...» отсутствуют.

### Заключение

1. Обоснована необходимость разработки и исследования устройств для передачи изделий, выполняющих следующие операции: схват изделия, удерживание и перенос, освобождение изделия, в целях повышения производительности этих устройств и исключения однообразного, утомительного ручного труда.

2. Выделены способы (пути) повышения теоретической производительности устройств для передачи изделий;

3. Направленное конструктивное совершенствование рассмотренных технологических машин и уменьшение периода рабочего цикла предопределяет эволюционный характер развития данных машин с точки зрения повышения их производительности.

### Литература

1. Шаумян Г.А. Автоматы и автоматические линии. – М.: Машгиз, 1961. – 522 с.
2. Устройство для передачи изделий / Горлатов А.С., Середина Н.А. // пат. РФ № 2412046. – № 2009101727/02; заявл. 20.01.2009; опубл. 20.02.2011 в БИПМ, 2011, № 5.
3. Устройство для передачи изделий / Горлатов А.С., Середина Н.А. // пат. РФ № 2438858. – № 2010109574/02; заявл. 15.03.2010; опубл. 10.01.2012 в БИПМ, 2012, № 1.
4. Устройство для передачи изделий / Горлатов А.С., Середина Н.А. // пат. РФ № 2438857. – № 2010109573/02; заявл. 15.03.2010; опубл. 10.01.2012 в БИПМ, 2012, № 1.

5. Середина Н.А. Совершенствование манипуляторов для передачи штучных изделий применительно к технологическим линиям пищевых производств // Материалы II Международной научно-практической конференции «Современное машиностроение. Наука и образование». – СПб, 2012. – С. 670-679.

6. Середина Н.А. Анализ конструкции манипулятора для передачи штучных изделий со сложным движением ведущего звена исполнительного механизма // Техника и технология, 2013, № 2. – С. 7-13.

### References

1. Shahumyan G.A. Machines and automatic lines. – Moscow, 1961. – 522 C.
2. Device for transfer wares / Gorlatov A.S., Sereda N.A. // Pat. Russian Federation № 2412046. – № 2009101727/02; stated 20.01.2009; publ. 20.02.2011 in BIUM, 2011, № 5.
3. Device for transfer wares / Gorlatov A.S., Sereda N.A. // Pat. The Russian Federation № 2438858. – № 2010109574/02; stated 15.03.2010, publ. 10.01.2012 in BIUM, 2012, № 1.
4. Device for transfer wares / Gorlatov A.S., Sereda N.A. // Pat. The Russian Federation № 2438857. – № 2010109573/02; stated 15.03.2010, publ. 10.01.2012 in BIUM, 2012, № 1.
5. Sereda N.A. Improvement of manipulators for transfer of piece wares, with reference to technological lines of food production // Proceedings of II International conference «Modern mechanical engineering. Science and education». – St-Petersburg, 2012. – P. 670-679.
6. Sereda N.A. Analysis of the manipulator's design for transfer of piece wares with a complex movement of the leading link of the actuator // Machinery and technology, 2013, № 2. – P. 7-13.

Статья поступила в редакцию 12 августа 2013 г.

*Середина Наталья Александровна* – аспирант кафедры «Теория механизмов и машин и детали машин» ФГБУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, Россия. E-mail: seredanal@mail.ru

*Sereda Natalia Aleksandrovna* – Graduate student, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia. E-mail: seredanal@mail.ru