

УДК 664.95:621.798.4(088.8)

# Повышение эффективности работы укладочных машин для автоматизированных рыбоконсервных линий

Чл.-кор. МАХ А.С. ГОРЛАТОВ

Калининградский государственный технический университет

*On the example of a rotor can-packing machine for automatic canned fish line it is shown that in a series of operations of a layer-by-layer putting of pieces into the containers the limiting operation is that of formation of the layer of pieces on the batcher.*

*The ratio of the time of forming of the layer of items to the working cycle of the packing machine can be taken as a determining parameter. This parameter can serve as a characteristic of the optimum process of a layer-by-layer packing of pieces and the indicator of the presence or absence of the potential for increasing the efficiency of the operation of the packing machine.*

Производительность укладочных машин, применяемых в различных отраслях промышленности, является важным показателем, определяющим степень их соответствия уровню развития производства. В полной мере этот показатель применим для оценки совершенства укладочных машин с любой структурой кинематической цепи. Следует отметить, что поиск наилучшего варианта конструкции укладочной машины представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, выполнение которой связано с глубокими проработками и, как правило, ограниченными сроками ее решения. В таких условиях конструктор может более оперативно рассчитать производительность или иной показатель совершенства машины в функции лимитирующей операции, отбраковывая при этом факторы, слабо влияющие на величину и характер функции.

Рассмотрим в качестве примера роторную (карусельную) банкоукладочную машину, используемую в автоматизированной рыбоконсервной линии. Целесообразность применения машин такого типа в автоматизированных линиях определяется их высокой производительностью и большими возможностями увеличения производительности. В рыбоконсервном производстве традиционно используется мелкая консервная тара, поэтому производительность линий в штучном измерении (банок/мин) оказывается в 3 – 4 раза выше линий, выпускающих, например, овощные, мясные или мясорастительные консервы, при одинаковой с ними производительности по массе продукта [1 – 3]. Очевидно, что выявление имеющихся резервов производительности роторных укладочных машин является важной технической задачей.

Укладочная машина роторного типа выполняет за полный оборот ротора следующие операции: образование слоя изделий на формирователе питателя, съем этого слоя и перенос его захватом в позицию укладки, за-

грузку слоя изделий в ящик, вывод захвата из ящика и возвращение его в рабочее положение, подачу прокладки на уложенный в ящик слой изделий, опускание ящика на шаг, равный высоте слоя изделий. При наличии в укладочной машине нескольких захватов перечисленные операции последовательно повторяются. Каждая операция совершается за время некоторого дугового пути ротора. Все операции выполняются в указанной последовательности, однако образование слоя изделий на формирователе совмещено по времени с остальными операциями [4 – 6].

Производительность роторной укладочной машины можно определить по формуле

$$G = 60nzu = 60\omega zu / (2\pi), \quad (1)$$

где  $G$  – производительность, банок/мин;

$n$  – частота вращения ротора,  $c^{-1}$ ;

$z$  – число захватов;

$u$  – число изделий (банок) в слое;

$\omega$  – угловая скорость ротора, рад/с.

Оценивая влияние независимых переменных  $n$ ,  $z$ , и  $u$  на производительность машины, в соответствии с формулой (1) отметим следующее:

при постоянных значениях  $z$  и  $u$  изменение частоты вращения ротора, несущего захваты, приводит к изменению производительности и периода рабочего цикла;

при постоянных значениях  $n$  и  $u$  изменение числа захватов также приводит к изменению периода рабочего цикла и производительности;

при постоянных значениях  $n$  и  $z$  изменение числа изделий влияет на производительность укладочной машины, но не влияет на период рабочего цикла.

Для укладочной машины критерием оптимизации могут служить: увеличение частоты повторения рабочих циклов, определяющих производительность; точность укладки, с повышением которой снижаются вне-

цикловые простои машин и растет производительность; минимальные энергозатраты на укладку при заданной производительности, т.е. выполнение процесса при минимальном движущем моменте на валу привода.

Опыт эксплуатации укладочной машины в рыбоконсервном производстве показал, что лимитирует уменьшение периода рабочего цикла и соответственно ограничивает повышение производительности операция образования слоя банок на формователе [7]. Время выполнения данной операции зависит от конструкции питателя и схемы расположения изделий в слое. При наиболее распространенной в рыбоконсервных линиях схеме укладки 3×4 банки в слое питатель, включающий накопитель, ворошитель и формователь, работает весьма эффективно, обеспечивая формирование слоя из 12 банок за 2,5 с.

Производительность роторной укладочной машины, выраженную через период рабочего цикла, определяем по формуле

$$G = 60zu/\tau = 60u/\tau_p, \quad (2)$$

где  $\tau$  – продолжительность одного оборота ротора (время кинематического цикла), с;

$\tau_p$  – период рабочего цикла ( $\tau_p = \tau/z$ ), с.

С учетом подчиненности рабочего цикла времени образования слоя банок на формователе питателя формулу (2) представим как

$$G = 60\eta u/\tau_\phi, \quad (3)$$

где  $\eta$  – параметр, характеризующий полноту использования времени формирования слоя в периоде рабочего цикла,  $\eta = \tau_\phi / \tau_p$ ;

$\tau_\phi$  – время образования слоя на формователе, с.

Параметр  $\eta$  удовлетворяет условию  $\eta \leq 1$ , при  $\eta = 1$  формула (3) принимает вид

$$G = 60 u / \tau_\phi. \quad (4)$$

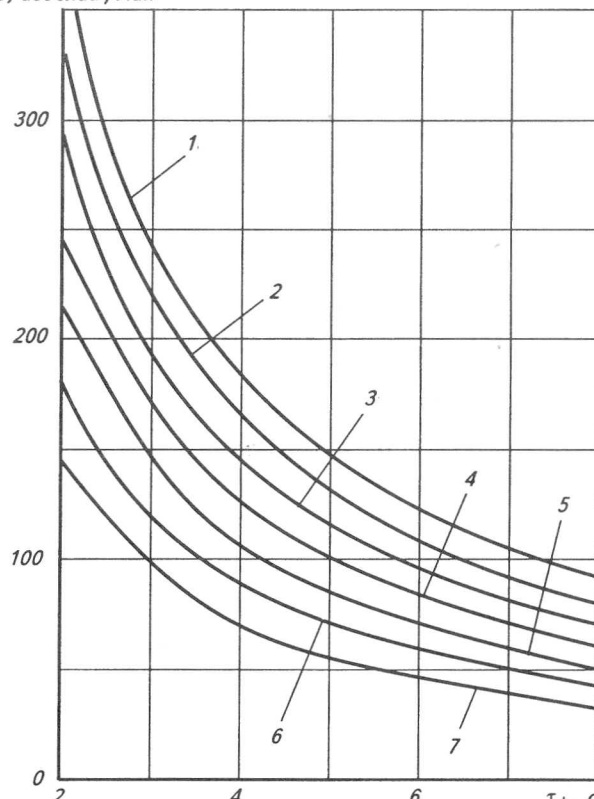
Равенство (4) определяет условия, при которых максимально используется скорость исполнительных механизмов укладочной машины и обеспечивается возможность ее функционирования при наибольшей производительности. Иначе говоря, равенство  $\tau_p = \tau_\phi$  соответствует укладочной машине, структура кинематической цепи которой способна обеспечить укладку при минимально допустимом периоде рабочего цикла. Очевидно, что при агрегатировании укладочной машины с эффективно работающим питателем параметр  $\eta$  может служить характеристикой оптимального уровня процесса укладки изделий в тару.

Из формул (1) и (2) следует, что при  $u = \text{const}$  соответствующая производительность укладочной машины может быть достигнута при различных значениях  $n$  и  $z$ , поскольку  $\tau_p = 1/nz$ . Следует отметить, что параметры  $n$  и  $z$  неравнозначно влияют на работоспособность укладочной машины. Так, при  $u = 12$ ,  $z = 4$  и  $\tau_p = 2,5$  с производительность  $G = 288$  банок/мин обеспечивается машиной при частоте вращения ротора  $n = 0,1 \text{ с}^{-1}$  (6 об/мин). При

том же времени рабочего цикла указанную производительность можно обеспечить машиной с одним захватом при  $z = 1$ . Частота вращения ротора при этом составит  $n = 0,4 \text{ с}^{-1}$  (24 об/мин), т.е. будет в 4 раза больше. Увеличение скорости ротора негативно сказывается на работоспособности исполнительных механизмов машины, что приводит к снижению частоты повторения рабочих циклов из-за внецикловых простоев, соответствующему уменьшению производительности и ухудшению качества укладки изделий.

Графики функции  $G = f(\tau_\phi, \eta, u)$ , полученные при значениях  $\tau_\phi$  от 2 до 8 с для постоянных шаговых значений  $\eta$  от 0,4 до 1 и при  $u = 12 = \text{const}$ , представлены на рисунке. Анализ графиков показывает, что укладочная машина может обеспечивать заданную производительность при различных значениях  $\eta$ . При оптимальном значении  $\eta$  работоспособность механизмов машины используется максимально. Так, при времени формирования слоя  $\tau_p = 2,52$  с и  $\eta = 0,7$  производительность укладочной машины достигает 200 банок/мин, при этом период рабочего цикла составляет  $\tau_p = 3,6$  с. Указанную производительность можно иметь при таком же значении  $\tau_p$  в интервале  $\tau_\phi 2,52..3,6$  с и  $\eta$  соответственно 0,7...1. Иными словами, заданную производительность укладочной машины можно обеспечить при менее высоком уровне интенсификации процесса формирования слоев, т.е. при меньших энергозатратах на работу питателя.

$G$ , изделий / мин



Зависимость функции  $G = f(\tau_\phi, \eta, u)$  от  $\tau_\phi$  при различных значениях  $\eta$ :

1 – 1,0; 2 – 0,9; 3 – 0,8; 4 – 0,7; 5 – 0,6; 6 – 0,5; 7 – 0,4

С другой стороны, увеличение параметра  $\eta$  при  $\tau_{\phi} = \text{const}$  приводит к росту производительности укладочной машины за счет уменьшения времени рабочего цикла. Увеличение производительности при этом особенно заметно в интервале эффективного формирования слоев: при  $\tau_{\phi} = 2,5 \dots 5$  с. Например, при  $\tau_{\phi} = 3$  с и  $\eta = 0,6$  время рабочего цикла составляет  $\tau_p = 5$  с, а производительность машины – 144 банки/мин. При том же значении  $\tau_{\phi}$  параметр  $\eta$  можно увеличить до  $\eta = 1$ , а это приведет к уменьшению периода рабочего цикла до  $\tau_p = 3$  с и повышению производительности укладочной машины до 240 банок/мин. Очевидно, что при малых значениях  $\tau_{\phi}$  создается потенциал, или резерв, возможного повышения производительности укладочной машины за счет интенсификации процесса укладки изделий в тару.

Следует отметить, что в роторных укладочных машинах уменьшить время рабочего цикла до  $\tau_{\phi}$  бывает нередко трудно из-за несовершенства исполнительных механизмов, обеспечивающих при непрерывном вращении ротора подачу и укладку изделий в ящик и выход захвата из ящика, занимающего фиксированное положение. Поэтому повышение производительности роторных укладочных машин должно идти по пути совершенствования их исполнительных механизмов.

В аспекте выраженного влияния параметра  $\eta$  на работоспособность укладочной машины определим цикловую производительность машины как функцию частоты вращения ротора. Запишем полный дифференциал функции производительности

$$dG = \frac{\partial G}{\partial n} dn + \frac{\partial G}{\partial z} dz + \frac{\partial G}{\partial u} du. \quad (5)$$

С учетом первичных ошибок получаем выражение

$$\Delta G = \frac{\partial G}{\partial n} \Delta n + \frac{\partial G}{\partial z} \Delta z + \frac{\partial G}{\partial u} \Delta u, \quad (6)$$

где  $\Delta n$ ,  $\Delta z$ ,  $\Delta u$  – первичные ошибки в определении параметров соответственно  $n$ ,  $z$ ,  $u$ .

Частные производные при первичных ошибках составляют:

$$\frac{\partial G}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial n} (60nzu) = 60zu; \quad (7)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (60nzu) = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial u} = \frac{\partial}{\partial u} (60nzu) = 0. \quad (8)$$

Выражение (6) примет вид

$$\Delta G = 60zu\Delta n. \quad (9)$$

Цикловая производительность укладочной машины составит

$$G_{\text{ц}} = G \pm \Delta G = 60nzu \pm 60zu\Delta n, \quad (10)$$

где  $G_{\text{ц}}$  – цикловая, или теоретическая, производительность укладочной машины;

$G$  – производительность укладочной машины, определенная по формуле (1);

$\Delta G$  – максимальная ошибка в расчете производительности укладочной машины при первичной ошибке  $\Delta n$  в определении частоты вращения ротора и постоянных значений аргументов  $z$  и  $u$ .

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- параметр  $\eta$ , равный отношению времени операции формирования слоя к периоду рабочего цикла укладочной машины, может служить характеристикой оптимальности процесса укладки изделий в тару и показателем наличия или отсутствия потенциала для повышения эффективности работы машины;

- наибольший прирост производительности укладочной машины за счет увеличения параметра  $\eta$  достигается при времени формирования слоя от 2 до 5 с, при этом чем меньше время формирования слоя, тем больше прирост производительности;

- интенсификация процесса образования слоев изделий на формователе при постоянном времени рабочего цикла укладочной машины ( $\tau_p = \text{const}$ ) способствует образованию потенциала для последующего повышения производительности машины путем увеличения параметра  $\eta$  и соответствующего уменьшения периода рабочего цикла.

#### Список литературы

1. Горлатов А.С. Сравнительная оценка банкоукладочных машин // Технол. процессы и оборуд. рыбообработывающих предприятий Западного бассейна: Сб. науч. тр. КТИРПХ. – Калининград. 1978. Вып. 76.
2. Горлатов А.С. Анализ производительности технологических машин карусельного типа // Исслед. судового холодильного оборуд.: Сб. науч. тр. КТИРПХ. – Калининград. 1980. Вып.88.
3. Горлатов А.С. Повышение производительности технологических поточных линий // Совершенствование механизмов и машин рыбообработывающих произв.: Сб. науч. тр. КТИРПХ. – Калининград. 1985.
4. Горлатов А.С. Роторная банкоукладочная техника // Изв. вузов СССР. Пищевая технология. 1990. № 5.
5. Горлатов А.С. Совершенствование банкоукладочных машин для рыбоконсервного производства // Совершенствование процессов, машин и аппаратов рыбопереработывающих произв.: Сб. науч. тр. КТИРПХ. – Калининград. 1992.
6. Горлатов А.С. Анализ работы автомата для укладки штучных изделий в тару // Современные технологии и оборуд. для перераб. гидробионтов: Сб. докл. науч.-техн. конф. МГАРФ. – Мурманск, 1994.
7. Горлатов А.С. Разработка устройств, имитирующих функции рук человека // Совершенствование процессов, машин и аппаратов пищ. произв.: Сб. науч. тр. КГТУ. – Калининград. 1995.