

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТГРУЗКИ И УКЛАДКИ КОЧАНОВ В КОНТЕЙНЕРЫ ПРИ ЩАДЯЩЕМ РЕЖИМЕ МАШИННОЙ УБОРКИ КАПУСТЫ

SIMULATION OF THE PROCESS OF SHIPPING AND STOWING CABBAGE IN CONTAINERS WITH GENTLE MACHINE-HARVESTING REGIME OF CABBAGE

С.С. АЛАТЫРЕВ, Д.Т.Н.
И.С. КРУЧИНКИНА, К.Т.Н.
А.С. АЛАТЫРЕВ, К.Т.Н.
А.П. ЮРКИН

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары, Россия, if7@academy21.ru

S.S. ALATYREV, DSc in Engineering
I.S. KRUCHINKINA, PhD in Engineering
A.S. ALATYREV, PhD in Engineering
A.P. YURKIN

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia, if7@academy21.ru

При традиционной машинной уборке кочаны капусты в значительной степени механически повреждаются. В этой связи предложен новый способ машинной уборки, позволяющий существенно снизить их повреждаемость. В нем, в отличие от традиционного способа, кочаны сначала отгружают в щадящем режиме на гибкий настил корытообразной формы, установленный на специальной стойке на платформе транспортного средства, а затем вручную перекалывают в контейнеры. Интенсивность процесса перекалки кочанов капусты с настила в контейнеры растет с увеличением количества обслуживающего персонала, находящегося в кузове сопровождающего транспортного средства. Однако это количество должно быть по возможности минимальным, чтобы снизить трудозатраты на выполнение данной операции. К тому же число рабочих мест в кузове сопровождающего транспортного средства ограничено его размерами. В силу указанных причин целью исследования является обоснование потребного количества рабочих, занятых перекалкой кочанов капусты с настила в контейнеры. В обосновании числа обслуживающего персонала этот процесс рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с отказами. В результате описана суть происходящих явлений и установлена с достаточной для практики точностью количественная связь между характеристикой потока кочанов капусты, поступающих с элеватора на настил, и числом обслуживающего персонала, перекалывающего их в контейнеры. Проведено моделирование процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при щадящем режиме машинной уборки капусты на основе теории массового обслуживания. Представленные методика и результаты расчетов могут быть приняты за основу при обосновании количества обслуживающего персонала в предложенном способе машинной уборки капусты.

Ключевые слова: машинная уборка капусты, гибкий настил корытообразной формы, система массового обслуживания, число обслуживающего персонала.

During traditional machine cleaning cabbages are mechanically damaged to a considerable extent. In this regard, a new method of machine cleaning is proposed, which allows to significantly reduce their damageability. In it, unlike the traditional method, the heads are first shipped in a gentle manner to a flexible trough floor, mounted on a special rack on the vehicle platform, and then manually transferred into containers. The intensity of the process of shifting cabbage heads from the decking to the containers increases with the increase in the number of attendants on the back of the accompanying vehicle. However, the number of them should be as small as possible in order to reduce the labor costs for this operation. In addition, the number of jobs on the body of the accompanying vehicle is limited by its size. For these reasons, the purpose of the study is to justify the required number of personnel involved in rearranging the cabbage heads from the flooring into containers. In support of the number of personnel, this process is considered as a multi-channel queuing system with failures. As a result, the essence of the occurring phenomena is described and it is established with a quantitative enough connection for the practical accuracy between the characteristics of the cabbage flow coming from the elevator to the flooring and the number of maintenance personnel shifting them into containers. Modeling of the process of shipment and packing of cabbage in containers with sparing mode of machine harvesting of cabbage based on the theory of mass service is carried out. The presented methodology and results of calculations can be taken as a basis for justifying the number of personnel in the proposed method of machine harvesting of cabbage.

Keywords: machine harvesting of cabbage, flexible flooring trough-shaped, queuing system, number of personnel.

Введение

При традиционной машинной уборке капусты ее кочаны в значительной степени механически повреждаются [1], что снижает их лежкость при хранении [2]. В этой связи нами предложен новый способ машинной уборки кочанной капусты [3], позволяющий существенно снизить повреждаемость кочанов при отгрузке и закладке на хранение [4].

В нем, в отличие от традиционного способа машинной уборки, сначала кочаны отгружают на гибкий настил корытообразной формы 1, установленный на специальной стойке 2 на платформе транспортного средства 3 над съемными контейнерами 4 (рис. 1). Одновременно рабочие, находясь на платформе, достают кочаны с поверхности настила и бережно укладывают в контейнеры 4, ориентируя кочерыгами в сторону бортов [5].

При этом отгрузка кочанов производится на настил ровным слоем по всей длине. Для этого сопровождающее транспортное средство движется с переменной, плавно меняющейся скоростью, допуская периодически некоторое запаздывание или опережение относительно элеватора уборочного агрегата.

После наполнения контейнеров кочанами капусты транспортное средство отправляют в хранилище, где с помощью вилочного погрузчика груженные контейнеры заменяют порожними, оставляя гибкий настил 1 со стойкой 2 на платформе для выполнения последующего цикла работы. Далее транспортное средство с порожними контейнерами и описанным выше приспособлением отправляется на поле для сопровождения капустоуборочного комбайна.

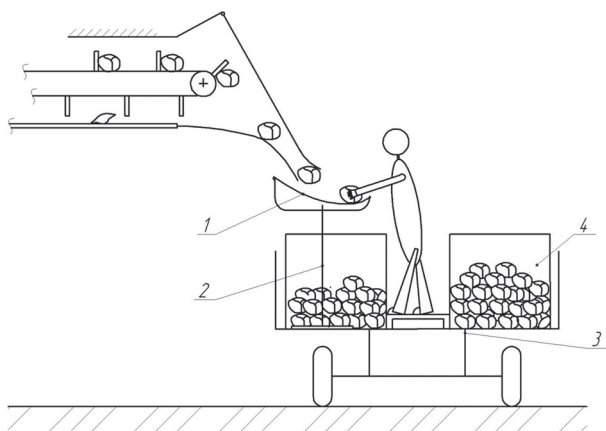


Рис. 1. Схема отгрузки кочанов с использованием гибкого настила при машинной уборке капусты в щадящем режиме

Оставленные контейнеры с кочанами капусты устанавливают в хранилище в штабелях с помощью того же вилочного погрузчика.

Цель исследования

Процесс механизированной уборки бело-кочанной капусты по данному способу будет протекать устойчиво, если обслуживающий персонал, находящийся в кузове сопровождающего транспортного средства, будет успевать перекладывать поступившие на настил кочаны капусты в контейнеры. В противном случае на настиле не останется свободных мест для вновь поступающих кочанов капусты, следовательно необходимо будет периодически останавливать уборочный агрегат, чтобы была пауза для освобождения места на настиле под вновь поступающие кочаны. Такой рабочий процесс механизированной уборки нельзя считать эффективных.

Заметим, интенсивность процесса перекладки кочанов капусты с настила в контейнеры растет с увеличением количества обслуживающего персонала, находящегося в кузове сопровождающего транспортного средства. Однако количество рабочих должно быть по возможности минимальным, чтобы снизить трудозатраты на выполнение данной операции [6]. К тому же число рабочих мест в кузове сопровождающего транспортного средства ограничено его размерами.

В силу указанных причин целью исследования является обоснование потребного количества обслуживающего персонала, занятого перекладкой кочанов капусты с настила в контейнеры.

Материалы и методы исследования

Обоснование потребного количества обслуживающего персонала, на наш взгляд, может быть успешно выполнено путем использования теории массового обслуживания операций. При этом, стоит задача в полном объеме описать суть происходящих явлений и установить с достаточной для практики точностью количественную связь между характеристикой потока поступающих с элеватора капустоуборочного комбайна кочанов капусты и числом обслуживающего персонала, а также качеством обслуживания. При этом, под качеством обслуживания понимается, насколько своевременно перекладываются кочаны капусты с настила в контейнеры.

Поступление потока кочанов капусты от элеватора на настил, процесс их перекладки обслуживающим персоналом с настила в контейнеры можно рассматривать как многократное выполнение однотипных задач, входящих в систему массового обслуживания (далее СМО). Схема такой системы изображена на рис. 2.

В данном случае поток кочанов капусты, отгружаемых элеватором на настил, называем входящим потоком заявок. Лица, перекладывающие кочаны капусты с настила в контейнеры, отнесем к каналам СМО. На рис. 1 каналы СМО показаны позициями от 1 до n .

Рассматриваемая СМО является многоканальной системой с ожиданием, так как она имеет n каналов, на которые поступает поток заявок с интенсивностью λ , интенсивность обслуживания (для одного канала) μ , кочаны капусты, не имеющие возможность обслуживания в сию минуту из-за занятости каналов, находящихся в ожидании на настиле. При этом для того, чтобы система эффективно функционировала, отказов в обслуживании практически не должно быть, режим должен быть установившимся, т.е. очередь не должна бесконечно возрастать.

Интенсивность входящего потока заявок при уборке капусты однорядным комбайном может быть определена исходя из средней рабочей скорости v_{cp} уборочного агрегата и расстояния между растениями капусты в ряду (шага посадки рассады) по формуле:

$$\lambda = \frac{v_{cp}}{a}.$$

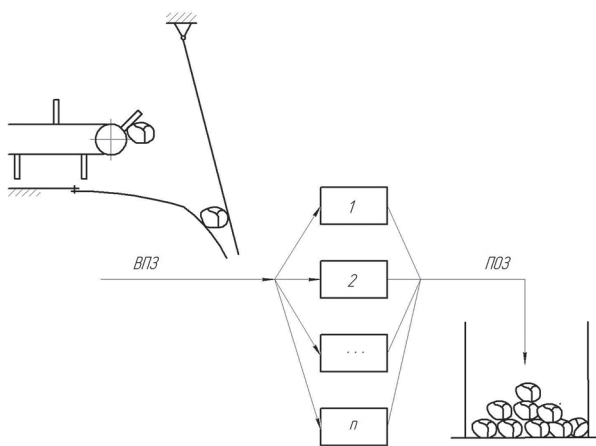


Рис. 2. Схема СМО при отгрузке кочанов капусты на настил и перекладке их в контейнеры:

ВПЗ – входящий поток заявок; ПОЗ – поток обслуженных заявок; 1, 2 ... n – каналы системы

При $v_{cp} = 0,65$ м/с интенсивность входящего потока $\lambda = 1,08$ с⁻¹.

Интенсивность обслуживающего одного канала может быть определена экспериментально исходя из времени обслуживания по формуле:

$$\mu = \frac{1}{t_{об}}.$$

При $t_{об} = 2,5 \dots 2,8$ с интенсивность обслуживания $\mu = 0,33 \dots 0,4$ с⁻¹.

В рассматриваемой СМО возможны разные состояния. Эти возможные состояния системы обозначим исходя из числа занятых каналов и числа заявок в очереди: S_0 – все каналы свободны; S_1 – занят один канал, остальные свободны; S_k – заняты k каналов, остальные свободны; S_n – заняты все n каналов; S_{n+1} – заняты все n каналов, одна заявка стоит в очереди; S_{n+r} – заняты все n каналов, r заявок стоят в очереди.

Граф состояний приведен на рис. 3. Здесь у каждой стрелки показаны соответствующие интенсивности потоков событий. Заметим, по стрелкам слева направо систему переводит из одного состояния в другое всегда один и тот же поток заявок с интенсивностью λ , по стрелкам справа налево систему переводит поток обслуживаний, интенсивность которого равен μ , умноженному на число занятых каналов.

В данном случае выражения для предельных вероятностей состояний системы можно представить в виде [7]:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \left[1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right]^{-1}; \\ P_1 &= \frac{\rho}{1!} \cdot P_0; \\ P_2 &= \frac{\rho^2}{2!} \cdot P_0; \\ P_n &= \frac{\rho^n}{n!} \cdot P_0; \\ P_{n+1} &= \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot P_0; \\ P_{n+2} &= \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} \cdot P_0; \\ P_{n+r} &= \frac{\rho^{n+r}}{n^r n!} \cdot P_0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь $\rho = \lambda / \mu$ – интенсивность нагрузки канала.

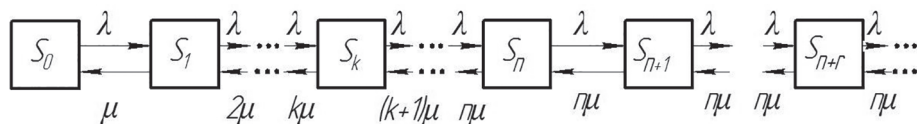


Рис. 3. Граф состояний СМО при отрезке кочанов капусты на настил и перекладке их в контейнеры

Заметим, рассматривая СМО будет функционировать в установившемся режиме при $\chi = \rho / n < 1$. При $\chi \geq 1$ очередь заявок в ожидании обслуживания будет бесконечно возрастать. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только варианты, при которых $\chi < 1$. В СМО в данных вариантах каждая заявка рано и поздно будет обслужена, поэтому ее характеристики соответственно будут равны:

- вероятность отказа $P_{\text{отк}} = 0$;
- относительная пропускная способность системы $q = 1$;
- абсолютная пропускная способность:

$$A = \lambda q = \lambda. \quad (2)$$

При этом среднее число заявок, ожидающих обслуживания, определяется по формуле [7]:

$$\bar{r} = \frac{\rho^{n+1} P_0}{n \cdot n! (1 - \chi)^2}, \quad (3)$$

а среднее время ожидания заявки

$$t_{\text{ож}} = \frac{\rho^n P_0}{n \mu n! (1 - \chi)^2}. \quad (4)$$

Среднее число занятых каналов находится через абсолютную пропускную способность

$$\bar{z} = \frac{A}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho, \quad (5)$$

а вероятность отсутствия очереди в обслуживании при n каналах – по формуле

$$P_{\text{оо}} = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (6)$$

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты расчетов показателей эффективности функционирования рассматриваемой СМО, полученные по формулам (1–6) при $\lambda = 1,08$ и $\mu = 0,38$ для различного числа обслуживающего персонала, представлены в табл. 1.

Как выяснилось выше, поступившие на вход СМО заявки тогда, когда все каналы заняты, временно получают отказ и ожидают обслуживания в очереди на настиле. Число их, одновременно находящихся на настиле, не должно превышать числа свободных мест $[r]$ на нем. В противном случае они будут выпадать из желоба настила, что недопустимо по условиям бережной уборки белокочанной капусты. Так, при рабочей длине тракторной тележки 2-ПТС-4,5 $l = 3900$ мм число свободных мест $[r] = 7 \dots 9$ мест.

Таким образом, как видно из табл. 1, для того чтобы удовлетворить условию $r \leq [r]$, число обслуживающего персонала должно состоять из 4 чел. При этом вероятность отсутствия очереди составляет 0,64, среднее число заявок, ожидающих обслуживания, – 1,087, среднее время ожидания заявки – 1,01 с, среднее число занятых каналов – 2,84.

Вместе с тем следует заметить, что результаты расчетов, представленные в табл. 1, получены при интенсивности входящего потока λ с учетом теоретического шага посадки рассады капусты. Однако часто выясняется, что часть высаженной рассады погибает в период вегетации, поэтому фактическая интенсивность

Таблица 1

Показатели эффективности функционирования СМО при отгрузке кочанов капусты на настил и перекладке их в контейнеры (при $\chi < 1$)

Число каналов СМО (число обслуживающего персонала) n	Показатели СМО					
	P_0	$P_{\text{оо}}$	A	\bar{r}	$t_{\text{ож}}, \text{с}$	\bar{z}
3	0,0126	0,15	1,08	16,02	15,08	2,84
4	0,0475	0,64	1,08	1,087	1,01	2,84
5	0,0556	0,83	1,08	0,260	0,24	2,84
6	0,0577	0,90	1,08	0,07	0,07	2,84

входящего потока обычно бывает меньше $\lambda = 1,08 \text{ с}^{-1}$. В этой связи возможно снижение необходимого числа обслуживающего персонала до 3 чел.

Заключение

Проведено моделирование процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при щадящем режиме машинной уборки капусты на основе теории массового обслуживания.

Представленные методика и результаты расчетов могут быть приняты за основу при обосновании количества обслуживающего персонала в предложенном способе машинной уборки капусты.

Литература

1. Алатырев С.С., Григорьев А.О., Алатырев А.С. Обоснование параметров устройства для отгрузки кочанов капусты в кузов транспортного средства // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 9. С. 11–14.
2. Кручинкина И.С., Алатырев А.С. К вопросу снижения повреждаемости кочанов при машинной уборке капусты // Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2015. С. 617–620.
3. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Юркин А.П., Алатырев А.С. Новый способ уборки кочанной капусты // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 5. С. 18–20.
4. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Юркин А.П., Алатырев А.С. Обоснование зоны отгрузки кочанов капусты на гибком настиле при машинной уборке // Вестник Крас ГАУ. 2017. № 6. С. 71–78.
5. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Юркин А.П., Алатырев А.С. Обоснование конструкции и параметров приспособления капусты при машинной уборке // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 3. С. 41–44.
6. Алатырев С.С., Алатырев А.С., Юркин А.П. К оценке экономической эффективности нового способа уборки кочанной капусты: матер. Всерос. науч.-практ. конф. «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики», проводимой в рамках мероприятий, посвященных 85-летию Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 150-летию Русского технического общества и приуроченной к 70-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации Акимова

Александра Петровича. Чебоксары: ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА. 2016. С. 31–38.

7. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио. 1972. 552 с.

References

1. Alatyrev S.S., Grigor'ev A.O., Alatyrev A.S. Justification of the parameters of the device for shipping cabbages to the vessel of the vehicle. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015. No 9, pp. 11–14.
2. Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Reducing the head injuries in machine cabbage harvesting. *Prodovol'stvennaya bezopasnost' i ustoychivoe razvitiye APK: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Food security and sustainable development of the agroindustrial complex: materials of the Intern. scientific-practical. Conf.]. Cheboksary, 2015, pp. 617–620.
3. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Yurkin A.P., Alatyrev A.S. New way to harvest cabbage. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015. No 5, pp. 18–20.
4. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Yurkin A.P., Alatyrev A.S. Justification of the cabbage shipment zone on a flexible floor during machine cleaning. *Vestnik Kras GAU*. 2017. No 6, pp. 71–78.
5. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Yurkin A.P., Alatyrev A.S. Substantiation of the design and parameters of the adaptation of cabbage in machine harvesting. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. No 3, pp. 41–44.
6. Alatyrev S.S., Alatyrev A.S., Yurkin A.P. Estimation of economic efficiency of a new method of harvesting cabbage: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. «Sovremennoe sostoyanie prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki», provodimoy v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh 85-letiyu Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obshchestva i priurochennoy k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii Akimova Aleksandra Petrovicha [Materials of All-Russian scientific-practical. Conf. «The current state of applied science in the field of mechanics and energy», held in the framework of events dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy, the 150th anniversary of the Russian Technical Society and 70th birthday of the Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Highest schools of the Russian Federation Alexander Akimov]. Cheboksary: FGBOU VO Chuvashskaya GSKhA Publ.. 2016, pp. 31–38.
7. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsiy [Operations research]. Moscow: Sovetskoe radio Publ. 1972. 552 p.