

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТГРУЗКИ И УКЛАДКИ КОЧАНОВ В КОНТЕЙНЕРЫ
ПРИ МАШИННОЙ УБОРКЕ КАПУСТЫ В ЩАДЯЩЕМ РЕЖИМЕ

Alatyrev S.S., Mishin P.V.,
Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S.

OPTIMIZATION OF THE LOADING AND LAYING PROCESS OF CABBAGE IN CONTAINERS
AT CABBAGE MACHINE HARVESTING IN SPARE REGIME

Алатырев С.С. – д-р техн. наук, проф. каф. транспортно-технологических машин и комплексов Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, г. Чебоксары. E-mail: s_alatyrev1955@mail.ru

Мишин П.В. – д-р техн. наук, проф., директор ГА-ПОУ ЧР «Чебоксарский техникум строительства и городского хозяйства», г. Чебоксары. E-mail: s_alatyrev1955@mail.ru

Кручинкина И.С. – канд. техн. наук, доц. каф. математики, физики и информационных технологий Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, г. Чебоксары. E-mail: irinka58.84@mail.ru

Алатырев А.С. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. транспортно-технологических машин и комплексов Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, г. Чебоксары. E-mail: leha.alatyrev@mail.ru

Alatyrev S.S. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Transport Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary. E-mail: s_alatyrev1955@mail.ru

Mishin P.V. – Dr. Techn. Sci., Prof., Director SAPEI ChR‘Cheboksary Technical School of Construction and Municipal Economy’, Cheboksary. E-mail: s_alatyrev1955@mail.ru

Kruchinkina I.S. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary. E-mail: irinka58.84@mail.ru

Alatyrev A.S. – Cand. Techn. Sci., Asst, Chair of Transport Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary. E-mail: leha.alatyrev@mail.ru

При традиционной машинной уборке кочаны капусты в значительной степени механически повреждаются. В этой связи предложен новый способ машинной уборки, позволяющий в значительной степени 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 перекладывают их в контейнеры. В целях обоснования числа обслуживающего персонала этот процесс рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с отказами. 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, перекладывающего их в контейнеры.

Представлены схемы размещения контейнеров с разными габаритными размерами на кузове транспортного средства. В частности выяснилось, что кочаны, поступившие на гибкий настил тогда, когда все обслуживающие рабочие заняты, временно получают отказ и ждут обслуживания на настиле. Число кочанов, одновременно находящихся на гибком настиле, не должно превышать числа свободных мест на нем. Для того чтобы удовлетворять это условие, число обслуживающего персонала на тракторной тележке 2-ПТС-4,5 должно состоять из 3–4 чел. При этом представлены в качестве примера предпочтительные схемы размещения наиболее широко распространенных овощных контейнеров на кузове названной тракторной тележки. Представленная методика и результаты расчетов могут быть приняты за основу при обосновании количества обслуживающего персонала и схемы расстановки контейнеров на

разных транспортных средствах при уборке капусты по данному способу.

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

During traditional machine harvesting cabbage heads are substantially mechanically damaged. In this regard a new way of machine harvesting allowing reducing substantially their damages is offered. Here unlike a traditional way the heads of cabbage at first ship in the sparing mode on the flexible flooring of a trough-shaped form established on a special rack on a vehicle platform and then manually shift them into containers. For the justification of the number of service personnel this process is considered as multi-channel system of mass service with refusals. The essence of the occurring phenomena is described and quantitative connection between the characteristic of the stream of the heads of cabbage arriving from an elevator on flooring and number of the service personnel shifting them in containers is established with the accuracy, sufficient for practice. The schemes of placement of containers with different overall dimensions on a vehicle body are submitted. In particular it became clear that the heads of cabbage which arrived on flexible flooring when all serving workers were occupied, temporarily refused and waited for service on flooring. The number of the heads of cabbage at the same time on flexible flooring should not exceed the number of empty seats on it. To satisfy this condition, the number of staff on the tractor cart 2-PTS-4, 5 has to consist of 3–4 people. Thus preferable schemes of placement of the most widespread vegetable containers on the body of the called tractor cart are submitted as an example. Presented technique and the results of calculations can be assumed as the basis of justification of the number of service personnel and the scheme of arrangement of containers on different vehicles on cleaning of cabbage on this way.

Keywords: machine cabbage harvesting, trough-shaped flexible flooring, a mass service system, the number of staff, container placement schemes.

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 в значительной степени снизить их повреждаемость при отгрузке и закладке на хранение [4].

В нем, в отличие от традиционного способа [5] машинной уборки капусты, 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 [6].

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.

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

Процесс механизированной уборки белокочанной капусты по данному способу будет протекать устойчиво, если обслуживающий персонал, находящийся на кузове сопровождающего транспортного средства, будет успевать переключать поступившие на настил кочаны капусты в контейнеры. В противном случае на настиле не останется свободных мест для вновь поступающих кочанов капусты.

Заметим, интенсивность процесса перекладки кочанов капусты с настила в контейнеры растет с увеличением количества обслуживающего персонала, находящегося на кузове сопровождающего транспортного средства. Однако количество их должно быть по возможности минимальным, чтобы снизить трудозатраты на выполнение данной операции [7]. К тому же число рабочих мест на кузове сопровождающего транспортного средства ограничено его размерами.

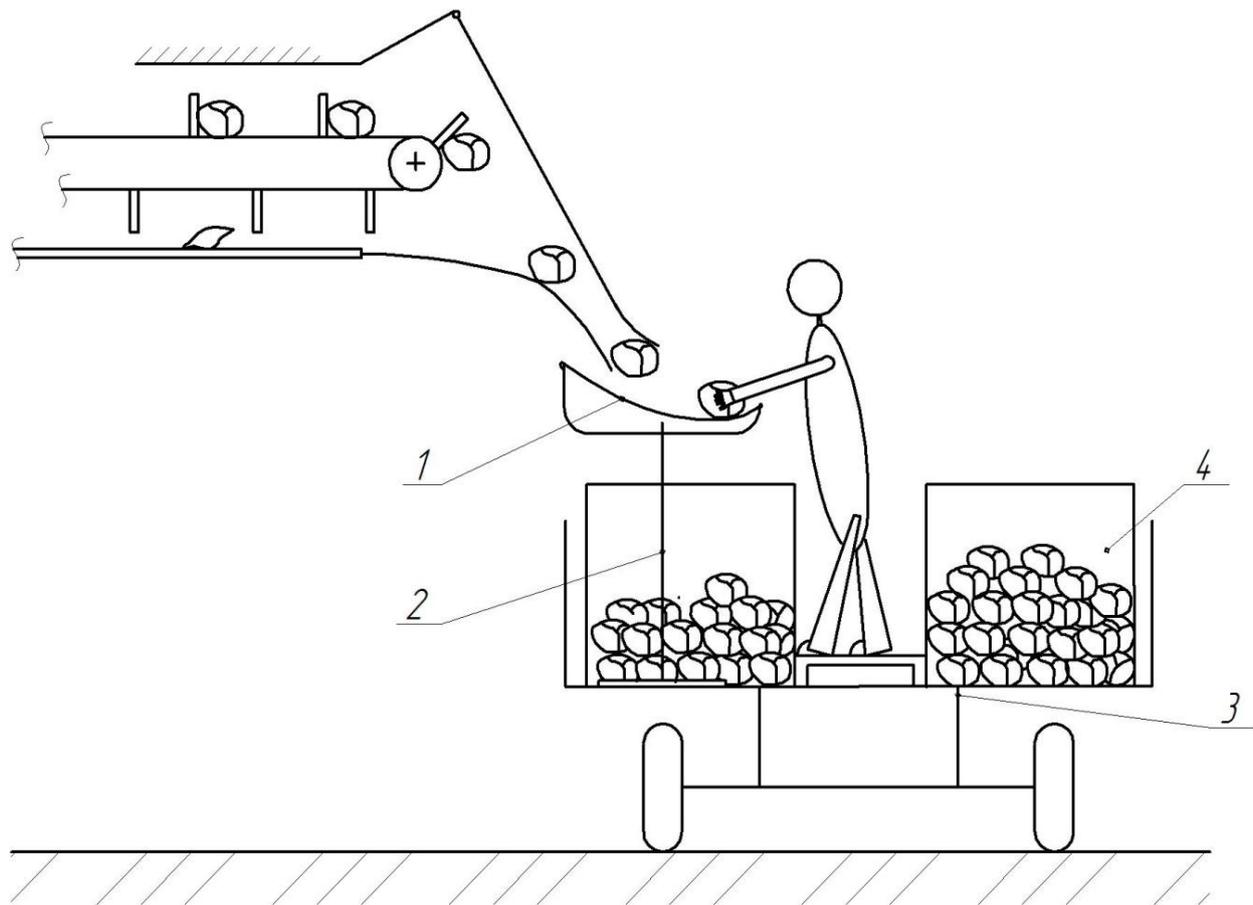


Рис. 1. Схема отгрузки кочанов с использованием гибкого настила при машинной уборке капусты в щадящем режиме

Цель исследования: обоснование потребного количества обслуживающего персонала, занятого перекладкой кочанов капусты с настила в контейнеры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать процесс отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при машинной уборке капусты;
- установить количественную связь между характеристикой поступающего на настил потока и числом обслуживающего персонала.

Методы и результаты исследования. Обоснование потребного количества обслуживающего персонала, на наш взгляд, может быть успешно выполнено путем использования теории массового обслуживания операций. При этом стоит зада-

ча в полном объеме описать суть происходящих явлений и установить с достаточной для практики точностью количественную связь между характеристикой потока поступающих с элеватора 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 рисунке 2.

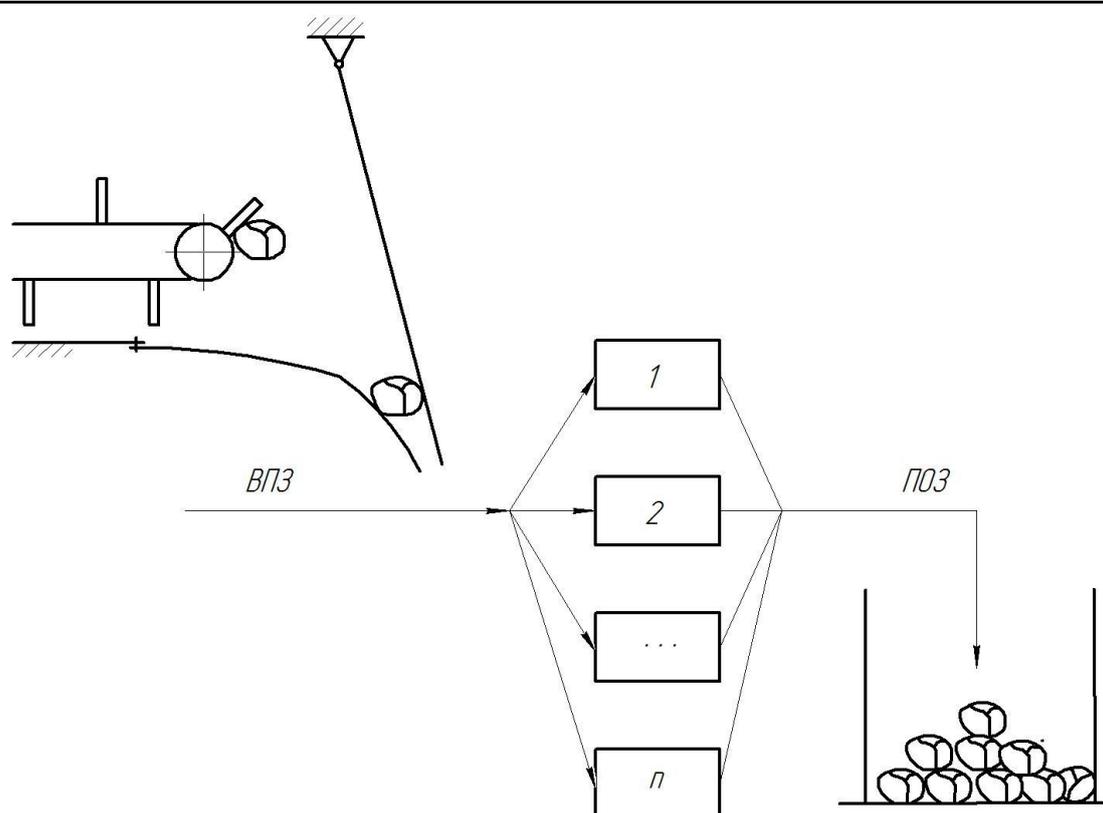


Рис. 2. Схема СМО при отгрузке кочанов капусты на настил и перекладке их в контейнеры: ВПЗ – входящий поток заявок; ПОЗ – поток обслуженных заявок; 1, 2, ..., n – каналы системы

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 рисунке 2 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, находятся в ожидании на настиле. 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 α между растениями капусты в ряду (шага посадки рассады) по формуле

$$\lambda = \frac{v_{cp}}{a}. \quad (1)$$

При $v_{cp} = 0,65 \text{ м/с}$, $a = 0,6 \text{ м}$ интенсивность входящего потока $\lambda = 1,08 \text{ с}^{-1}$.

Интенсивность обслуживающего одного канала может быть определена экспериментально, исходя из времени обслуживания $t_{об}$ по формуле

$$\mu = \frac{1}{t_{об}}. \quad (2)$$

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

В рассматриваемой СМО возможны разные состояния. 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 рисунке 3. Здесь у каждой стрелки показаны соответствующие интенсивности потоков событий. Заметим, что 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 обслуживания, интенсивность которого равен μ , умноженному на число занятых каналов.

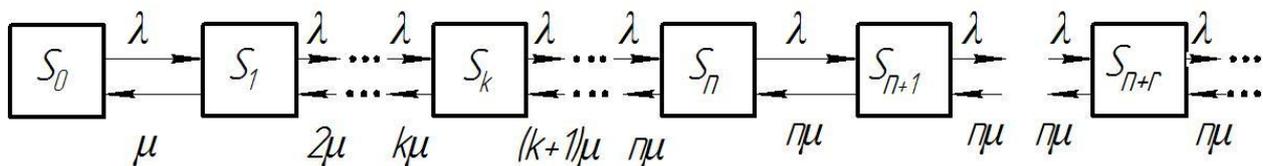


Рис. 3. Граф состояний СМО при отгрузке кочанов капусты на настил и перекладке их в контейнеры

В данном случае выражения для предельных вероятностей состояний системы можно представить в виде [8]:

$$\left. \begin{aligned}
 P_0 &= \left[1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right]^{-1}; \\
 P_1 &= \frac{\rho}{1!} \cdot P_0; \\
 P_2 &= \frac{\rho^2}{2!} \cdot P_0; \\
 P_n &= \frac{\rho^n}{n!} \cdot P_0; \\
 P_{n+1} &= \frac{\rho^{n+1}}{n!} \cdot P_0; \\
 P_{n+2} &= \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} \cdot P_0; \\
 &\dots; \\
 P_{n+r} &= \frac{\rho^{n+r}}{n^r n!} \cdot P_0; \\
 &\dots;
 \end{aligned} \right\} (3)$$

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

Заметим, что рассматриваемая 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 или поздно будет обслужена, поэтому ее характеристики соответственно будут равны:

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

$$A = \lambda q = \lambda. \quad (4)$$

При этом среднее число заявок, ожидающих обслуживания, определяется по формуле [8]

$$\bar{r} = \frac{\rho^{n+1} P_0}{n \cdot n! (1 - \chi)^2}, \quad (5)$$

а среднее время ожидания заявки

$$t_{ож} = \frac{\rho^n P_0}{n \mu n! (1 - \chi)^2}. \quad (6)$$

Среднее число занятых каналов найдется через абсолютную пропускную способность:

$$\bar{z} = \frac{A}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho, \quad (7)$$

а вероятность отсутствия очереди в обслуживании при n каналах по формуле

$$P_{oo} = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (8)$$

Результаты расчетов показателей эффективности функционирования рассматриваемой СМО, полученные по формулам (3)–(8) при $\lambda = 1,08$ и $\mu = 0,38$ для различного числа обслуживающего персонала n представлены в таблице.

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	Показатель СМО					
	P_0	P_{oo}	A	\bar{r}	$t_{ож}, c$	\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

Как указано выше, поступившие на вход СМО заявки в то время, 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 не допустимо по условиям бережной уборки белокочанной капусты. Так, при рабочей длине тракторной тележки 2-ПТС-4,5 $\ell = 4090$ мм число свободных мест $[r] = 7 \dots 9$ мест.

Таким образом, как видно из таблицы, 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 таблице, получены при интенсивности входящего потока с учетом теоретического шага посадки рассады капусты. Однако часто выясняется, что часть высаженной рассады погибает в период вегетации, поэтому фактическая интенсивность входящего потока обычно бывает меньше: $\lambda = 1,08c^{-1}$. В этой связи возможно снижение необходимого числа обслуживающего персонала до 3 чел.

Как говорилось выше, организовывать уборку капусты по предложенному способу представляется возможным при наличии в хозяйстве достаточно количества овощных контейнеров.

На первый взгляд кажется, что это является препятствием для широкого внедрения нового способа уборки капусты на практике. Вместе с тем в настоящее время многие фермерские хозяйства и агрофирмы, занимающиеся товарным производством овощей, уже пользуются овощными контейнерами серийного или собственного производства при ручной уборке кочанной капусты и моркови. Мы считаем, что эти контейнеры также пригодны для использования при механизированной уборке капусты по предложенному способу. Однако следует заметить, что эти контейнеры зачастую не являются однотипными, имеют разные габаритные размеры. Поэтому следует предусматривать различные варианты размещения их и обслуживающего персонала на кузове транспортного средства.

На рисунке 4 представлены в качестве примера предпочтительные схемы размещения наиболее широко распространенных овощных контейнеров, выпускаемых серийно, на тракторной тележке 2-ПТС-4,5 с внутренними размерами кузова: длиной – 4090 мм, шириной – 2230 мм.

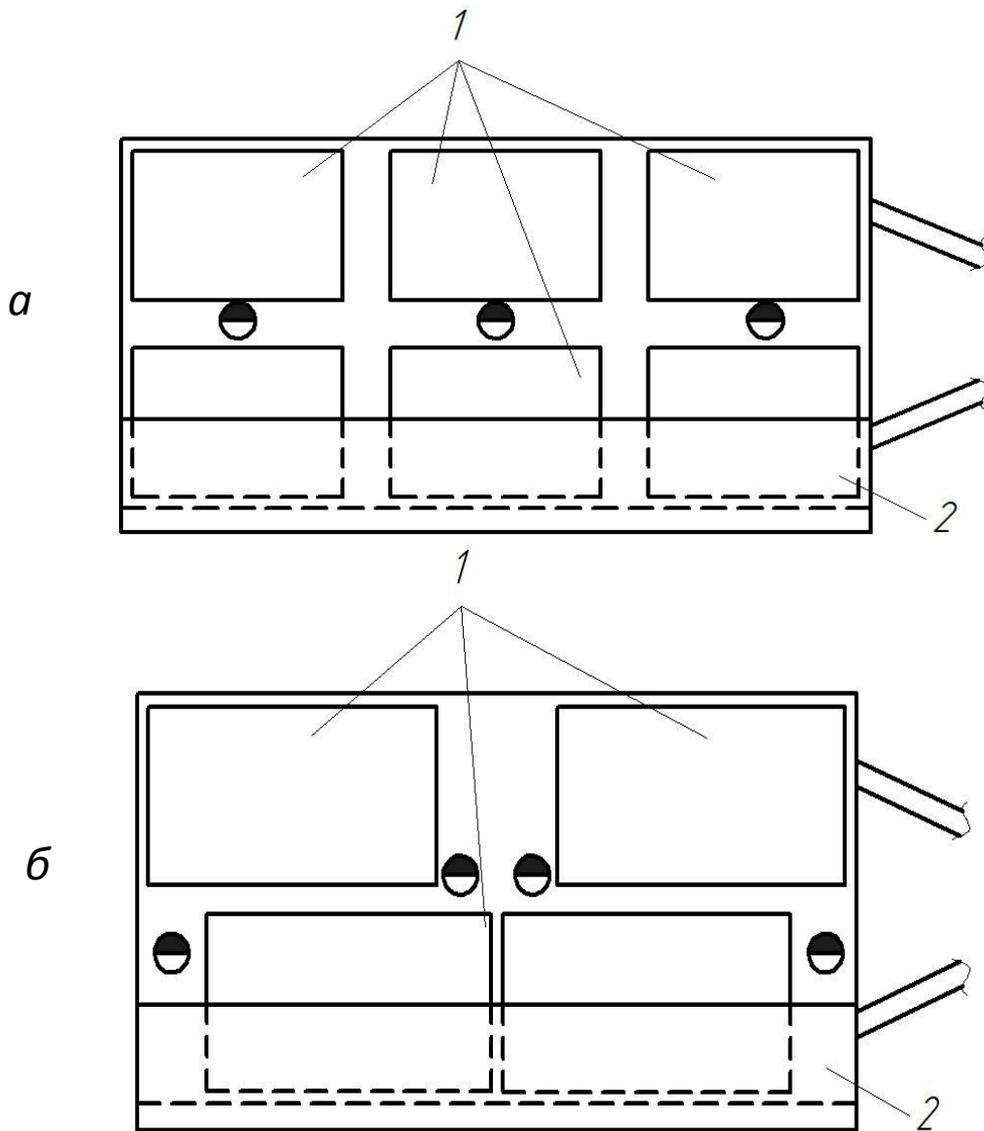


Рис. 4. Варианты размещения контейнеров на кузове тракторной тележки 2-ПТС-4,5 при щадящем режиме механизированной уборки капусты: а – с размерами 1200×800×800, 1000×800×500;

б – 1500×1000×800, 1500×1000×1000, 1600×1050×1200;  – обслуживающий персонал; 1 – контейнеры; 2 – гибкий настил

В том случае, когда в хозяйстве эксплуатируются контейнеры собственного производства, рекомендуем пользоваться одной из этих схем, сопоставляя их габаритные размеры с размерами серийно выпускаемых.

Выводы

1. Впервые проведено моделирование процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при новом способе машинной уборки капусты (патент РФ 2554403) на основе теории массового обслуживания.

2. Установлена количественная связь между

характеристикой поступающего на настил потока кочанов капусты и числом обслуживающего персонала, предложены схемы размещения контейнеров разного типоразмера на кузове транспортного средства.

В частности, при использовании тракторной тележки 2-ПТС-4,5 число обслуживающего персонала должно состоять из 3–4 чел., контейнеры с размерами 1200×800×800, 1000×800×500 следует размещать в два ряда, образуя рабочую зону между рядами, а контейнеры с размерами 1500×1000×800, 1500×1000×1000 и 1600×1050×1200 – образуя рабочие зоны в рядах между ними и бортами кузова.

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. и др. Новый способ уборки кочанной капусты // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 5. – С. 18–20.
5. Алатырев С.С. и др. Обоснование зоны отгрузки кочанов капусты на гибком настиле при машинной уборке // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 6. – С. 71–78.
6. Алатырев С.С. Научно-методические основы и средства адаптирования машин для уборки капусты к изменяющимся условиям функционирования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Чебоксары, 2005. – 34 с.
7. Алатырев С.С. и др. Обоснование конструкции и параметров приспособления для бережной отгрузки кочанов капусты при машинной уборке // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 3. – С. 41–44.
8. Алатырев С.С., Алатырев А.С., Юркин А.П. К оценке экономической эффективности нового способа уборки кочанной капусты // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Чувашской ГСХА, 2016. – С. 31–38.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

Literatura

1. Alatyrev S.S., Grigor'ev A.O., Alatyrev A.S. Obosnovanie parametrov ustrojstva dlja otgruzki kochanov kapusty v kuzov transportnogo sredstva // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 9. – S. 11–14.
2. Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. K voprosu snizhenija povrezhdaemosti kochanov pri mashinnoj uborke kapusty // Prodovol'stvennaja bezopasnost' i ustojchivoe razvitie APK: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Cheboksary, 2015. – S. 617–620.
3. Alatyrev S.S. i dr. Novyj sposob uborki kochannoj kapusty // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 5. – S. 18–20.
4. Alatyrev S.S. i dr. Obosnovanie zony otgruzki kochanov kapusty na gibkom nastile pri mashinnoj uborke // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 6. – S. 71–78.
5. Alatyrev S.S. Nauchno-metodicheskie osnovy i sredstva adaptirovanija mashin dlja uborki kapusty k izmenjajushhimsja uslovijam funkcionirovanija: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. – Cheboksary, 2005. – 34 s.
6. Alatyrev S.S. i dr. Obosnovanie konstrukcii i parametrov prispособlenija dlja berezhnoj otgruzki kochanov kapusty pri mashinnoj uborke // Traktory i sel'hozmashiny. – 2017. – № 3. – S. 41–44.
7. Alatyrev S.S., Alatyrev A.S., Jurkin A.P. K ocenke jekonomicheskoj jeffektivnosti novogo sposoba uborki kochannoj kapusty // Sovremennoe sostojanie prikladnoj nauki v oblasti mehaniki i jenergetiki: mat-ly vseros. nauch.-prakt. konf. – Cheboksary: Izd-vo Chuvashskoj GSHA, 2016. – S. 31–38.
8. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. – M.: Sovetskoe radio, 1972. – 552 s.