

# ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКЕ КАПУСТЫ

## JUSTIFICATION OF REQUIRED NUMBER OF VEHICLES WHEN COMBINED CABBAGE CLEANING

**С.С. АЛАТЫРЕВ**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**И.С. КРУЧИНКИНА**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**А.С. АЛАТЫРЕВ**<sup>1</sup>, к.т.н.  
**Д.И. ФЕДОРОВ**<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары, Россия

<sup>2</sup> Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета, Чебоксары, Россия, S\_Alatyrev1955@mail.ru

**S.S. ALATYREV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**I.S. CRUCHINKINA**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**A.S. ALATYREV**<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
**D.I. FEDOROV**<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia

<sup>2</sup> The Cheboksary Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Cheboksary, Russia, S\_Alatyrev1955@mail.ru

При комбайновой уборке кочанной капусты транспортирование продукции с поля в овощехранилище осуществляется преимущественно в кузове транспортного средства навалом или в контейнерах. В первом случае в овощехранилище транспортные средства разгружаются вручную, а во втором случае – с помощью вилочного электропогрузчика. При этом транспортные средства значительно простаивают на разгрузке продукции, особенно в первом случае. В этой связи в целях оценки качества обслуживания транспортных средств смоделирован процесс их разгрузки, используя теорию массового обслуживания. Описана суть происходящих явлений и проведены расчеты показателей качества функционирования системы обслуживания транспортных средств в овощехранилище при доставке продукции навалом и в контейнерах, а также сформулированы рекомендации по ее рациональной организации. С учетом рациональной организации системы обслуживания транспортных средств на разгрузке обосновано их потребное количество в рассмотренных случаях.

**Ключевые слова:** машинная уборка капусты, моделирование процессов, система массового обслуживания, потребное количество транспортных средств.

During combine harvesting of cabbage, products are transported from the field to the vegetable store mainly in the body of the vehicle in bulk or in containers. In the first case in the place where vegetable vehicles are unloaded manually, and in the second case – using a forklift. At the same time, vehicles are significantly idle while unloading vegetables, especially in the first case. In this regard, in order to assess the quality of service of vehicles, the process of unloading them is modeled using the queuing theory. The essence of the occurring phenomena is described and the indicators of the quality of functioning of the vehicle maintenance system in the vegetable storehouse during the delivery of products in bulk and in containers are calculated, and recommendations on its rational organization are formulated. Taking into account the rational organization of the vehicle servicing system on unloading, their required quantity in the considered cases is justified.

**Keywords:** of cabbage heads by machine-harvesting, process modeling, queuing system, required number of vehicles.

## Введение

При комбайновой уборке кочанной капусты транспортирование продукции с поля в овощехранилище осуществляется преимущественно тракторными транспортными средствами, поскольку они обладают более высокой проходимостью в условиях повышенной влажности по сравнению с автомобильным транспортом и лучше согласуются со скоростью уборочного агрегата. При этом в зависимости от хозяйственных и агротехнологических условий уборочно-транспортный процесс может быть организован по разным технологическим схемам [1–5], например:

- комбайновая уборка отгрузкой кочанов навалом в кузов сопровождающего тракторного транспортного средства (рис. 1) [5];

- комбайновая уборка отгрузкой кочанов сначала на гибкий настил, установленный на стойках в кузове тракторного транспортного средства над контейнерами, а затем переключением их в контейнеры (рис. 2) [6, 7].

При уборке капусты по первой схеме разгрузка транспортных средств в овощехранилище производится вручную, так как выгрузка

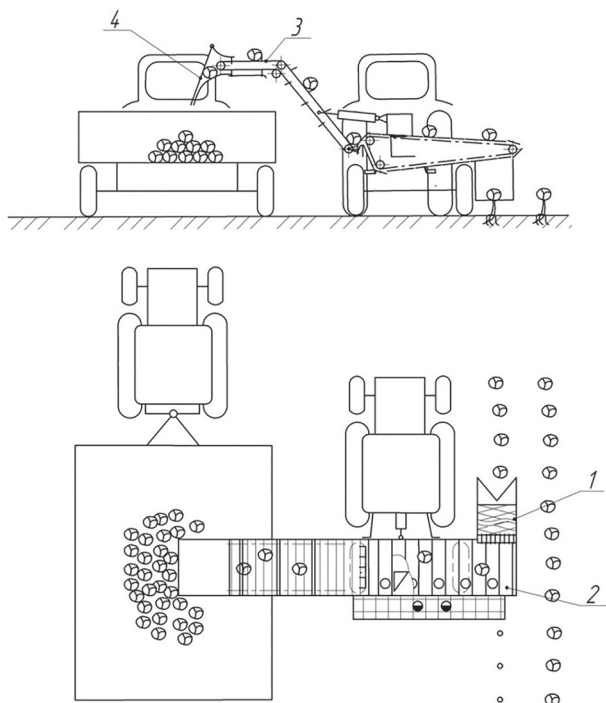
самосвалом сопровождается значительными механическими повреждениями кочанов.

Во втором случае капуста поступает в овощехранилище в контейнерах, которые снимают с кузова транспортного средства, оставляя гибкий настил со стойками в нем же, и устанавливают в штабелях в овощехранилище вилочным электропогрузчиком [8]. Этим же электропогрузчиком устанавливают в кузове транспортного средства вместо снятых груженых контейнеров пустые.

Заметим, в описанных схемах уборки капусты, особенно в первой, транспортные средства значительно простаивают на разгрузке продукции в овощехранилище. В результате чего уборочные агрегаты вынуждены простаивать на поле в ожидании возврата транспортных средств, так как уборка капусты производится при непосредственном сопровождении ими.

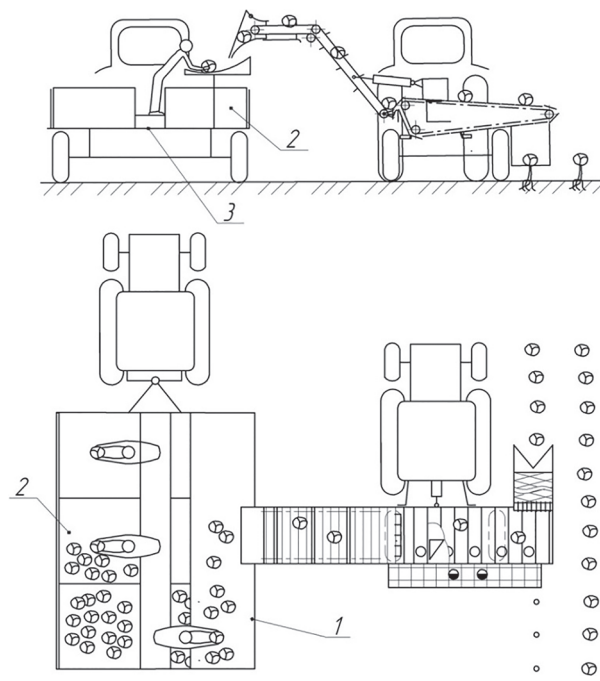
## Цель исследований

Изучить суть происходящих явлений при обслуживании транспортных средств на разгрузке продукции и обосновать на этой основе их потребное количество для обеспечения бесперебойной работы капустоуборочного комбайна.



**Рис. 1.** Уборка капусты комбайном по схеме отгрузки кочанов навалом в кузов тракторного транспортного средства:

1 – режущий аппарат; 2 – стол доработки;  
3 – элеватор; 4 – устройство для отгрузки кочанов в щадящем режиме



**Рис. 2.** Уборка капусты комбайном по схеме отгрузки кочанов на гибкий настил с последующей бережной укладкой в контейнеры, установленные в кузове тракторного транспортного средства:

1 – гибкий настил на стойках;  
2 – контейнеры; 3 – кузов

Для достижения поставленной цели необходимо:

- смоделировать процессы обслуживания транспортных средств в овощехранилище при описанных выше схемах уборки капусты;
- установить качественные показатели обслуживания транспортных средств на разгрузке продукции для принятия рациональных решений при обосновании потребного количества транспортных средств.

### Материалы и методы исследования

Процесс обслуживания транспортных средств в овощехранилище на разгрузке продукции, на наш взгляд, может быть успешно исследован по обеим схемам как система массового обслуживания (далее СМО), так как поступление потока транспортных средств на разгрузку в овощехранилище, процесс разгрузки продукции можно рассматривать как многократное выполнение однотипных задач.

Рассматриваемая СМО в общем случае может быть исследована как многоканальная система [9]. Так, при ручной разгрузке транспортных средств бригады грузчиков можно считать каналами системы, а поток поступающих транспортных средств с интенсивностью  $\lambda$  – интенсивностью заявок, интенсивность разгрузки – интенсивностью обслуживания  $\mu$  каналов.

При этом транспортные средства, не имеющие возможности обслуживания в сию минуту из-за занятости обслуживающих бригад грузчиков или вилочных электропогрузчиков (каналов СМО), находятся в ожидании обслуживания на площадке перед овощехранилищем. Для того, чтобы система эффективно функционировала, отказов в обслуживании практически не должно быть, режим должен быть установившимся, то есть очередь не должна бесконечно возрастать.

Интенсивность входящего потока заявок при уборке кочанной капусты одним убороч-

ным агрегатом может быть определена исходя из производительности комбайна  $W$  (га/час), урожайности капусты  $Y$  (т/га) грузоподъемности прицепа  $Q$  (т) тракторного транспортного средства согласно выражению:

$$\lambda = \frac{WY}{Q}.$$

При  $W = 0,2...0,3$  га/час,  $Y = 30...40$  т/га,  $Q = 4$  т интенсивность входящего потока составит  $\lambda = 1,5...3$  час<sup>-1</sup>.

Интенсивность обслуживания канала может быть найдена исходя из времени разгрузки  $t$  транспортного средства по формуле:

$$\mu = \frac{1}{t}.$$

При времени разгрузки одного тракторного прицепа вручную бригадой грузчиков  $t' = 0,75$  час и электропогрузчиком  $t'' = 0,25$  час при доставке продукции в контейнерах интенсивности обслуживания, соответственно, равны:  $\mu' = 1,33$  час<sup>-1</sup>,  $\mu'' = 4$  час<sup>-1</sup>.

В рассматриваемой СМО возможны разные состояния. Возможные состояния системы обозначим исходя из числа занятых каналов и числа заявок в очереди:

$S_0$  – все каналы (бригады грузчиков или электропогрузчики) 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;

$S_{k+r}$  – заняты все  $n$  каналов,  $r$  заявок стоят в очереди.

Считая вместимость площадки перед овощехранилищем достаточной, длину очереди  $r$  не ограничиваем. Тогда граф состояний будет бесконечным (рис. 3) [9].

В данном случае выражения для предельных вероятностей состояний системы можно представить в виде [10]:

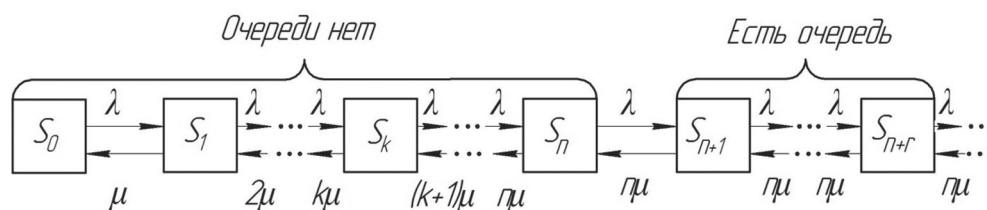


Рис. 3. Граф состояний СМО обслуживания транспортных средств на разгрузке продукции при машинной уборке капусты

$$P_0 = \left[ 1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right]^{-1};$$

$$P_1 = \frac{\rho}{1!} P_0;$$

$$P_2 = \frac{\rho^2}{2!} P_0;$$

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0;$$

$$P_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{n!} P_0;$$

$$P_{n+2} = \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} P_0;$$

.....

$$P_{n+r} = \frac{\rho^{n+r}}{n^r n!} P_0$$

.....

– абсолютная пропускная способность

$$A = \lambda q = \lambda. \tag{2}$$

При этом показатели СМО определяются по соответствующим формулам [10]:

– среднее число заявок (транспортных средств), ожидающих обслуживания

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

– среднее время ожидания транспортного средства в очереди

$$\bar{t}_{ож} = \frac{\rho^n P_0}{n \mu n!(1-\chi)^2}; \tag{4}$$

– среднее время пребывания транспортного средства в системе

$$\bar{t}_{сист} = \bar{t}_{ож} + q \bar{t}_{об}; \tag{5}$$

– среднее число занятых каналов

$$\bar{z} = \frac{A}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho; \tag{6}$$

– вероятность отсутствия очереди в обслуживании при  $n$  каналах

$$P_{00} = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n. \tag{7}$$

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 характеристики ее пропускной способности:

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

### Результаты исследований и обсуждение

Результаты расчетов показателей эффективности функционирования рассматриваемых СМО, полученные по формулам (1)–(7) при  $\lambda = 2,25$ ,  $\mu' = 1,33$  час<sup>-1</sup> и  $\mu'' = 4$  час<sup>-1</sup>, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Показатели эффективности функционирования СМО разгрузки транспортных средств при доставке кочанов капусты в овощехранилище навалом (при  $\chi < 1$ )

Число каналов СМО (число бригад грузчиков) $n'$	Показатели СМО						
	$P'_0$	$P'_{00}$	$A'$	$\bar{r}'$	$\bar{t}'_{ож}$ , час	$\bar{t}'_{сист}$ , час	$\bar{z}'$
2	0,084	0,346	2,25	4,219	1,88	2,63	1,59
3	0,168	0,827	2,25	0,40	0,18	0,93	1,69
4	0,181	0,951	2,25	0,078	0,03	0,78	1,69

Таблица 2

Показатели эффективности функционирования СМО разгрузки транспортных средств при доставке кочанов капусты в овощехранилище в контейнерах (при  $\chi < 1$ )

Число каналов СМО (число электропогрузчиков) $n''$	Показатели СМО						
	$P''_0$	$P''_{00}$	$A''$	$\bar{r}''$	$\bar{t}''_{ож}$ , час	$\bar{t}''_{сист}$ , час	$\bar{z}''$
1	0,440	0,69	2,25	0,314	0,14	0,39	0,56
2	0,562	0,96	2,25	0,048	0,02	0,27	0,56
3	0,570	1,00	2,25	0,00	0,00	0,25	0,56

Из приведенных таблиц видно, что заявки (транспортные средства), поступившие на вход СМО в то время, когда все каналы заняты, временно получают отказ и ожидают обслуживания в очереди. В обоих рассмотренных случаях число их уменьшается с возрастанием числа каналов. Так, при разгрузке транспортных средств вручную при  $n' = 3$  среднее число ожидающих транспортных средств  $\bar{n}'$  в очереди становится меньше одного, а при поступлении кочанов в контейнерах разгрузкой транспортных средств справляется один вилочный погрузчик (среднее время ожидания составляет лишь 0,14 часа).

С учетом полученных результатов исследования можно рекомендовать число обслуживающих бригад грузчиков  $n' = 3$ , а необходимое количество вилочных погрузчиков  $n'' = 1$ . При этом простои на разгрузке продукции транспортных средств будут ниже времени обслуживания, то есть можно считать использование транспортных средств достаточно эффективным. В то же время бригады грузчиков и вилочный погрузчик достаточно плотно заняты работой (вероятности того, что все каналы свободны, соответственно, не превышают 0,168 и 0,440).

С учетом рациональных показателей функционирования СМО транспортных средств ( $n' = 3$ ,  $n'' = 1$ ) можно обосновать их необходимое количество.

Для этого определим продолжительность транспортного цикла по формуле:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{сист}} + t_{\text{по}}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{п}}$  – продолжительность погрузки транспортного средства, час;  $t_{\text{дв}}$  – продолжительность груженой и порожней ездки, час;  $t_{\text{по}}$  – продолжительность прочих операций (взвешивание, оформление документов и т.п.), час.

Продолжительность погрузки транспортного средства

$$t_{\text{п}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (9)$$

Продолжительность груженой и порожней ездки

$$t_{\text{дв}} = \frac{l}{k_{\text{п}} v_{\text{ср}}}, \quad (10)$$

где  $l$  – расстояние от поля до овощехранилища, км;  $k_{\text{п}}$  – коэффициент использования пробега;  $v_{\text{ср}}$  – среднетехническая скорость движения транспортного средства, км/час.

При этом потребное количество транспортных средств

$$N = \frac{t_{\text{ц}}}{t_{\text{п}}}.$$

Выполнив расчеты по формулам (8)–(11) при  $\lambda = 2,25 \text{ час}^{-1}$ ,  $l = 3 \text{ км}$ ,  $k_{\text{п}} = 0,5$ ,  $v_{\text{ср}} = 10 \text{ км/час}$ ,  $t'_{\text{сист}} = 0,93 \text{ час}$  (при разгрузке вручную бригадами грузчиков  $n' = 3$ ),  $t''_{\text{сист}} = 0,39 \text{ часа}$  (при разгрузке одним вилочным электропогрузчиком), получим потребное количество транспортных средств, соответственно,  $N' \approx 5$  и  $N'' \approx 4$ .

## Выводы

1. Впервые проведена оценка качества обслуживания транспортных средств на разгрузке продукции при машинной уборке капусты на основе теории массового обслуживания.

2. Установлены количественные связи качественных показателей обслуживания транспортных средств на разгрузке продукции с характеристиками поступающего потока и самой системы.

3. Установлено, что при непрерывной работе комбайна по первой схеме транспортные средства будут использоваться эффективно при количестве бригад грузчиков  $n' = 3$ , а по второй схеме – при наличии одного вилочного электропогрузчика.

4. При среднем расстоянии перевозок  $l = 3 \text{ км}$ , урожайности капусты  $Y = 30...40 \text{ т/га}$ , производительности комбайна  $W = 0,2...0,3 \text{ га/час}$  для бесперебойной работы уборочного агрегата по первой схеме в среднем необходимо задействовать 5 единиц транспортных средств, а по второй схеме – 4 единицы.

## Литература

1. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Многовариантный капустоуборочный комбайн // Сельский механизатор. 2017. № 8. С. 12–13.
2. Алатырев С.С. К выбору способа механизированной уборки капусты в современных условиях // Машинные технологии и новая сельскохозяйственная техника для условий евро-северо-востока России: материалы 2-й Международной научно-практической конференции. Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 2000. С. 130–137.
3. Алатырев С.С., Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. Новые технологии и техническое средство для уборки капусты // Тракторы и сель-

- скохозайственные машины. 2008. № 7. С. 16–17.
4. Алатырев С.С., Юркин А.П., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Производственная проверка нового способа механизированной уборки кочанной капусты // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 12. С. 3–7.
  5. Алатырев С.С., Мишин П.В., Алатырев А.С. Новый капустоуборочный комбайн // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. № 1. С. 102–107.
  6. Алатырев С.С., Алатырев А.С., Юркин А.П. К оценке экономической эффективности нового способа уборки кочанной капусты // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «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. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Аналитическое обоснование конструктивных параметров приспособления для бережной отгрузки кочанов при машинной уборке капусты // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 8. С. 29–34.
  8. Алатырев С.С., Юркин А.П., Воронин В.В., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Способ уборки кочанной капусты и устройство для его осуществления: патент на изобретение № 2554403, Российская Федерация. Опубликовано 27.06.2015. Бюл. № 3.
  9. Алатырев С.С., Мишин П.В., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Оптимизация процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при машинной уборке капусты в падающем режиме // Вестник КрасГАУ. 2018. № 1. С. 101–108.
  10. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: «Советское радио». 1972. 552 с.
- References**
1. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Multivariate cabbage harvester. Sel'skij mekhanizator. 2017. No 8, pp. 12–13 (in Russ.).
  2. Alatyrev S.S. The choice of the method of mechanized harvesting cabbage in modern conditions. Mashinnye tekhnologii i novaya sel'skohozyajstvennaya tekhnika dlya uslovij evro-severo-vostoka Rossii: materialy 2-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kirov: Zonal'nyj nauchno-issledovatel'skij institut sel'skogo hoz'yajstva Severo-Vostoka imeni N.V. Rudnickogo [Machine technology and new agricultural equipment for the conditions of the Euro-North-East of Russia: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Kirov: N.V. Rudnitsky Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East]. 2000, pp. 130–137 (in Russ.).
  3. Alatyrev S.S., Savelichev K.A., Alatyreva I.S., Grigor'ev A.O. New technologies and technical means for harvesting cabbage. Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. 2008. No 7, pp. 16–17 (in Russ.).
  4. Alatyrev S.S., YUrkin A.P., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Production check of a new method of mechanized harvesting of cabbage. Traktory i sel'hoz mashiny. 2017. No 12, pp. 3–7 (in Russ.).
  5. Alatyrev S.S., Mishin P.V., Alatyrev A.S. New cabbage harvester. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No 1, pp. 102–107 (in Russ.).
  6. Alatyrev S.S., Alatyrev A.S., YUrkin A.P. Assessment of the economic efficiency of the new method of harvesting cabbages. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennoe sostoyanie prikladnoj nauki v oblasti mekhaniki i ehnergetiki», provodimoy v ramkah meropriyatij, posvyashchennyh 85-letiyu CHuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obshchestva i priurochennoj k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika vysshej shkoly Rossijskoj Federacii Akimova Aleksandra Petrovicha [Materials of the All-Russian scientific-practical conference «The current state of applied science in the field of mechanics and energy», carried out in the framework of the events dedicated to the 85th anniversary of the Chuvash State Agricultural Academy, 150th anniversary of the Russian Technical Society and dedicated to the 70th anniversary of the birth of the doctor of technical sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation Akimov Alexander Petrovich]. CHEBOKSARY: FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA. 2016, pp. 31–38 (in Russ.).
  7. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Analytical substantiation of the design parameters of the device for careful shipment of heads in the cabbage machine harvesting. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. No 8, pp. 29–34 (in Russ.).

8. Alatyrev S.S., YUrkin A.P., Voronin V.V., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Sposob uborki kochannoj kapusty i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [The method of harvesting cabbage and device for its implementation]: patent na izobrenenie No 2554403, Rossijskaya Federaciya. Opublikovano 27.06.2015. Byul. No 3.
9. Alatyrev S.S., Mishin P.V., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Optimization of the process of shipping and packing kohans into containers during machine harvesting of cabbage in a sparing mode. Vestnik KrasGAU. 2018. No 1, pp. 101–108 (in Russ.).
10. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij [Operations research]. Moscow: «Sovetskoe radio» Publ. 1972. 552 p.