

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОРАБОТКИ КОЧАНОВ КАПУСТЫ  
НА КАПУСТОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ**

**Алатырев С.С., Корнилова Л.М., Кручинкина И.С., Мишин П.В.,  
Волхонов М.С., Медведев В.И.**

**Реферат.** При машинной уборке капусты нетоварно срезанные кочаны в общей массе иногда составляют более 20%. В этой связи в разработанном в ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА капустоуборочном комбайне предусмотрен стол доработки с механическим транспортер-обрезчиком. Данное устройство будет эффективно функционировать при оптимальном количестве обслуживающего персонала, задействованного за столом доработки. Данный процесс оптимизирован на основе теории массового обслуживания операций. В результате установлено оптимальное число обслуживающего персонала  $n=2$  чел. Результаты расчетов проверены в производственных условиях.

**Ключевые слова:** машинная уборка капусты, стол доработки кочанов, система массового обслуживания.

**Введение.** При машинной уборке капусты часть кочанов срезается в нетоварном виде: не под прямым углом к оси кочерыги и длиной оставшейся части кочерыги при кочане, превышающей величины, установленной агротехническим требованиям. Иногда доля таких кочанов в общей массе составляет более 20% [1].

В этой связи в капустоуборочном комбайне (рис. 1), разработанном в Чувашской государственной сельскохозяйственной академии совместно с ЗАО «ТЕХМА» группы компаний «Техмашхолдинг» [2], предусмотрено принципиально новое устройство [3, 4] в виде стола доработки.

Стол доработки (рисунок 2) содержит раму, на которой расположен переборочный транспортер-обрезчик 1, выполненный в виде бесконечного контура из стальных пластин с посадочными отверстиями 2 и без отверстий 3, чередующихся между собой. Стальные пластины закреплены на бесконечных контурах (на тяговых пластинчатых цепях) с помощью винтов с потайной головкой.

Посадочные отверстия в пластинах выполнены с острозаточенными краями.

На пути следования посадочных отверстий под верхней ветвью транспортер-обрезчика вплотную к нему расположен пассивный нож 5. Ниже расположен лоток 6 для скатывания отрезанных кочерыг на землю.

На раме вдоль транспортер-обрезчика поставлены перила для предотвращения спадания кочанов с его полотна при перемещении. К раме также прикреплена платформа 7 для размещения на ней рабочих, инспектирующих поток вороха капусты.

Привод транспортер-обрезчика осуществляется с помощью ведущей звездочки 9 и натяжных звездочек 10 и 11.

Технологический процесс протекает следующим образом.



Рисунок 1 – Капустоуборочный комбайн конструкции ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА

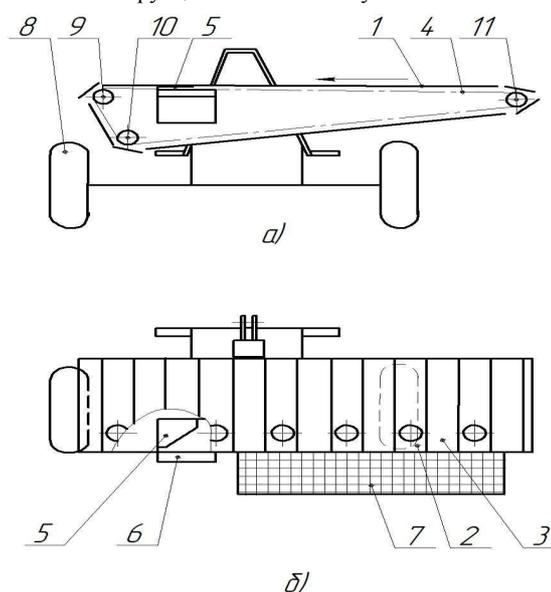


Рисунок 2 – Схема стола доработки капустоуборочного комбайна: а) вид сбоку; б) вид сверху;

- 1 – переборочный транспортер-обрезчик;
- 2,3 – стальные пластины; 4 – тяговая пластинчатая цепь; 5 – пассивный нож; 6 – лоток;
- 7 – платформа; 8 – опорные колеса; 9 – приводная звездочка; 10, 11 – натяжные звездочки;
- ← – направление движения полотна транспортер-обрезчика

После срезающего аппарата кочаны капусты поступают на переборочный транспортер-обрезчик, где рабочие производят их инспекцию. Мелкие незрелые, а также пораженные болезнями кочаны сбрасывают на землю, а кочаны, требующие доработки, вставляют в посадочные отверстия транспортер-обрезчика ориентировано кочерыгами вниз (рисунок 3). Далее кочаны перемещаются в сторону пассивного ножа, а товарные кочаны двигаются параллельно с ними [5].

При встрече с ножом кочерыги обрезаются вместе с розеточными листьями. Срезанные кочерыги по лотку скатываются на землю, а товарные кочаны вместе со свободными листьями, появившимися в процессе обрезки, поступают на элеватор. При движении по элеватору листья проваливаются между прутьями элеватора, а товарные кочаны загружаются в транспортное средство.

В данном капустоуборочном комбайне технологический процесс будет протекать устойчиво, если обслуживающий персонал, находящийся на платформе 7, будет успевать устанавливать нетоварно срезанные кочаны в посадочных отверстиях пластин транспортер-обрезчика 1. В противном случае нетоварно срезанные кочаны, не дожидаясь доработки, будут проходить на элеватор, далее на отгрузку.

В тоже время заметим, интенсивность процесса обслуживания кочанов в потоке растет с увеличением количества обслуживающего персонала. Однако количество их должно быть по возможности минимальным, чтобы снизить трудозатраты в целом на выполнение уборочного процесса [6]. К тому же число рабочих мест на платформе 7 комбайна конструктивно ограничено.

Цель исследования. Оптимизация потребного количества обслуживающего персонала, занятого инспекцией и установкой кочанов в отверстиях транспортер-обрезчика.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать процесс поступления потока кочанов на стол доработки и их инспекции на нем;

- установить количественную связь между показателями эффективности протекания изучаемого процесса в зависимости от числа обслуживающего персонала.

**Методы и результаты исследования.** Обоснование потребного количества обслуживающего персонала, на наш взгляд, может быть успешно выполнено на основе теории исследования операций [7]. Так, поступление потока кочанов от режущего аппарата на стол доработки, процесс инспекции их, размещения нетоварно срезанных кочанов в посадочных

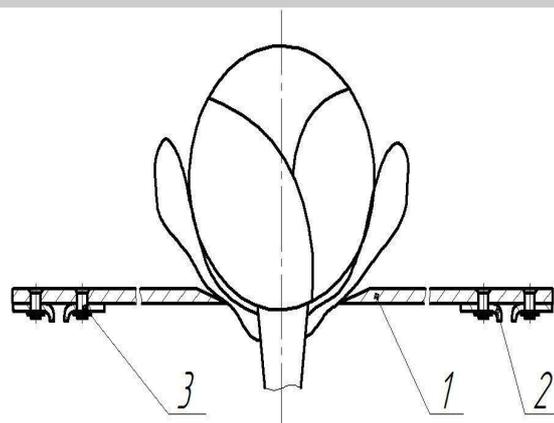


Рисунок 3 – Схема размещения нетоварно срезанного кочана в посадочном отверстии транспортер-обрезчика для повторной обрезки:  
1 – стальная пластина с отверстием;  
2 – цепь пластинчатая тяговая;

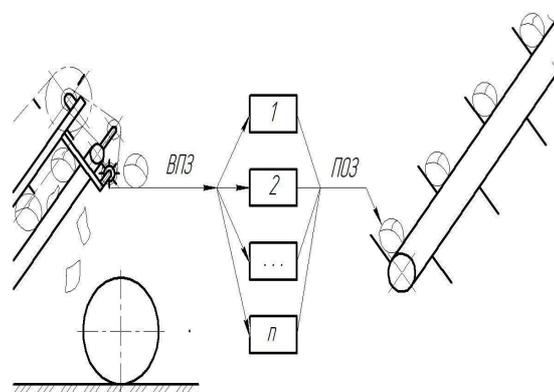


Рисунок 4 – Модель СМО товарной обработки кочанов капусты на столе доработки капустоуборочного комбайна:  
ВПЗ – входной поток заявок;  
ПОЗ – поток обслуженных заявок;  
1, 2, ..., n – каналы системы.

отверстиях можно рассматривать как многократное выполнение однотипных задач. Такие задачи характерны для систем теории массового обслуживания (далее СМО). Модель такой системы изображена на рисунке 4.

В данном случае поток кочанов капусты, поступающий от режущего аппарата на транспортер-обрезчик, подразделим условно на товарные и нетоварные. При этом нетоварно срезанные кочаны назовем входящим потоком заявок (ВПЗ). Лица, инспектирующие поток (устанавливающие кочаны в посадочные отверстия транспортер-обрезчика), отнесем к каналам СМО. На рис. 4 каналы СМО показаны позициями от 1 до n.

Рассматриваемая СМО является многоканальной системой с отказами, так как когда все инспектирующие лица (каналы системы) будут заняты, часть нетоварно срезанных кочанов покидает стол доработки в нетоварном виде, минуя доработки.

Общую интенсивность поступления кочанов на стол доработки при уборке капусты однорядным комбайном может быть определена исходя из средней рабочей скорости  $\vartheta_{cp}$  уборочного агрегата и расстояния  $a$  между растениями капусты в ряду (шага посадки рас­сады) по формуле [8]:

$$\lambda = \frac{\vartheta_{cp}}{a}$$

При этом, принимая процент нетоварно срезанных кочанов в общей массе равным 25%, находим интенсивность ВПЗ:

$$\lambda' = \frac{\vartheta_{cp} \cdot 25}{a \cdot 100} = 0,25 \frac{\vartheta_{cp}}{a}$$

При  $\vartheta_{cp}=0,8м/с$ ,  $a=0,5м$  интенсивность ВПЗ  $\lambda' \approx 0,4с^{-1}$

Интенсивность обслуживания одним каналом может быть определена экспериментально, исходя из времени обслуживания  $t_{об}$  одно­го кочана по формуле [9]:

$$\mu = \frac{1}{t_{об}}$$

При  $t_{об}= 3...4 с$  интенсивность обслужива­ния  $\mu \approx 0,25...0,33^{-1}$ .

В рассматриваемой СМО возможны раз­ные состояния. Возможные состояния систе­мы обозначим исходя из числа занятых одно­временно каналов:

- $S_0$  – все каналы свободны;
- $S_1$  – занят один канал, остальные свободны;
- $S_k$  – заняты  $k$  каналов, остальные свободны;
- $S_{k+1}$  – заняты  $k+1$  каналов, остальные свободны;
- $S_n$  – заняты все  $n$  каналов.

Граф перечисленных выше состояний при­веден на рисунке 5. Здесь у каждой стрелки показаны соответствующие интенсивности потоков событий. Заметим, что по стрелкам слева направо система переводится из одного состояния в другое при одной и той же интен­сивности заявок  $\lambda'$ , по стрелкам справа налево система переводится из одного состояния в другое потоком обслуживаний, интенсивность которого равна  $\mu$ , умноженной на число заня­тых каналов. Например, пусть система нахо­дится в состоянии  $S_0$ . Из  $S_0$  в  $S_1$  систему пе­реводит поток с интенсивностью  $\lambda'$  (как толь­ко приходит заявка, система перескакивает из  $S_0$  в  $S_1$ ). Далее, пусть система находится в со­стоянии  $S_1$  (работает один канал). Она произ­водит  $\mu$  обслуживаний в единицу времени и

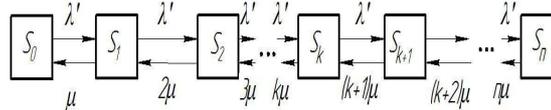


Рисунок 5 – Граф состояний СМО при доработке кочанов капусты на столе доработки

освобождается, т.е. система снова переходит в состояние  $S_0$  и т.д.

В данном случае предельные вероятности состояний системы можно выразить формулами Эрланга [10]:

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

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

$P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$  – соответственно предельные вероятности  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$  состояний системы.

В СМО вероятность отказа в обслужива­нии заявки  $P_{отк}$  равна вероятности того, что все каналы заняты, т.е. система находится в состоянии  $S_n$ . Таким образом,

$$P_{отк} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 \quad (2)$$

В этом случае некоторая часть нетоварно срезанных кочанов покидает стол доработки, не дождав­шись обслуживания.

Относительную пропускную способность СМО (вероятность обслуживания заявок) найдем по формуле:

$$Q = P_{обс} = 1 - P_{отк} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \cdot P_0 \quad (3)$$

При этом долю обслуженных заявок (процент доработанных нетоварно срезанных кочанов) можно выразить в виде:

$$Q' = \left( 1 - \frac{\rho^n}{n!} \right) \cdot P_0 \cdot 100\% \quad (4)$$

**Анализ и обсуждение результатов иссле­дований.** Результаты расчетов показателей эффективности функционирования рассматри­ваемой СМО, полученные по формулам (1) – (4) для различного числа обслуживающего персонала  $n$ , представлены в таблице.

Показатели эффективности функциониро­вания СМО при доработке нетоварно срезан­ных кочанов в капустоуборочном комбайне.

Таблица – Показатели эффективности функционирования СМО при доработке нетоварно срезанных кочанов в капустоуборочном комбайне.

$n$	1	2	3	4	5
$P_0$	0,412	0,290	0,254	0,243	0,241
$P_{омк}$	0,588	0,296	0,123	0,042	0,012
$Q$	0,412	0,704	0,877	0,958	0,988
$Q', \%$	41,2	70,4	87,7	95,8	98,8



Рисунок 6 – Производственная проверка процесса товарной обработки кочанов на капустоуборочном комбайне

Из таблицы видно, что сказанное выше подтвердилось, с увеличением числа обслуживающего персонала процент доработанных кочанов возрастает, следовательно, в общей массе кочанов содержание нетоварно срезанных кочанов снижается.

Согласно агротехнических требований необходимо стремиться к минимуму содержания нетоварно срезанных кочанов в общей массе кочанов, так как кочаны с длинными и косо срезанными кочерыгами являются источником механических повреждений для сосед-

них кочанов. К тому же нетоварно срезанные кочаны, имея при себе покрывающие листья, ухудшают процесс проветривания кочанов в слоях капусты в период хранения [11].

**Выводы.** Исходя из результатов расчетов, приведенных в таблице, можно считать оптимальным числом обслуживающего персонала  $n=2$ , когда процент доработанных кочанов из числа нетоварно срезанных кочанов составляет 70,4%, что соответствует 92,6% кочанов в общем потоке. При этом доля нетоварно срезанных кочанов в потоке, поступающем на отгрузку, составляет лишь 7,4%, что соответствует агротехническим требованиям.

При принятом числе обслуживающего персонала вероятность отказа в обслуживании нетоварно срезанных кочанов составляет 0,296.

Результаты моделирования процесса доработки кочанов в капустоуборочном комбайне проверены в производственных условиях (рисунок 6). При этом на комбайне за столом доработки были задействованы 2 человека в качестве обслуживающего персонала. Они успевали отслеживать за поступающим на стол доработки потоком и устанавливали нетоварно срезанные кочаны в посадочных отверстиях транспортер-обрезчика. При этом уборочный процесс выполнялся ритмично, без сбоев [12].

#### Литература

1. Алатырев С.С., Савеличев К.А. Новое устройство для товарной обработки кочанов капусты //Техника в сельском хозяйстве, 2009. С. 50-51.
2. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Многовариантный капустоуборочный комбайн // Сельский механизатор, 2017. № 8. С. 12-13.
3. 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.
4. Патент №2365086 РФ. МПК А01D45/26. Капустоуборочная машина / Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. и др. – Заявлено 26.02.2008. Оpubл. 27.08.2009. Бюл. №24.
5. 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.
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. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: «Советское радио», 1972. 552с.
8. 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 шадящем режиме // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2018. № 1(136). С. 101-108.
9. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С., Юркин А.П. Моделирование процесса отгрузки и укладки кочанов в контейнеры при шадящем режиме машинной уборки капусты // Тракторы и сельхозмашины, 2017. № 10. С. 50-54.
10. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: «Наука», 1988. 208с.
11. Алатырев С.С. Научно-методические основы и средства адаптивования машин для уборки капусты к изменяющимся условиям функционирования: дис. ... д-ра техн. наук. 05.20.01/ Алатырев Сергей Сергеевич.

Чебоксары, 2005. 397с.

12. 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.

**Сведения об авторах:**

Алатырев Сергей Сергеевич – доктор технических наук, доцент, e-mail: if7@academy21.ru

Корнилова Людмила Михайловна – кандидат экономических наук,

Кручинкина Ирина Сергеевна – кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

Мишин Петр Владимирович – доктор технических наук, профессор,

ЧР «Чебоксарский техникум строительства и городского хозяйства», г. Чебоксары, Россия.

Волхонков Михаил Станиславович – доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», г. Кострома, Россия.

Медведев Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

**OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CABBAGE HEAD REWORK ON A CABBAGE HARVESTER**

**Alatyrev S.S., Kornilova L.M., Kruchinkina I.S., Mishin P.V., Volkhonov M.S., Medvedev V.I.**

**Abstract.** When machine-harvested of cabbage, non-commodity cut heads are generally over 20% in the total mass. In this connection, the cabbage harvesting machine, developed by Chuvashiya SAU, has a rework table with a mechanical transporter-cutter. This device will function effectively with the optimal number of maintenance personnel involved in the completion of the table. This process is optimized based on the theory of queuing operations. As a result, the optimal number of service personnel was established  $n = 2$  people. The results of the calculations are checked in the production environment.

**Key words:** machine cleaning of cabbage, cabbage finishing table, queuing system.

**References**

1. Alatyrev S.S., Savelichev K.A. A new device for the commercial processing of cabbage.[Novoe ustroystvo dlya tovarnoy obrabotki kochanov kapusty]. // *Tekhnika v selskom khozyaystve. - Techniques in agriculture.* 2009. P. 50-51.

2. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Multivariate cabbage harvester. [Mnogovariantnyy kapustouborochnyy kombayn]. // *Selskiy mekhanizator. - Rural mechanizer.* 2017. №8. P. 12-13.

3. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Analytical substantiation of the design parameters of the device for careful shipping of cabbage for machine-cleaning cabbage Analiticheskoye obosnovaniye konstruktivnykh parametrov prispособleniya dlya berezhnoy otgruzki kochanov pri mashinnoy uborkе kapusty // *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – The Herald of Kursk State Agricultural Academy*, 2017. №8. P. 29-34.

4. Патент №2365086 РФ. МПК A01D45/26. Капустоуборочная машина / Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. и др. – Заявлено 26.02.2008. Оpubл. 27.08.2009. Бюл. №24.

5. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Yurkin A.P., Alatyrev A.S. A new way to harvest cabbage. [Novyy sposob uborki kochannoy kapusty]. // *Traktory i selkhoz mashiny. - Tractors and agricultural machinery.* – 2015. - №5. – P. 18 – 20.

6. Alatyrev S.S., Alatyrev A.S., Yurkin A.P. K otsenke ekonomicheskoy effektivnosti novogo sposoba uborki kochannoy kapusty. // *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennoe sostoyanie prikladnoy nauki v oblasti mekhaniki i energetiki”, provodimoy v ramkakh meropriyatiy, posvyaschennykh 85-letiyu Chuvashskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii, 150-letiyu Russkogo tekhnicheskogo obschestva i priurochennoy k 70-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zaslužhennogo rabotnika vysshey shkoly Rossiyskoy Federatsii Akimova Aleksandra Petrovicha.* (To assess the economic effectiveness of a new method of cabbage harvesting. // Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference “The present state of applied science in the field of Mechanics and Energy”, held as part of events dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of Chuvash State Agricultural Academy, the 150<sup>th</sup> anniversary of the Russian Technical Society and dedicated to the 70<sup>th</sup> anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation Akimov Aleksander Petrovich). Cheboksary: FGBOU VO Chuvashskaya GSKhA, 2016. P. 31-38.

7. Venttsel E.S. *Issledovaniye operatsiy.* [Operations research]. M.: “Sovetskoe radio”, 1972. P. 552.

8. Alatyrev S.S., Mishin P.V., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Optimization of the process of shipment and stowage of cabbages in containers during machine harvesting of cabbage in a sparing regime. [Optimizatsiya protsessa otgruzki i ukladki kochanov v konteynery pri mashinnoy uborkе kapusty v schadyaschem rezhime]. // *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Krasnoyarsk State Agrarian University* 2018. № 1(136). P. 101-108.

9. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S., Yurkin A.P. Modeling of the process of shipment and stowage of cabbage to containers under a sparing regime of machine cabbage harvesting. [Modelirovaniye protsessa otgruzki i ukladki kochanov v konteynery pri schadyaschem rezhime mashinnoy uborki kapusty]. // *Traktory i selkhoz mashiny. - Tractors and agricultural machinery.* 2017. №10. P. 50-54.

10. Venttsel E.S. *Issledovanie operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya.* [Research of operations: tasks, principles, methodology]. 2- e izd. M.: “Nauka”, 1988. P. 208.

11. Alatyrev S.S. *Nauchno-metodicheskie osnovy i sredstva adaptirovaniya mashin dlya uborki kapusty k izmenyayuschimsya usloviyam funktsionirovaniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk. 05.20.01.* (Scientific-methodical bases and means of adaptation of machines for harvesting cabbage to changing conditions of functioning: dissertation for a degree of Doctor of Technical sciences. 05.20.01). / Alatyrev Sergey Sergeevich. Cheboksary, 2005. P. 397.

12. Alatyrev S.S., Yurkin A.P., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. Production inspection of a new method of mechanized harvesting of cabbage. [Proizvodstvennaya proverka novogo sposoba mekhanizirovannoy uborki kochannoy kapusty]. // *Traktory i selkhoz mashiny. - Tractors and agricultural machinery.* 2017. №12. P. 3 – 7.

**Authors:**

Alatyrev Sergey Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: if7@academy21.ru

Kornilova Lyudmila Mikhaylovna – Ph.D. of Economic Sciences,

Kruchinkina Irina Sergeevna – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia.

Mishin Petr Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor,

Cheboksary Technical School of Construction and Municipal Economy, Cheboksary, Russia.

Volkhonov Mikhail Stanislavovich – Doctor of Technical Sciences, Professor

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia.

Medvedev Vladimir Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor,

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia.