

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-595938>

Оригинальное исследование

Комбайн для уборки кочанной капусты в условиях малых форм хозяйствования

А.С. Алатырев, Н.А. Емельянов, В.С. Никитин, И.С. Кручинкина, С.С. Алатырев

Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время в России кочанная капуста возделывается почти во всех регионах. Однако, объёмы её производства недостаточны. Дальнейшее динамическое увеличение объёмов товарного производства капусты не представляется возможным из-за необеспеченности овощеводства современной капустоуборочной техникой.

Цель исследования — разработка нового капустоуборочного комбайна с учётом современных условий овощеводства и оценка качества его функционирования.

Материалы и методы. В рамках поставленной цели разработан опытный образец малогабаритного капустоуборочного комбайна, обоснован режим работы его основного листоотделительного устройства, проведена оценка качества функционирования в производственных условиях согласно требованиям АИСТ 8.7 – 2013.

Результаты и обсуждение. В ходе испытания наблюдалась ярко выраженная поточность выполнения всех операций капустоуборочным комбайном. Показатели работы комбайна выгодно отличаются от показателей агротехнических требований, в частности рабочая скорость в среднем на 53% выше скорости, предусмотренной АТТ, повреждения кочанов до 9%, загрязнённость продукции практически отсутствует.

Заключение. Полевые испытания показали достаточно высокую работоспособность разработанного капустоуборочного комбайна, соответствие качественных показателей работы агротехническим требованиям в современных условиях овощеводства.

Ключевые слова: капустоуборочный комбайн; современные условия овощеводства; производственные исследования.

Как цитировать:

Алатырев А.С., Н.А. Емельянов, В.С. Никитин, Кручинкина И.С., Алатырев С.С. Комбайн для уборки кочанной капусты в условиях малых форм хозяйствования // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 2. С. 155–165. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-595938>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-595938>

Original Study Article

The combine harvester for cabbage harvesting in small-scale farms

Alexey S. Alatyrev, Nikolay A. Emelyanov, Vadim S. Nikitin, Irina S. Kruchinkina, Sergey S. Alatyrev

Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, cabbage is cultivated in almost all regions of Russia. However, its production volumes are insufficient. A further dynamic increase in the volume of commercial cabbage production is not possible due to the lack of modern cabbage harvesting equipment for vegetable growing.

AIM: Development of the new cabbage harvester taking into account modern conditions of vegetable growing and assessment of the quality of its operation.

METHODS: As part of this aim, a prototype of the small-sized cabbage harvester was developed, the operating mode of its main leaf separating device was justified, and the quality of operation was assessed in production conditions in accordance with the requirements of the AIST 8.7 – 2013.

RESULTS: During the test, a pronounced flow of all operations performed with the cabbage harvester was observed. The performance indicators of the combine harvester compare favorably with the indicators of agrotechnical requirements (ATR), in particular, the operating speed is on average 53% higher than the speed provided for by the ATR, damage to cabbage heads is up to 9%, and there is practically no contamination of the product.

CONCLUSION: Field tests showed a fairly high operability of the developed cabbage harvester, compliance with the quality performance indicators of agrotechnical requirements in modern conditions of vegetable growing.

Keywords: cabbage harvester; modern conditions of vegetable growing; production research.

To cite this article:

Alatyrev AS, Emelyanov NA, Nikitin VS, Kruchinkina IS, Alatyrev SS. The combine harvester for cabbage harvesting in small-scale farms. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(2):155–165. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-595938>

Received: 29.09.2023

Accepted: 02.06.2024

Published online: 02.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в России кочанная капуста возделывается почти во всех регионах, среди которых наибольшие площади возделывания имеют Московская область, Ставропольский край, Республика Марий Эл, Ульяновская и Ростовская области, соответственно. Однако, следует заметить, что по данным Росстата объёмы производства кочанной капусты в последние годы снижаются. Так, в 2022 г. в России площади под капустой в хозяйствах всех категорий составили около 80 тыс. га, что на 10 тыс. га меньше показателя пятилетней давности. В то же время, потребление капусты населением страны составляет лишь 37% [1] от установленной медицинской нормы. Вместе с тем, дальнейшее динамичное увеличение объёмов товарного производства её не представляется возможным из-за необеспеченности овощеводов высокоэффективной специальной капустоуборочной техникой, так как около 60% трудозатрат приходится на уборку и закладку продукции на хранение. Учитывая это обстоятельство, во многих развитых странах мира в течение ряда лет занимаются разработкой техники для уборки капусты [2–5]. В частности, в последние годы разработаны опытные и промышленные образцы капустоуборочных машин в Германии, Дании [6, 7], США [8], Канаде [9], а также Японии и Китае [10–14].

В России заметные успехи в разработке капустоуборочной техники были достигнуты в конце второй половины прошлого века, когда товарным овощеводством в основном занимались крупные специализированные хозяйства (колхозы и совхозы) с площадью посадок 300–600 га. Применительно для этих хозяйств была разработана технология поточной уборки кочанной капусты [15] с применением капустоуборочных машин для сплошной уборки и стационарной линии её доработки до товарного вида со сложным оборудованием, отличающаяся высокой капиталоемкостью и требующая значительных материальных и трудовых затрат.

В настоящее время в России производством кочанной капусты в основном занимаются предприятия малых форм хозяйствования (хозяйства населения, крестьянско-фермерские хозяйства и индивидуальные предприниматели). В этих условиях разработанная ранее сложная капиталоемкая технология, следовательно и технические средства того времени, а также дорогостоящая импортная техника, поступающая на наш рынок в ограниченном количестве в условиях жёстких санкций со стороны недружественных стран, не находят широкого применения в современном овощеводстве.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является разработка нового капустоуборочного комбайна с учётом современных условий овощеводства и оценка качества его функционирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках поставленной цели нами разработан опытный образец малогабаритного капустоуборочного комбайна для малых форм хозяйствования.

Новый капустоуборочный комбайн существенно модернизирован по сравнению с известными образцами. Техническая новизна его рабочих органов защищена авторами настоящей статьи патентами на изобретения Российской Федерации [16–20].

Комбайн содержит режущий аппарат 1 (рис. 1) с устройством 2 для предварительной сепарации вороха капусты, переборочный стол в виде транспортёр-обрезчика 3 с основным вальцевым листоотделителем 4, пассивный нож 5 для повторной обрезки кочерыг нетоварно срезанных кочанов, а также элеватор 6 со специальным отгрузочным устройством 7, работающим в щадящем режиме.

Конструкция режущего аппарата (рис. 2), как было замечено, «основана на использовании колеблющихся рабочих поверхностей для выравнивания полёглых растений капусты при подводе к режущему устройству. Он содержит прижимное устройство в виде эластичного сетчатого полотна 1 с поперечными жёсткими распорками 2, колеблющиеся боковины 3, скреплённые шарнирно между собой в виде параллелограммного механизма П-образными передней 4 и задней 5 подвесками, закреплёнными своей центральной частью посредством шарниров 6 и 7 к раме 8. Передние части боковин 3 (лифтеры) имеют в продольно-вертикальной плоскости возможность копировать рельеф почвы за счёт шарниров 9 под действием пружин 10, а задние части боковин оснащены плоскими клиновидными ножами 11. Кроме того, боковины 3 снабжены направляющими 12, соединёнными с ними шарнирно в передней части» [21].

«В аппарате для отвода срезанных кочанов и сопутствующих отходов из зоны резания установлен под хвостовой частью прижимного устройства выносной ленточный транспортёр 13, а перед ним размещён переходник 14 с фигурной передней кромкой, плотно прилегающей к поверхности ножей, с двумя продолговатыми отверстиями, образующими скользящие пары с колеблющимися направляющими 12. Режущий аппарат приводится в движение пространственным кривошипно-шатунным механизмом 15, кинематически связанным с одной из боковин посредством шарового шарнира 16» [21].

Устройство 2 для предварительной сепарации вороха капусты в режущем аппарате, выполненное в виде вальца 17, собранного из упругих зубчатых дисков, размещено в конце выносного транспортёра 13.

Заметим, что в режущем аппарате полотно выносного транспортёра 13 выполнено, как было предусмотрено патентом № 2743189, уже полотна 1 прижимного транспортёра, нижний отклоняющий барабан его в свободной от полотна части снабжён радиальными рёбрами 18.

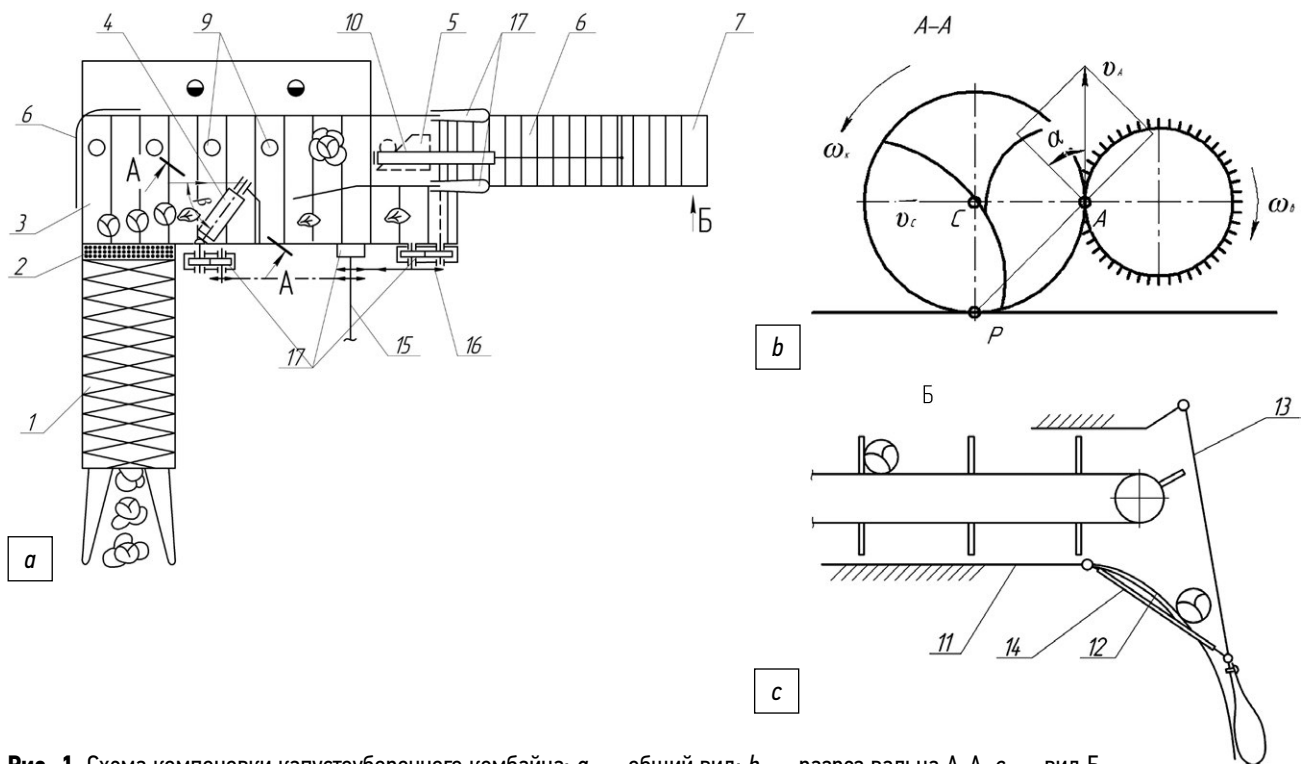


Рис. 1. Схема компоновки капустоуборочного комбайна: *a* — общий вид; *b* — разрез вальца А-А, *c* — вид Б.
Fig. 1. Layout diagram of the cabbage harvester: *a* — the general view; *b* — the A-A section of the roller, *c* — the view B.

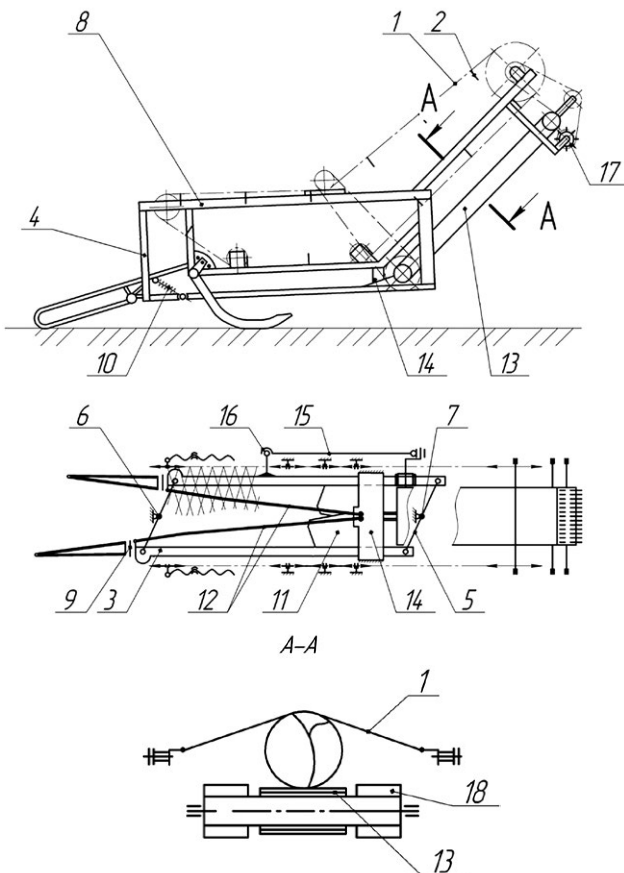


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема режущего аппарата нового капустоуборочного комбайна.
Fig. 2. The design and technological diagram of the cutter of the new cabbage harvester.

Такое техническое решение, удачно реализованное в режущем аппарате нового капустоуборочного комбайна, позволяет предварительно отсеивать капустную листву на землю в процессе транспортирования вороха капусты на выносном транспортёре 13, тем самым функционально снизить интенсивность поступления их на листоотделитель 17. Это позволяет функционировать листоотделителю 17 более эффективно.

В капустоуборочном комбайне основной листоотделитель 4 (см. рис.1) выполнен также в виде вращающегося вальца, установленного над полотном переборочного транспортёр-обрезчика 3 с зазором за выгрузной зоной режущего аппарата под углом β к направлению движения потока капусты.

Валец 4 обшит мягким резиноканевым полотном 8 с эластичными шипами (см. разрез А-А рис. 1).

Переборочный стол в виде транспортёр-обрезчика 3 (см. рис. 1) выполнен из стальных пластин, снабжённых с отверстиями 9, установленных на цепных тяговых контурах так, чтобы путь следования их отверстий пересекалась местом расположения ножевого устройства 5.

Элеватор 6 закреплён на раме комбайна со смещением от зоны расположения вальца 4 напротив пути следования отверстий 9 шарнирно, что позволяет при необходимости устанавливая его в рабочее и транспортное положения с помощью гидроцилиндра 10.

Полотно элеватора 6 имеет желобообразную форму, выполнено из изогнутых по форме желоба прорезиненных стальных полос, а также снабжён упругими скребками на жёсткой основе.

Специальное отгрузочное устройство комбайна, позволяющее отгружать кочаны бережно и точно в кузов сопровождающего транспортного средства или в контейнеры, установленные в нем, содержит жёсткое основание 11 (см. рис. 1, с), упругий лоток 12 и гибкий фартук 13. Нижний провисающий конец гибкого фартука прижат к упругому лотку по краям с помощью упругих строп 14.

Рабочие органы в комбайне приводятся в движение от ВОМ 15 трактора с помощью цепных передач 16 через соответствующие редукторы 17.

В опытном образце малогабаритного капустоуборочного комбайна в достаточной степени оптимизированы ранее [22–25] конструкция и параметры режущего аппарата с устройством для предварительной сепарации вороха капусты, переборочного стола в виде транспортёра-обрезчика, а также элеватора со специальным отгрузочным устройством. В этой связи, в дальнейшем ограничимся только обоснованием режима работы основного листоотделителя. Эффективность функционирования его существенным образом зависит от угловой скорости вращения вальца 4 (см. рис. 1).

Заметим, что в данном устройстве для избегания скопления кочанов перед вальцом необходимо сообщать им в ходе взаимодействия с ним кинетическую энергию T в таком количестве, чтобы её хватило откатываться на полотно транспортёр-обрезчика за пределы зоны действия Δ вальца (рис. 3), т.е. на пути от А до В (это наиболее худший случай). В противном случае кочаны снова будут доставлены полотном транспортёр-обрезчика к вальцу и образуется там затор.

Чтобы выяснить выполнение этого условия, рассмотрим процесс центрального взаимодействия кочана с вальцом 4. Кочан капусты в результате взаимодействия с вальцом (см. рис. 1, b) приобретает в точке касания А скорость

$$v_A = \omega_B \cdot \frac{d_B}{2}, \tag{1}$$

где ω_B — угловая скорость вращения вальца; d_B — диаметр вальца.

При этом мгновенная угловая скорость кочана

$$\omega_K = \frac{v_A \cdot \cos 45^\circ \cdot \sqrt{2}}{d_K}, \tag{2}$$

(здесь d_K — диаметр кочана), если принять в качестве мгновенного центра точку Р.

Тогда линейная мгновенная скорость центра кочана может быть определена по формуле:

$$v_C = \frac{v_A \cdot \cos 45^\circ \cdot \sqrt{2}}{d_K} \cdot \frac{d_K}{2} = \frac{v_A}{2}.$$

Или с учётом (1)

$$v_C = \frac{\omega_B \cdot d_B}{4}. \tag{3}$$

Кочан капусты, имея скорость v_C приобретёт кинетическую энергию в плоскопараллельном движении

$$T = \frac{m_K v_C^2}{2} + \frac{J_C \omega_K^2}{2},$$

где m_K — масса кочана; J_C — момент инерции кочана относительно оси, проходящей через его центр С.

Отсюда, считая кочан капусты как однородный шар,

т.е. приняв $J_C = \frac{1}{10} m_K d_K^2$, $\omega_K = \frac{2v_C}{d_K}$, получим

$$T = \frac{7}{10} m_K v_C^2,$$

или с учетом (3)

$$T = \frac{7}{10} m_K \omega_B^2 d_B^2. \tag{4}$$

Приобретая данную кинетическую энергию, кочан начинает катиться на полотне транспортёр-обрезчика в направлении, перпендикулярном оси вращения вальца, совершая элементарную работу сил трения качения (рис. 4)

$$dA = -\kappa N d\varphi = -\frac{\kappa}{R_K} \cdot N dS_C = -\mu m_K g dS_C,$$

где $\kappa / R_K = \mu$ — коэффициент трения качения кочана на полотне транспортёр-обрезчика; g — ускорение сво-

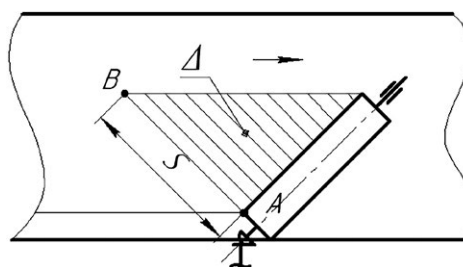


Рис. 3. Зона действия вальца.
Fig. 3. The drum operation area.

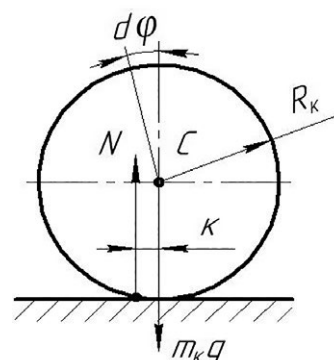


Рис. 4. Схема трения качения кочана на полотне транспортёр-обрезчика.
Fig. 4. Diagram of rolling friction of a cabbage head on the conveyor-cutter belt.

бодного падения; dS_c — элементарное перемещение центра кочана в результате взаимодействия с вальцом.

Проинтегрировав последнее выражение в пределах, соответствующих перемещению кочана из наиболее худшего положения (точки А), где работа равна 0, в конечное В, получим:

$$A = \mu m_k g dS_c = \mu m_k g \ell_b \cdot tg\beta, \quad (5)$$

где ℓ_b — длина вальца; β — угол расположения вальца относительно потока вороха капусты.

Теперь, решая совместно выражения (4) и (5), получим формулу для определения угловой скорости вальца:

$$\omega_b = \frac{4\delta}{d_b} \sqrt{\frac{10\mu \cdot g \ell_b \cdot tg\beta}{7}}. \quad (6)$$

Здесь коэффициент $\delta \approx 1,1 \dots 1,2$ введён для того, чтобы учесть влияние на кинематику абсолютного движения от полотна транспортёр-обрезчика после взаимодействия с вальцом.

При исходных числовых значениях $\mu = 1,5$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $\ell_b = 0,5 \text{ м}$, $\beta = 45^\circ$, $d_b = 0,130 \text{ м}$, проводя расчёт по формуле (6), получим $\omega_b = 66,2 \text{ рад/с}$.

Данный режим работы заложен в конструкции опытного образца комбайна.

Рабочий процесс комбайна проверялся и оценивался на капустном поле ООО «Деметра» республики Марий Эл. Условия, при которых проводили исследования, были типичными для этой зоны (табл. 1).

Общий фон поля, где проводили исследования, показан на рис. 5.

Полевые исследования подготовили согласно требованиям АИСТ 8.7-2013. При этом были проведены следующие подготовительные работы. Поле разделили на загоны шириной B_3 из 28...30 рядов. В проходах между загонами капусту убрали вручную, подготавливая полосу для первого прохода шириной $B_1 = 7,7 \text{ м}$ (рис. 6). В начале и конце загонов площади были свободны, поэтому эти площади использовали в качестве поворотных полос. При проведении исследований выбрали схему движения агрегатов, показанную на рис. 6.

Во время полевого исследования капустоуборочного комбайна технологический процесс протекал следующим образом. Уборочный агрегат двигался по убранной части поля, направляя режущий аппарат 1 (см. рис. 1) по убираемому ряду.

Во время испытаний уборочный агрегат и транспортное средство передвигались по убранной части поля (рис. 7),



Рис. 5. Вид капустного поля, где проводились исследования капустоуборочного комбайна.

Fig. 5. View of a cabbage field where the cabbage harvester research was carried out.

Таблица 1. Характеристика условий проведения полевых исследований капустоуборочного комбайна

Table 1. Characteristics of the conditions for conducting field research of a cabbage harvester

Наименование показателей*	Средние значения показателей
Сорт капусты	Парадокс
Рельеф	Ровный с продольным уклоном не более 5° Слабо гребнистый
Микрорельеф	
Схема посадки, мм	700×500
Ширина основных междурядий, мм	690÷700
Ширина стыков междурядий, мм	690÷710
Прямолинейность рядов:	
а) количество растений, расположенных на осевой линии, %	54,5
б) в зоне ± 100мм, %	35,0
в) в зоне ± 200мм, %	10,5
Состояние и расположение листьев, %	
а) стоящие	46,5÷60,0
б) полулежащие	40,0÷54,5
в) лежащие	7,1÷10,0
Расположение кочанов относительно поверхности почвы, %	
а) от 0 до 50 мм	13,5÷15,9
б) от 50 до 100мм	65,0÷70,0
в) свыше 100мм	17,0÷25,5

* наименования показателей определены согласно СТО АИСТ 8.7-2013.

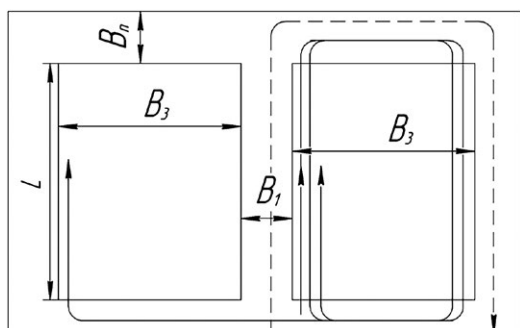


Рис. 6. Схема движения агрегатов при проведении исследований комбайна.

Fig. 6. Scheme of motion of the units during the combine harvester research.

а лифтеры и направляющие режущего аппарата выравнивали полёглые растения капусты (см. рис. 2) и сводили к паре колеблющихся относительно друг друга ножей 11. При совместном действии ножи сводили кочаны в середину режущего аппарата и в последующем срезали в зоне расположения розеточных листьев. В результате происходило отделение последних от кочанов. Далее срезанные кочаны отводились прижимным транспортёром на узкое полотно выносного транспортёра 13, а большая часть листьев капусты, потерявшие связь с кочанами, сразу же отводились ребрами 18 нижнего отклоняющего барабана на землю. При этом часть оставшихся листьев на выносном узком транспортёре также проваливались на землю с краёв полотна в ходе транспортирования к вальцевому листоотделителю 17. Это позволило в последующем улучшить условия сепарирования листьев капусты на вальцевом листоотделителе.

Далее поток кочанов и оставшиеся в потоке свободные листья подходили к основному листоотделителю 4, который откатывал кочаны в дальний угол транспортёр-обрезчика, где формировался поток кочанов в ряд. В то же время листья капусты проходили под вальцом 4 и в последующем отгружались на землю.

Заметим, обшивка вальца 4 мягким резиноканевым полотном позволяла активизировать процесс откатывания кочанов в дальний угол транспортёр-обрезчика и оберегала их от повреждений.

Таким образом, в комбайне происходило более полное отделение капустных листьев, что улучшило условия работы рабочих, инспектирующих кочаны.

В ходе инспектирования за столом доработки рабочие отделяли больные и незрелые кочаны, а нестандартно срезанные кочаны с длинными кочерыжками устанавливали в отверстиях 9 транспортёр-обрезчика для повторной обрезки по принципу гильотины при встрече с пассивным ножом 5.

Далее кочаны и вновь образовавшиеся листья проходили между упругими прорезиненными отражателями 17 на элеватор. Здесь капустные листья, появившиеся после повторной обрезки, снова отсеивались между полосками

полотна элеватора на землю, а кочаны капусты отгружались в щадящем режиме в контейнеры (см. рис. 7), установленные на платформе транспортного средства. При этом, кочаны сначала падали на упругий лоток 12 (см. рис. 1, с), а затем проходили в клинообразной щели между лотком и фартуком 13, теряя скорость движения, что оберегало их от повреждений.

После работы капустоуборочный комбайн переводился в транспортное положение (рис. 8).



Рис. 7. Производственная проверка комбайна в полевых условиях: а — вид спереди; б — вид сзади.

Fig. 7. Production testing of the combine in the field conditions: а — the front view; б — the rear view.



Рис. 8. Капустоуборочный комбайн в транспортном положении.

Fig. 8. The cabbage harvester in transport mode.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Испытания капустоуборочного комбайна прошли успешно. В комбайне наблюдалась ярко выраженная точность (ритмичность) выполнения всех операций, начиная от выравнивания кочанов, их среза и отгрузки в контейнеры. Качественные показатели комбайна приведены в табл. 2, внешний вид полученной продукции представлен на рис. 9, а качество среза — на рис. 10.

Сравнивая показатели работы капустоуборочного комбайна с показателями АТТ (см. табл. 2), убеждаемся в том, что они выгодно отличаются от последних. Так, рабочая скорость в среднем на 53% выше скорости, предусмотренной АТТ, повреждения до 9%, загрязнённость продукции практически отсутствует. Комбайн малогабаритный, следовательно, является менее капиталоемким по сравнению с указанными прототипами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан новый капустоуборочный комбайн, отвечающий современным специфическим условиям малых форм хозяйственной деятельности в овощеводстве.

2. Капустоуборочный комбайн позволяет получать товарную продукцию непосредственно в полевых условиях, заменяя капиталоемкую сложную технологию поточной уборки капусты, рассчитанную на её крупное товарное производство.
3. Полевые исследования показали достаточно высокую его работоспособность, соответствие качественных показателей работы агротехническим требованиям, в частности рабочая скорость в среднем выше на 53% от скорости, предусмотренной АТТ, убрано стандартных кочанов — 100%, наблюдались повреждения кочанов лишь в слабой степени в пределах 8–9%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли соответствующий вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Авторский вклад распределён следующим образом: А.С. Алатырев — написание текста рукописи; Н.А. Емельянов — обзор литературы и участие в проведении исследований; В.С. Никитин — создание

Таблица 2. Качественные показатели работы капустоуборочного комбайна

Table 2. Qualitative performance indicators of the cabbage harvester

Показатели	Значения показателей	Значения показателей по агротехническим требованиям (АТТ)
Рабочая скорость, м/с	0,9–1,5	не менее 0,78
Убрано стандартных кочанов, %	100	95
Потери кочанов, %	0	не более 5
Повреждено кочанов, %	8–9	не более 9
в т.ч. слабой степени	8–9	
средней степени	0	
сильной степени	0	
Полнота удаления капустных листьев, %	95	
Загрязнённость, %	нет	не более 5



Рис. 9. Вид продукции, полученной при комбайновой уборке.
Fig. 9. Type of products obtained by combine harvesting.



Рис. 10. Фрагмент убранной части поля на фоне общей плантации.
Fig. 10. A fragment of the harvested part of the field with the general plantation on the background.

изображений и участие в проведении исследований; И.С. Кручинкина — редактирование текста; С.С. Алатырев — редактирование текста, экспертная оценка, утверждение финальной версии статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источники финансирования. Опытный образец комбайна разработан и изготовлен на средства, выделенные Фондом содействия инновациям на основе гранта «СТАРТ-1». Авторы выражают искреннюю признательность Фонду.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. The authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made relevant

contributions to the research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The author's contribution is distributed as follows: A.S. Alatyrev — writing the text of the manuscript; N.A. Emelyanov — literature review and participation in research; V.S. Nikitin — creating images and participating in research; I.S. Kruchinkina — text editing; S.S. Alatyrev — text editing, expert evaluation, approval of the final version of the article.

Competing interests. The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding source. The prototype of the combine harvester was developed and manufactured with funds allocated by the Innovation Promotion Fund on the basis of the START-1 grant. The authors express their sincere gratitude to the Foundation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онежкина О.Н. Функционирования и развитие рынка овощной продукции: дисс. ... канд. эконом. наук. Ставрополь, 2020.
2. Алатырев С.С., Кручинкина И.С., Алатырев А.С. Техника и технологии для уборки кочанной капусты (обзор, теория, технологический расчет, развитие). Чебоксары: ЧГУ, 2020.
3. Алатырев С.С., Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. Новые технологии и техническое средство для уборки капусты // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 7. С. 16–17. EDN: JUXOCV
4. Zhou C., Luan F., Fang X., Chen H. Design of cabbage pulling-out test bed and parameter optimization test // CET. 2017. Vol. 62. P. 1267–1272. doi: 10.3303/CET1762212
5. Alatyrev S.S., Kruchinkina I.S., Alatyrev A.S. et al. Technology and parameters of cabbage machine harvesting by careful stacking of heads in containers // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. Vol. 433. P. 012005. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012005
6. Gao T.H., Wang T.B., Zhou Z.C. Optimization experiment of influence factors on greenhouse vegetable harvest cutting // Transactions of the CSAE. 2015. Vol. 31 (19). P. 15–21. doi: 10.5424/sjar/2023211-19979
7. Song K.S., Hwang H., Hong J.T. Automatic cabbage feeding, piling, and unloading system for tractor implement Chinese cabbage harvester // IFAC Proceedings. 2000. Vol. 33 (29). P. 259.
8. Patent USA 3497013 / February 24, 1970. Baker W.M. Cabbage and lettuce harvesters. Accessed: 29.09.2023. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/98/e5/6d/e5560688caf08d/US3497013.pdf>
9. Chagnon R., Eng P., Charles M.T., et al. Development of a Cabbage Harvester // ASABE. 2004. P. 41025. doi: 10.13031/2013.17892
10. Murakami N., Otsuka K., Inoue K., Sugimoto M. Agricultural Machinery. 1999. Vol. 61, N 5. P. 93 doi: 10.11357 / jsam 1937.61.5_93
11. Hachiya M., Amano T., Yamagata M., Kojima M. Development and Utilization of a New Mechanized Cabbage Harvesting System for Large Fields // Japan Agricultural Research Quarterly. 2004. Vol. 38, N 2. P. 97–103.
12. Kanamitsu M., Yamamoto K. Development of Chinese cabbage harvester // JARQ. 1996. Vol. 30, N. 1. P. 35.
13. Du D.D., Fei G.Q., Wang J. Development and experiment of self-propelled cabbage harvester // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2015. Vol. 31, N 14. P. 16. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.14.003
14. Geng D.Y., Zhand T.Z., Luo H. Analysis of agricultural machinery development trend in our country // Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery. 2004. N 4. P. 208.
15. Тихонов Н.И. Обоснование технологий и технических средств для уборки капусты: дис. ... д-ра с.-х. наук. Москва, 1996.
16. Авторское свидетельство СССР №1175389 / 30.08.85. Бюл. №32. Алатырев С.С., Романовский Н.Н., Городков В.П. Рабочий орган капустоуборочной машины. EDN: LORYMD
17. Патент РФ № 2365086 / 27.08.2009. Бюл. № 24. Савеличев К.А., Алатырева И.С., Григорьев А.О. и др. Капустоуборочная машина. EDN: MQSYZX
18. Патент РФ № 2527025 / 27.08.2014. Бюл. № 24. Алатырев А.С., Григорьев А.О., Воронин В.В., Алатырев С.С. Отгрузочное устройство капустоуборочной. EDN: ZFQZOH
19. Патент РФ № 2743189 / 16.02.2021. Бюл. №5. Кручинкина И.С., Алатырев А.С., Алатырев С.С. Капустоуборочная машина. EDN: XYVWGA
20. Патент РФ № 2769128 / 28.03.2022, Бюл. №10. Алатырев А.С., Кручинкина И.С., Алатырев С.С. Капустоуборочный комбайн. EDN: EBLDWW
21. Кручинкина И.С., Алатырев А.С., Алатырев С.С., Григорьев А.О. Производственная проверка многовариантного капустоуборочного комбайна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14, № 1(68). С. 27–40.
22. Романовский Н.Н., Алатырев С.С. Основные параметры срезающего аппарата капустоуборочных машин // НИПТИМЭСХ НЗ РСФСР Отделение ВАСХНИЛ по Нечернозёмной зоне РСФСР. Л., 1986. Деп. Во ВНИИТЭИ агропром 31.07.86, № 291BC-86 Деп.
23. Алатырев С.С., Савеличев К.А. Новое устройство для товарной обработки кочанов капусты // Техника в сельском хозяйстве. 2009. № 6. С. 50–51.
24. 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. EDN: SKDTJA

25. Алатырев С.С., Алатырев А.С., Кручинкина И.С. Улучшение условий сепарирования вороха капусты в капустоуборочном комбайне. В кн.: Наука, технологии, кадры — основы

достижений прорывных результатов в АПК : Сборник научно-практических материалов Международной научно-практической конференции, Казань, 26–27 мая 2021 года. Т. XV. Ч. 2. Казань: ТИПКА, 2021. С. 558–566.

REFERENCES

1. Onezhkina ON. Funktsionirovaniya i razvitie rynka ovoshchnoy produktsii [dissertation] Stavropol; 2020. (In Russ.)
2. Atyrev SS, Kruchinkina IS, Atyrev AS. *Equipment and technologies for harvesting cabbage (review, theory, technological calculation, development)*. Cheboksary: ChGU; 2020. (In Russ.)
3. Alatyrev SS, Savelichev KA, Alatyreva IS, Grigoriev AO. New technologies and technical means for harvesting cabbage. *Tractors and agricultural machinery*. 2008;7:16–17. (In Russ.) EDN: JUXOCV
4. Zhou C, Luan F, Fang X, Chen H. Design of cabbage pulling-out test bed and parameter optimization test. *CET*. 2017;62:1267–1272. doi: 10.3303/CET1762212
5. Alatyrev SS, Kruchinkina IS, Alatyrev AS, et al. Technology and parameters of cabbage machine harvesting by careful stacking of heads in containers. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020;433:012005. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012005
6. Gao TH, Wang TB, Zhou ZC. Optimization experiment of influence factors on greenhouse vegetable harvest cutting. *Transactions of the CSAE*. 2015;31(19):15–21. doi: 10.5424/sjar/2023211-19979
7. Song KS, Hwang H, Hong JT. Automatic cabbage feeding, piling, and unloading system for tractor implement Chinese cabbage harvester. *IFAC Proceedings*. 2000;33(29):259.
8. Patent USA 3497013 / February 24, 1970. Baker WM. Cabbage and lettuce harvesters. Accessed: 29.09.2023. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/98/e5/6d/e5560688caf08d/US3497013.pdf>
9. Chagnon R, Eng P, Charles MT, et al. Development of a Cabbage Harvester. *ASABE*. 2004;4:1025. doi: 10.13031/2013.17892
10. Murakami N, Otsuka K, Inoue K, Sugimoto M. *Agricultural Machinery*. 1999;61(5):93. doi: 10.11357 / jsam 1937.61.5_93
11. Hachiya M, Amano T, Yamagata M, Kojima M. Development and Utilization of a New Mechanized Cabbage Harvesting System for Large Fields. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 2004;38(2):97–103.
12. Kanamitsu M, Yamamoto K. Development of Chinese cabbage harvester. *JARQ*. 1996;30(1):35.
13. Du DD, Fei GQ, Wang J. Development and experiment of self-propelled cabbage harvester. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015;31(14):16. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.14.003
14. Geng DY, Zhand TZ, Luo H. Analysis of agricultural machinery development trend in our country. *Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2004;4:208.
15. Tikhonov NI. *Obosnovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki kapusty* [dissertation] Moscow; 1996. (In Russ.)
16. Avtorskoe svidetelstvo USSR №1175389 / 30.08.85. Byul. №32. Alatyrev SS, Romanovskiy NN, Gorodkov VP. Rabochiy organ kapustouborochnoy mashiny. (In Russ.) EDN: LORYMD
17. Patent RUS № 2365086 / 27.08.2009. Byul. № 24. Savelichev KA, Alatyreva IS, Grigoryev AO, et al. Kapustouborochnaya mashina. (In Russ.) EDN: MQSYZX
18. Patent RUS № 2527025 / 27.08.2014. Byul. № 24. Alatyrev AS, Grigoryev AO, Voronin VV, Alatyrev SS. Otgruzochnoe ustroystvo kapustouborochnoy. (In Russ.) EDN: ZFQZOH
19. Patent RUS № 2743189 / 16.02.2021. Byul. №5. Kruchinkina IS, Alatyrev AS, Alatyrev SS. Kapustouborochnaya mashina. (In Russ.) EDN: XYVWGA
20. Patent RUS № 2769128 / 28.03.2022, Byul. №10. Alatyrev AS, Kruchinkina IS, Alatyrev SS. Kapustouborochnyy kombayn. (In Russ.) EDN: EBLDWW
21. Kruchinkina IS, Alatyrev AS, Alatyrev SS, Grigoryev AO. Proizvodstvennaya proverka mnogovariantnogo kapustouborochnogo kombayna. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;14(1(68)):27–40. (In Russ.)
22. Romanovskiy N.N., Alatyrev S.S. Osnovnye parametry srezayushchego apparata kapusto-uborochnykh mashin. *NIPTIMESKh NZ RSFSR Otdelenie VASKhNIL po Nechernozemnoy zone RSFSR. L., 1986. Dep. Vo VNIITEI agroprom 31.07.86, №291VS-86Dep.* (In Russ.)
23. Alatyrev SS, Savelichev KA. Novoe ustroystvo dlya tovarnoy obrabotki kochanov kapusty. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2009;6:50–51. (In Russ.)
24. Alatyrev SS, Grigoriev AO, Alatyrev AS. Justification of device parameters for loading heads of cabbage into the body of a vehicle. *Tractors and agricultural machinery*. 2015;9:11–14. (In Russ.) EDN: SKDTJA
25. Alatyrev SS, Alatyrev AS, Kruchinkina IS. Improving the conditions for separating heaps of cabbage in a cabbage harvester. In: *Science, technology, personnel — the basis for achieving breakthrough results in the agro-industrial complex: Collection of scientific and practical materials of the International Scientific and Practical Conference, Kazan, May 26–27, 2021*. Vol. XV. Part 2. Kazan: TIPKA; 2021:558–566. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*** Алатырев Алексей Сергеевич,**

канд. техн. наук,
заведующий кафедрой «Транспортно-технологические
машины и комплексы»;
адрес: Российская Федерация, 4280003, Чебоксары,
ул. К. Маркса, д. 29;
ORCID: 0000-0003-3059-9352;
eLibrary SPIN: 8101-2562;
e-mail: Leha.alatyrev@mail.ru

Емельянов Николай Андреевич,

аспирант кафедры «Транспортно-технологические машины
и комплексы»;
ORCID: 0000-0003-0475-2157;
eLibrary SPIN: 1054-1770;
e-mail: emelya.kolya19977@yandex.ru

Никитин Вадим Сергеевич,

аспирант кафедры «Транспортно-технологические машины
и комплексы»;
ORCID: 0000-0002-2733-1032;
eLibrary SPIN: 8878-4407;
e-mail: vadim-nikitin-97@inbox.ru

Кручинкина Ирина Сергеевна,

канд. техн. наук,
доцент кафедры «Математика, физика и информационные
технологии»;
ORCID: 0000-0003-4995-8706;
eLibrary SPIN: 1986-5266;
e-mail: irinka58.84@mail.ru

Алатырев Сергей Сергеевич,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Транспортно-технологические машины
и комплексы»;
ORCID: 0000-0002-4694-2381;
eLibrary SPIN: 7789-5968;
e-mail: S_Alatyrev1955@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Alexey S. Alatyrev,**

Cand. Sci. (Engineering),
Head of the Transport and Technological Machines and Facilities
Department;
address: 29 K. Marksa street, 428003 Cheboksary,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-3059-9352;
eLibrary SPIN: 8101-2562;
e-mail: Leha.alatyrev@mail.ru

Nikolay A. Emelyanov,

Postgraduate of the Transport and Technological Machines
and Facilities Department;
ORCID: 0000-0003-0475-2157;
eLibrary SPIN: 1054-1770;
e-mail: emelya.kolya19977@yandex.ru

Vadim S. Nikitin,

Postgraduate of the Transport and Technological Machines
and Facilities Department;
ORCID: 0000-0002-2733-1032;
eLibrary SPIN: 8878-4407;
e-mail: vadim-nikitin-97@inbox.ru

Irina S. Kruchinkina,

Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Mathematics, Physics and Information
Technology Department;
ORCID: 0000-0003-4995-8706;
eLibrary SPIN: 1986-5266;
e-mail: irinka58.84@mail.ru

Sergey S. Alatyrev,

Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Transport and Technological Machines
and Facilities Department;
ORCID: 0000-0002-4694-2381;
eLibrary SPIN: 7789-5968;
e-mail: S_Alatyrev1955@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author