

EDN: APOOJY

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-45-51



Научная статья

УДК 631.35



Определение динамических нагрузок машин для подготовки почвы под посадку картофеля

Набижон Гуломович Байбобоев¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: ngbayboboev@gmail.com;

Парвиз Имранович Гаджиев²,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: pgadjiev@yandex.ru;

Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова²,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: gulbike@yandex.ru;

Гайрат Атаханович Бахадиров³,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: instmech@rambler.ru;
Журабек Умирзокович Умирзоков¹,
докторант,
e-mail: jurabek97u@mail.ru

¹Наманганский государственный технический университет, г. Наманган, Республика Узбекистан;

²Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского, г. Балашиха, Российская Федерация;

³Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. Подготовка почвы перед посадкой составляет ключевой этап возделывания картофеля. Применение рыхлительного барабана машины-сепаратора приводит к снижению повреждения клубней при уборке. Рассмотрен экспериментальный подход к изучению характера собственных частот колебаний рыхлительного барабана на примере машины-сепаратора в эксплуатационных условиях. (*Цель исследования*) Исследовать закономерности изменения динамических нагрузок рабочих органов почвообрабатывающих машин методом тензометрирования и осциллографирования колебательных процессов вращающихся звеньев сепаратора-отделителя комков почвы. (*Материалы и методы*) Для определения частот собственных колебаний комкоразрушающих рабочих органов машины-сепаратора использовали метод инерционного возбуждения. В лабораторных условиях был изготовлен специальный стенд, состоящий из электродвигателя постоянного тока типа МПП-35, выпрямителя с реостатом и тензометрической балки. Во время эксперимента для определения собственной частоты рыхлительного барабана на жестко закрепленном на валу барабана кронштейну был установлен вибратор. Приведенная схема тензометрирования вращающихся узлов сепаратора-отделителя комков почвы позволяет проводить измерения с минимальной погрешностью. Колебания узла регистрировались с использованием тензометрической балки в виде консольной пластинки из пружинистой стали, на боковые поверхности которой наклеены два тензорезистора с базой 20 миллиметров и сопротивлением каждого 200 Ом. (*Результаты и обсуждение*) При определении частоты собственных колебаний рыхлительного барабана вибратор крепился к звездочке $z = 40$ привода барабана. А при определении частоты собственных колебаний первого и второго валов сепарирующего транспортера вибратор крепился к звездочке $z = 13$ привода транспортеров. Тензорезисторы воспринимали деформацию изгиба пластинки, электрические сигналы поступали к усилителю и гальванометру осциллографа с непрерывной записью осциллограмм, возбуждаемых электродвигателем крутильных колебаний. (*Выводы*) Экспериментально установлено, что графики крутильных колебаний на узле ведущего и ведомого вала элеватора и рыхлительного барабана представляют синусоиду с периодом $T = 0,053$ секунды. **Ключевые слова:** механическая обработка почвы, возделывание картофеля, сепарация почвы, комки, агротехнические приемы, сепаратор, элеватор.

■ Для цитирования: Байбобоев Н.Г., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Бахадиров Г.А., Умирзоков Ж.У. Определение динамических нагрузок машин для подготовки почвы под посадку картофеля // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 45-51. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-45-51. EDN: APOOJY.

Scientific article

Determination of Dynamic Loads on Soil-Preparation Machines Used for Potato Planting

Nabijon G. Bayboboev¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: ngbayboboev@gmail.com;

Parviz I. Gadzhiev²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: pgadjiev@yandex.ru;

Gulbike G. Ramazanova²,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gulbike@yandex.ru;

Gayrat A. Bahadirov³,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: instmech@rambler.ru;

Jurabek U. Umirzokov¹,
Ph.D.(Eng.) student,
e-mail: jurabek97u@mail.ru

¹Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan Republic;

²Vernadsky Russian State University of National Economy, Balashiha, Russian Federation;

³Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Tashkent, Uzbekistan Republic

Abstract. Soil preparation prior to planting is a key stage in potato cultivation. The incorporation of a loosening drum into a soil-separating machine helps reduce tuber damage during harvesting. This study presents an experimental approach to investigating the natural oscillation frequencies of the loosening drum, using a soil separator under real working conditions. (*Research purpose*) To identify the patterns governing changes in dynamic loads acting on the working elements of soil-cultivating machines by means of strain-gauge measurements and oscillographic analysis of vibrational processes in the rotating components of a soil clod separator. (*Materials and methods*) To determine the natural oscillation frequencies of the clod-breaking working tools of the separator machine, the method of inertial excitation was used. A special laboratory test rig was constructed, consisting of an MGP-35 type direct current motor, a rectifier equipped with a rheostat, and a strain-gauge beam. During the experiment, a vibrator was mounted on a bracket rigidly fixed to the shaft of the soil loosening drum to identify its natural frequency. The adopted strain-gauge measurement scheme for the rotating units of the soil clod separator ensures high measurement accuracy. Oscillatory responses were recorded using a strain-gauge beam made of spring steel and shaped as a cantilever plate. Two strain gauges with a gauge length of 20 mm and a nominal resistance of 200 Ohms each were bonded to the lateral surfaces of the beam to register deformation caused by vibrational loading. (*Results and discussion*) To determine the natural frequency of the loosening drum, the vibrator was mounted on a drive sprocket with $z = 40$. The natural frequencies of the first and second shafts of the separating conveyor were determined in a similar manner, with the vibrator mounted on a drive sprocket with $z = 13$. The strain gauges registered bending deformation of the plate, while the resulting electrical signals were transmitted to an amplifier and subsequently to the oscilloscope galvanometer, which provided continuous recording of oscillograms of torsional vibrations excited by the electric motor. (*Conclusions*) The experimental results demonstrated that the torsional vibration waveforms of the drive and driven shafts of the elevator, as well as of the loosening drum, exhibit a sinusoidal character with a vibration period of $T=0.053$ seconds. **Keywords:** mechanical soil tillage, potatoes, soil clod separation, clods, agrotechnical operations, separator, elevator.

■ **For citation:** Bayboboev N.G., Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Bahadirov G.A., Umirzokov J.U. Determination of dynamic loads on soil-preparation machines used for potato planting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 45-51 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-45-51. EDN: APOOJY.

Возможность повышения эффективности производства и улучшения качества картофеля заключается в широкой модернизации технологии возделывания и совершенствования конструкторских разработок машин для предпосадочной подготовки почвы [1]. Основным рабочим органом машины для обработки почвы под посадку картофеля служит барабан с шарнирно закрепленными колками. При этом шарнирная подвеска сохраняет рабочие органы машины от поломок во время удара о прочные комки и камни. Наличие комкоразрушающего рабочего органа способствует разрыхлению почвы [2, 3].

Работа агрегата основана на растяжении образца под воздействием нагрузки, которая с течением времени увеличивается [4]. В данном случае нагрузка направлена на разрушение соединения композитных прутков с металлической трубкой, что позволяет определить прочность этого соединения, установить возможность его функционирования в

полевых условиях и допустимые нагрузки, возникающие в процессе уборки картофеля [5].

Недостаточное количества экспериментальных данных о статистической и динамической нагруженности рабочих органов барабанного типа осложняет усовершенствование почвообрабатывающих машин [6, 7].

Поскольку анализ влияния неравномерного поступления обрабатываемой массы на динамику барабанов с различными моментами инерции масс проводился без учета конструктивных особенностей барабана, то остались не изученными закономерности динамических нагрузок на его опору и валы [8, 9]. Исследование колебательного процесса рабочих органов барабанного типа должно быть направлено на обеспечение динамической прочности их конструктивных параметров [10, 11].

В оценке значимости барабанов машин для подготовки почвы также важно исходить из концепции, что эти барабаны являются носителями энер-

гии, что позволяет разрушать комки почвы свободным ударом [12]. В машинах для подготовки почвы под посадку картофеля используются ножи, битерные барабаны с различными видоизменениями [13, 14]. От их надежного функционирования зависят нормальное протекание технологического процесса разрушения комков почвы и общая производительность машины в целом [15, 16].

Для изучения динамики процессов, выполняемых комкоразрушающими рабочими органами машины, важной задачей является экспериментальное исследование колебания этих рабочих органов (Рустамов Р.М. Динамика рыхлительного барабана сепаратора почвы на базе картофелекопателя КТН-2В: дисс. ... канд. техн. наук Наманган, 1994. 138 с.).

Цель исследования – изучить закономерности изменения динамических нагрузок рабочих органов почвообрабатывающих машин методом тензометрирования и осциллографирования колебательных процессов.

Материалы и методы. Частоту собственных колебаний комкоразрушающих рабочих органов машины-сепаратора определяли методом инерционного возбуждения [17, 18]. Анализ схемы подвода и распределения потока энергии к вращающимся узлам машины для обеспечения рабочего процесса при подготовке почвы показал, что битерный барабан является одним из наиболее нагруженных (Сорокин А.А., Бойбобоев Н.Г., Рустамов Р.М. Аналитическое исследование крутильных колебаний вращающихся звеньев картофелекопателя-сепаратора для обработки почвы перед посадкой картофеля // Библиографический указ. ВИНТИ-Деп научные работы. 1994. №1. С. 51). Этим барабаном распределяется поток энергии между остальными рабочими барабанами и вращающимися деталями. Например, одна из ведомых звездочек битерного барабана установлена на его несущем валу рядом с ведущей звездочкой. Через эту звездочку приводится во вращение барабан с подвижными битерами. В результате на опоры битерного барабана действуют составляющие собственной массы барабана, сил инерции от неуравновешенности, комплектующих барабан масс, технологической нагрузки и нагрузки от ведущей и ведомых ветвей цепных приводов. Значения крутящего момента ведущей звездочки битерного барабана определяются выполняемыми самим барабаном операциями и нагрузками на другие рабочие барабаны, приводимые в движение ведомыми звездочками барабана.

Исследования в эксплуатационных условиях проводились при заглублении битера барабана в массу на $10 \pm 0,3$ см, что соответствует установке этих барабанов в практике эксплуатации. В лабораторных условиях изготовлен стенд, состоящий

из электродвигателя постоянного тока типа МГП-35, выпрямителя с реостатом и тензометрической балкой. При плавном изменении сопротивления реостата пропорционально меняется напряжение, и в зависимости от него плавно регулируется частота вращения электродвигателя. На консольной части вала электродвигателя закреплена масса m , эксцентрично расположенная относительно оси вращения. При вращении электродвигателя масса возбуждается и колеблется с частотой, равной угловой скорости вращения вала электродвигателя ω_n .

Для определения собственной частоты рыхлительного барабана во время эксперимента на жестко закрепленном к валу барабана кронштейне был установлен вибратор.

Анализируя приведенные выражения радиальных нагрузок на опоры, можно отметить, что на изменение значений амплитуд радиальных нагрузок наибольшее влияние оказывают низкочастотные гармонические составляющие (первая, вторая и третья) [19, 20]. Для снижения амплитуд радиальных нагрузок, способствующих улучшению динамических условий работы опор барабана, нами рекомендуется устанавливать упругие прокладки между корпусами подшипников и рамой машины взамен жестких металлических, используемых в серийных машинах. Кроме того, как показывают расчеты, выполненные по известной методике, для повышения надежности работы опор барабана рекомендуется внутренние и наружные кольца подшипников устанавливать соответственно по посадкам к6 и Н7.

Технологические нагрузки подвижного битерного барабана от набрасываемого на него битерным барабаном массы являются равномерно-распределенными по его длине, и эти нагрузки периодически повторяются за каждый оборот барабана. Кривые радиальных нагрузок (Н) на опоры в этом случае целесообразно представить в виде гармонических составляющих, которые могут быть описаны приближенными выражениями:

$$R_{\text{н}}^1 \approx 268 + 248 \sin(\omega t - 152^\circ) + 76 \sin(2\omega t - 135^\circ) + 90,4 \sin(3\omega t - 148^\circ) + 10,8 \sin(4\omega t - 300^\circ) + 5 \sin(5\omega t - 98^\circ) + 161 \sin(6\omega t - 186^\circ)$$

$$R_{\text{н}}^2 \approx -290 + 357 \sin(\omega t - 168^\circ) + 398 \sin(2\omega t - 172^\circ) + 113 \sin(3\omega t - 88^\circ) + 54,3 \sin(4\omega t - 115^\circ) + 134 \sin(5\omega t - 108^\circ) + 72,6 \sin(6\omega t - 186^\circ)$$

$$R_{\text{н}}^3 \approx 60 + 229 \sin(\omega t + 13^\circ) + 37,6 \sin(2\omega t - 77^\circ) + 134 \sin(3\omega t - 104^\circ) + 11,2 \sin(4\omega t - 26^\circ) + 7,2 \sin(5\omega t - 154^\circ) + 42 \sin(6\omega t - 326^\circ)$$

$$R_{\text{н}}^4 \approx 50 + 188,5 \sin(\omega t + 164^\circ) + 87,5 \sin(2\omega t + 275^\circ) + 25,6 \sin(3\omega t + 54^\circ) - 55,5 \sin(4\omega t - 148^\circ) + 50,2 \sin(5\omega t + 41^\circ) + 31 \sin(6\omega t - 96^\circ)$$

где $\omega = 35,5 \pm 0,2$ – угловая скорость вращения барабана, с^{-1} .

Регистрацию колебаний узла осуществляли тензометрической балкой, представляющей собой консольную пластинку из пружинистой стали, на боковые поверхности которой наклеены два тензорезистора с базой 20 мм и сопротивлением по 200 Ом каждый. Тензорезисторы соединялись в полумосты и подключались к одному из каналов полупроводникового усилителя ТУП-12М. Усиленные сигналы фиксировались с помощью осциллографа Н-010М. Схема электротензометрирования представлена на *рисунке 1*.

Консольная часть тензометрической балки вставлялась в паз кронштейна на некотором расстоянии со стороны, противоположной установке электродвигателя. Противоположная часть тензометрической балки жестко закреплялась на раме машины.

Перед определением парциальных частот рыхлительного барабана его концевые точки жестко прикреплялись к корпусу машины. К входной части, где был установлен электродвигатель, прикладывался постоянный крутящий момент, величина которого приблизительно равна статической составляющей этого момента, действующего при работе машины сепаратора.

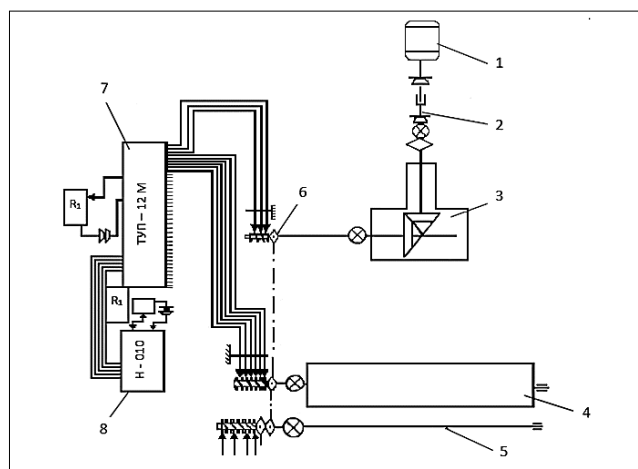


Рис. 1. Схема тензометрирования вращающихся узлов сепаратора почвы: 1 – электродвигатель; 2 – карданный вал; 3 – редуктор; 4 – рыхлительный барабан; 5 – вал сепарирующего транспортера; 6 – цепная передача; 7 – усилитель ТУП – 12 М; 8 – осциллограф Н – 010 М
 Fig. 1. Diagram illustrating strain-gauge instrumentation for the rotating units of the soil separator: 1 – electric motor; 2 – cardan shaft; 3 – gearbox; 4 – loosening drum; 5 – shaft of the separating conveyor; 6 – chain drive; 7 – TUP-12M amplifier; 8 – N-010M oscilloscope

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. За время определения парциальных частот рыхлительного барабана угловая скорость вращения вала электродвигателя плавно увеличивалась от 0 до 250 с^{-1} .

При этом тензорезисторы воспринимали деформацию изгиба пластинки, электрические сигналы

от которых поступали к усилителю и гальванометру осциллографа, с помощью которого осуществлялась непрерывная запись осциллограмм, возбуждаемых электродвигателем крутильных колебаний. При совпадении числового значения угловой скорости вала электродвигателя со значением парциальной частоты рассматриваемого рыхлительного барабана на осциллограмме четко просматривается зона увеличения амплитуды колебаний. По значению периода этого колебания на осциллограмме определяют парциальную частоту колебаний рассматриваемого рабочего органа.

Например, крутящий момент между ведущей и ведомой звездочками колеблется в пределах $72 \pm 1,3$ и $18 \pm 1,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а между правой опорой и правым крайним фланцем $13 \pm 1,3$ и $166 \pm 1,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и т.п. Поскольку длина концевых участков небольшая (до 95 мм) и она не может выравнять знакопеременный характер крутящего момента, то случаи среза несущего вала и выхода из строя шпоночных соединений звездочек на этих участках вполне объяснимы.

Осциллограмма колебательного процесса вращающихся звеньев машины-сепаратора показана на *рисунке 2*.

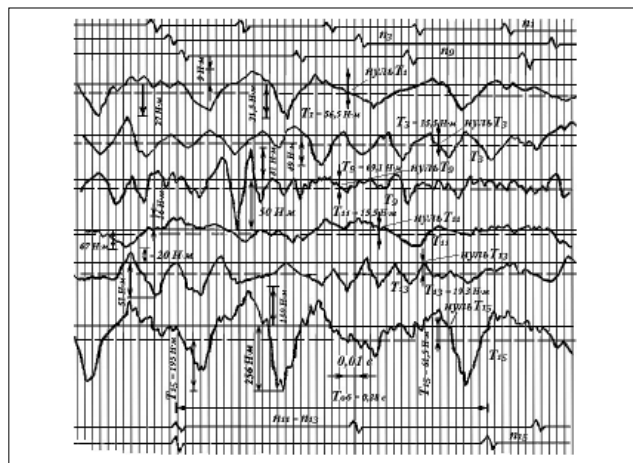


Рис. 2. Осциллограмма колебательного процесса вращающихся звеньев сепаратора почвы
 Fig. 2. Oscillogram demonstrating oscillatory motion of the soil separator's rotating elements

Таким образом, при определении частот собственных колебаний рыхлительного барабана вибратор крепился к звездочке $z = 40$ привода этого барабана, а колебаний первого и второго вала сепарирующего транспортера вибратор крепился и к звездочке $z = 13$ привода этих транспортеров.

Частоты собственных колебаний определялись на следующих узлах:

- ведущем и ведомом валах элеваторов вибратор крепился к звездочке $z = 13$;
- рыхлительном барабане вибратор крепился к звездочке $z = 40$ привода этого барабана.

Предложенный экспериментальный подход изучения характера распределения динамической нагрузки по длине рабочих органов барабанного типа машин для подготовки почвы, основанный на методе тензометрирования и осциллографирования колебательных процессов, позволяет установить закономерности и числовые значения динамических нагрузок, действующих на опоры и валы этих рабочих органов в эксплуатационных условиях работы.

Результаты обработки осциллограммы по определению парциальных частот колебаний вращающихся узлов сепаратора почвы показали, что для ведущих и ведомых валов элеватора сепарирующего транспортера этот показатель составляет $107,7 \text{ с}^{-1}$, для рыхлительного барабана – $128,9 \text{ с}^{-1}$. Характер этих колебаний имеет синусоидальную форму с периодом $T = 0,053 \text{ с}$.

Выводы. Предложенный экспериментальный подход к изучению характера собственных частот

колебаний рыхлительного барабана, основанный на методе тензометрирования и осциллографирования колебательных процессов, позволяет установить закономерности и получить числовые значения динамических нагрузок, действующих на правые и левые опоры, которые достигают соответственно $330 \pm 6,5$ и $1700 \pm 6,5 \text{ Н}$, в эксплуатационных условиях работы.

Экспериментально установлено, что графики крутильных колебаний на узле ведущего и ведомого вала элеватора и рыхлительного барабана представляют собой синусоиду с периодом $T = 0,053 \text{ с}$.

Предлагаемый подход изучения колебаний рыхлительного барабана машин для подготовки почвы перед посадкой картофеля, определяющий условия их функционирования, может быть использован для анализа действия рабочих органов барабанного типа различных сельскохозяйственных или аналогичных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Бычков М.В., Жалнин А.А. Экспериментальное исследование рабочего органа глубокорыхлителя // *Сельский механизатор*. 2022. N2. С. 12-14. EDN: FXEUJH.
- Байбобоев Н.Г., Рахманов Д.О., Хамзаев А.А. Обоснование влияния параметров машины-сепаратора на эффективность сепарации почвы // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013. N5-1(12). С. 93-96.
- Байбобоев А.Н., Кодиров С.Т., Акбаров Ш.Б. и др. Расчет технологического процесса сепарации почвы с рыхлительным барабаном // *Научно-техническое обеспечение сельского хозяйства*. 2019. С. 60-64. EDN: BVLEMP.
- Байбобоев Н.Г., Рамазанова Г.Г., Гойипов У.Г. и др. Оптимизация параметров сепарирующих рабочих органов картофелеуборочной машины // *Universum: технические науки*. 2023. N5-3(110). С. 28-32. DOI: 10.32743/UniTech.2023.110.5.15475.
- Алдошин Н.В., Маматов Ф.М., Исмаилов И.И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве // *Техника и оборудование для села*. 2021. N2 (284). С. 12-15. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-2-12-15.
- Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П. Разработка ресурсосберегающей технологии и технических средств для возделывания картофеля // *Наука в Центральной России*. 2024. N1(67). С. 110-117. DOI: 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117.
- Белоусов С.В., Камбулов С.И., Рыков В.Б., Туровский Б.В. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. N1(69). С. 509-519. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
- Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Байбобоев Н.Г. и др. Анализ работ в области динамической нагруженности комкоразрушающих барабанов от взаимодействия с почвой // *Техника и оборудование для села*. 2025. N3(333). С. 22-28. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-3-22-28.
- Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Сибирев А.В., Мосяков М.А. Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26. N4. С. 4-12. DOI: 10.26897/2687-1149-2024-4-4-12.
- Мехеда В.А. Моделирование упруго-пластического деформирования приповерхностных слоев материалов // *Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия*. 2024. Т. 30. N3. С. 25-34. DOI: 10.18287/2541-7525-2024-30-3-25-34.
- Ямпольский Д.З. О возможности определения энергии ударного импульса методом индикаторных диаграмм // *Вестник научно-технического развития*. 2024. N2(173). С. 9-15. DOI: 10.18411/vntr2024-173-2.
- Lü J., Shang Q., Yang Y. et al. Design Optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.015.
- Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N2. С. 45-48. EDN: TTLVUJ.
- Тетерин В.С., Панферов Н.С., Хортов А.В. и др. Эволюция картофелеуборочной техники // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N3. С. 119-126. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-119-126.
- Zhou J.G., Gao Z.N., Chen J. et al. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2021. N2. 151-158. DOI: 10.35633/inmateh-64-14.

16. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8 (278). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
17. Лобовский М.О., Туккия А.Л., Пяткин П.А. Сравнение метода измерений деформаций и усилий с применением микрометра и тензорезистивного метода контроля напряженно-деформированного состояния // *Вестник гражданских инженеров*. 2021. N3(86). С. 71-75. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-71-75.
18. Адеянов И.Е. Александра М.Ю. Применение тензодатчиков в расчете напряженно-деформированного состояния нежесткого стержня при внецентренном растяжении // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2024. Т. 26. N4-2(120). С. 244-250. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-244-250.
19. Веремейчик А.И., Мартынов А.В., Добрияник Ю.А. Оптимизация материала для изготовления балок под тензометрические датчики // *Механики XXI века*. 2024. N23. С. 416-423. EDN: DCWWEV.
20. Попов А.М., Мехдиев Р.В.О. Исследования износа и вибраций зубчатых передач в сельскохозяйственном оборудовании // *Механики XXI века*. 2023. N22. С.182-186. EDN: PAZRIM.

REFERENCES

1. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Bychkov M.V., Zhalnin A.A. Experimental study of the working organ of the deep-loader. *Selskiy Mechanizator*. 2022. N2. 12-14 (In Russian) EDN: FXEUJH.
2. Bayboboev N.G., Rakhmanov D.O., Khamzaev A.A. The motivation of the separator-machine parameters's influence on the efficiency of soil separation. *International Research Journal*. 2013. N5-1(12). 93-96 (In Russian).
3. Bayboboev A.N., Kodirov S.T., Akbarov Sh.B. et al. Calculation of the technological process of soil separation with a loosening drum. *Scientific and Technical Support for Agriculture*. 2019. 60-64 (In Russian). EDN: BBLEMP.
4. Bayboboev N.G., Ramazanova G.G., Goyipov U.G. et al. Optimization of the parameters of the separating working bodies of a potato harvester. *Universum: Technical Sciences*. 2023. N5-3(110). 28-32 (In Russian). DOI: 10.32743/UniTech.2023.110.5.15475.
5. Aldoshin N.V., Mamatov F.M., Ismailov I.I. Mechanization means for tillage in melon growing. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N2 (284). 12-15 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-2-12-15.
6. Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Gadzhiev I.P. Development of resource-saving technology and technical means for potato cultivation. *Science in the Central Russia*. 2024. N1(67). 110-117 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117.
7. Belousov S.V., Kambulov S.I., Rykov V.B., Turovsky B.V. Kinematics of rotary tillage machines. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. N1(69). 509-519 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
8. Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G., Baiboboev N.G. et al. Analysis of dynamic loading of lump-crushing drums as a result of interaction with soil. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2025. N3(333). 22-28 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2025-3-22-28.
9. Dorokhov A.S., Erokhin M.N., Sibirev A.V., Mosyakov M.A. Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil. *Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 26. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2024-4-4-12.
10. Mekheda V.A. Modeling of elastic-plastic deformation of near-surface layers of materials. *Bulletin of Samara University. Natural Science Series*. 2024. Vol. 30. N3. 25-34 (In Russian). DOI: 10.18287/2541-7525-2024-30-3-25-34.
11. Yampolsky D.Z. About the possibility of determining energy of the shock pulse by the method of indicator diagrams. *Bulletin of Scientific and Technical Development*. 2024. N2(173). 9-15 (In Russian). DOI: 10.18411/vntr 2024-173-2.
12. Lü J., Shang Q., Yang Y. et al. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions on the CSAM*. 2016. N47(5). 106-114 (In English). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.015.
13. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., Kynnev N.G. Modern technologies and special equipment for potato production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2015. N2. 45-48 (In Russian). EDN: TTLVUJ.
14. Teterin V.S., Panferov N.S., Khortov A.V. et al. Evolution of potato harvesting equipment. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 119-126 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-119-126.
15. Zhou J.G., Gao Z.N., Chen J., Yang S.M., Li M.Q., Chen Z., Zhou J.D. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2021. N2. 151-158 (In English). DOI: 10.35633/inmateh-64-14.
16. Akhalaia B.Kh., Starovoitov S.I., Tsench Yu.S. et al. A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N8 (278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
17. Lobovskiy M.O., Tukkiya A.L., Pyatkin P.A. Comparison analysis of using micrometers and strain gauges for measuring deformations and loads in the method of monitoring the stress-strain state. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021. N3 (86). 71-75 (In Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-71-75.
18. Adeyanov I.E., Aleksandrova M.Yu. Train gauges in stress-strain state calculation of a non-rigid rod under noncen-

- tral tensile. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2024. Vol. 26. N4-2 (120). 244-250 (In Russian). DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-244-250.
19. Veremeychuk A.I., Martynov A.V., Dobriyanik Yu.A. Optimization of material for the manufacture of beams for

- strain gauges. *Mechanics of the XXI Century*. 2024. N23. 416-423 (In Russian). EDN: DCWWEV.
20. Popov A.M., Mekhdiev R.V.O. Studies of wear and vibration of gears in agricultural equipment. *Mechanical Engineers to XXI Century*. 2023. N22. 182-186 (In Russian). EDN PAZRIM.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Байбобоев Н.Г. – формулирование основной концепции исследования;
Гаджиев П.И. – научное руководство, постановка задачи исследования;
Рамазанова Г.Г. – формирование общих выводов;
Бахадиров Г.А. – критический анализ полученных результатов;
Умирзоков Ж.У. – литературный анализ данных.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Bayboboev N.G. – formulation of the study concept;
Gadzhiev P.I. – scientific supervision and definition of the research problem;
Bahadirov G.A. – critical analysis of the obtained results;
Umirzokov J.U. – literature review.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

03.12.2025
30.01.2026