

Я.П. Лобачевский

В.С. Тетерин ✉

Н.С. Панфёров

С.А. Пехнов

М.С. Трунов

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ, Москва,
Россия

✉ v.s.teterin@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.09.2024

Одобрена после рецензирования: 13.02.2025

Принята к публикации: 27.02.2025

© Лобачевский Я.П., Тетерин В.С.,
Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Трунов М.С.

Yakov P. Lobachevsky

Vladimir S. Teterin ✉

Nikolay S. Panferov

Sergey A. Pehnov

Maxim S. Trunov

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ v.s.teterin@mail.ru

Received by the editorial office: 11.09.2024

Accepted in revised: 13.02.2025

Accepted for publication: 27.02.2025

© Lobachevsky Ya.P., Teterin V.S., Panferov N.S.,
Pehnov S.A., Trunov M.S.

Теоретические исследования рабочего органа машины для проведения сортофитопрочи́сток посадок картофеля

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях современной санкционной политики, а также в рамках федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства и ее подпрограммы развития селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации до 2030 года остро стоит вопрос обеспеченности селекционных и семеноводческих хозяйств достаточным количеством технических средств для проведения селекционных работ, в частности машинами для сортофитопрочи́стки с высоким уровнем автоматизации. В настоящее время в России не выпускаются машины для проведения данных операций, а зарубежные машины имеют низкий уровень автоматизации и высокие требования к квалификации операторов, работающих на них, на основе чего предложена автоматизированная машина для сортофитопрочи́сток картофеля с выкапывающим рабочим органом, оснащенным ковшами (вилами).

Цель исследований — теоретическое обоснование технико-технологических параметров рабочих органов машины для сортофитопрочи́стки посадок картофеля и овощных культур.

Методы. В ходе исследований оценивалось усилие, возникающее при заглублении и извлечении исполнительных механизмов разной конструкции, с использованием методов математического моделирования работы выкапывающего устройства для определения сил, действующих на механизм.

Результаты. В ходе исследований были определены основные силы, действующие на механизм выкапывающего устройства в процессе его работы, а также влияние конструкции рассматриваемых ковшей на усилие заглубления их в почву. Максимальные значения усилия заглубления для ковша экскаваторного типа — 1500 Н, а для вилообразного ковша — 420 Н, что позволяет определить рациональные параметры выкапывающего механизма, который должен быть оборудован двумя гидроцилиндрами, создающими усилие не менее 1500 Н на каждый ковш, и одним гидроцилиндром с усилием не менее 750 Н для извлечения ковшей с почвой и растением.

Ключевые слова: машина для проведения сортофитопрочи́стки, селекция и семеноводство картофеля, сортофитопрочи́стка, теоретические исследования рабочего органа

Для цитирования: Лобачевский Я.П., Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Трунов М.С. Теоретические исследования рабочего органа машины для проведения сортофитопрочи́сток посадок картофеля. *Аграрная наука*. 2025; 392(03): 116–122.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>

Theoretical research of the working element of the machine for storing phyto-sorting cleaning of salad plantings

ABSTRACT

Relevance. In the context of the current sanctions policy, as well as within the framework of the federal scientific and technical program for the development of agriculture and its subprogram for the development of potato breeding and seed production in the Russian Federation until 2030, the issue of providing breeding and seed farms with a sufficient number of technical means for carrying out breeding work, in particular, high-automation machines for cultivar. Currently, no machines for carrying out these operations are manufactured in Russia, and foreign machines have a low level of automation and high requirements for the qualifications of operators working on them, on the basis of which an automated potato peeling machine with a digging working body equipped with buckets (forks) is proposed.

The purpose of the research is a theoretical substantiation of the technical and technological parameters of the working bodies of a machine for cultivating potato and vegetable crops.

Methods. The study assessed the force generated during the deepening and extraction of actuators of different designs, using methods of mathematical modeling of the operation of the excavation device in order to determine the forces acting on the mechanism.

Results. In the course of the research, the main forces acting on the mechanism of the digging device during its operation were determined, as well as the influence of the designs of the buckets under consideration on the force of their deepening into the soil. The maximum values of the deepening force for an excavator-type bucket are 1500 N, and for a fork-shaped bucket 420 N, which allows us to determine the rational parameters of the digging mechanism, which should be equipped with two hydraulic cylinders creating a force of at least 1500 N for each bucket, and one hydraulic cylinder with a force of at least 750 N for extracting buckets with soil and plants.

Key words: machine for carrying out variety-phytocleaning, potato breeding and seed production, variety-phytocleaning, theoretical studies of the working body

For citation: Lobachevsky Ya.P., Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Trunov M.S. Theoretical research of the working element of the machine for storing phyto-sorting cleaning of salad plantings. *Agrarian science*. 2025; 392(03): 116–122 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>

Введение/Introduction

Картофель является одной из основных продовольственных культур России и мира. Он обладает высокой урожайностью и неприхотливостью к условиям выращивания, что делает его доступным и недорогим продуктом питания. Клубни картофеля содержат большое количество питательных веществ, таких как крахмал, витамины С, В₁, В₂, В₆, минералы (калий, фосфор, магний) и белок. Благодаря этому картофель представляет собой важный источник энергии и полезных веществ для человека [1–3].

Ценность картофеля как продовольственной культуры заключается в его питательных свойствах, универсальности использования, урожайности, доступности, а также в том, что он может долго храниться без потери своих качеств.

При выведении и размножении новых сортов особое внимание уделяется вопросам ограничения распространения вирусных, грибных и бактериальных болезней¹. В дополнение к стандартным агротехнологическим приемам на семеноводческих посадках проводят дополнительные оздоровительные мероприятия по сортофитопрочистке, которые направлены на повышение качества семенного материала. В ходе данных мероприятий производятся выявление и удаление больных растений, не соответствующих сортовому признаку [4–7].

Для проведения мероприятий по сортофитопрочистке разработаны различные машинно-технологические комплексы, предназначенные для мониторинга и удаления зараженных растений. Иностранные компании создают подобные машинные и технологические комплексы, в том числе с элементами автоматизации. При этом они не используют широко цифровые технологии в действующих элементах машин, а ведь эти технологии могли бы помочь исключить или хотя бы снизить антропогенное воздействие на показатели качества очистки [8–11].

В настоящее время машины для проведения сортофитопрочистки выпускаются такими компаниями, как VSS Agro (Канада), Goucon Selection (Нидерланды) и Gerkon Techniek (Нидерланды). Машины от данных компаний работают, как правило, под управлением операторов, которые в процессе движения осуществляют мониторинг посадок и в случае обнаружения зараженного растения осуществляют его удаление и погрузку в накопительный бункер [12, 13].

Основные отличия между данными машинами — типы приводных механизмов (механический, гидравлический или электрический), количество мест для операторов, тип шасси (гусеничное или колесное), возможность регулировки ширины колеи [12–15]. В настоящее время производители отечественной сельскохозяйственной техники не предлагают к реализации данную категорию машин.

Важно отметить, что имеющиеся на рынке машины для осуществления сортофитопрочисток практически не имеют в своей конструкции современных цифровых технических решений, направленных на повышение качества выполняемых операций.

В связи с вышеизложенным сотрудниками Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» была предложена конструкция машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля (рис. 1).

Машина имеет рабочие органы для извлечения из почвы пораженных растений вместе с корневой системой и окружающей ее почвой. Рабочий орган представляет собой два гидроцилиндра (актуатора) с установленными на их концах ковшами с заостренными кромками или парой вил, имеющими возможность замены в зависимости от условий работы машины и типа почвы.

При движении по полю установленная на машине система распознавания, основанная на работе обученной нейронной сети в связке с системой машинного зрения при помощи установленных камер, выявляет зараженные растения картофеля или растения, не соответствующие сортовому признаку, заданному в системе. В случае выявления забракованного растения машина определяет его координаты и останавливается так, чтобы рабочий орган находился над удаляемым растением, после чего происходит процесс заглубления ковшей (вил) рабочего органа до полного их смыкания и последующее извлечение самого растения с окружающей его землей с помощью подъемного механизма машины. Далее извлеченный ворох выгружается в бункер за счет раскрытия ковшей механизма над ним, после чего земля с зеленой массой и клубнями поступает на планчатый транспортер, на котором происходит сепарация почвы от растительных остатков, при этом почва ссыпается в нижестоящий бункер, а растение поступает в саморазгружающийся бункер для последующей эвакуации с поля и утилизации.

Цель исследования — теоретическое обоснование технико-технологических параметров рабочих органов машины для сортофитопрочистки посадок картофеля и овощных культур.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

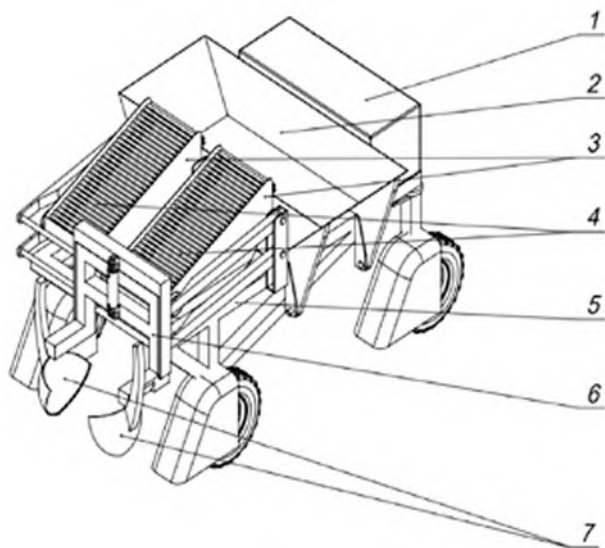
В 2022 году на базе ФНАЦ ВИМ были проведены теоретические исследования, в ходе которых использовались методы математического моделирования работы выкапывающего устройства для определения сил, действующих на механизм.

Для получения аналитических зависимостей использовались программы MathCad (PTC, США) и Microsoft Excel (Microsoft, США).

¹ Зейрук В.Н. и др. Атлас болезней, вредителей, сорняков картофеля и мероприятия по борьбе с ними. М.: Наука. 2020; 322. ISBN 978-5-901282-27-4

Рис. 1. Конструктивная схема машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля: 1 — силовая установка; 2 — саморазгружающийся бункер; 3 — бункер для почвы; 4 — планчатый транспортер; 5 — рама шасси; 6 — подъемный механизм; 7 — рабочий орган в форме ковшей

Fig. 1. Structural diagram of the machine for sorting and phytocleaning of vegetable crops and potatoes: 1 — power unit; 2 — self-unloading hopper; 3 — soil hopper; 4 — slat conveyor; 5 — chassis frame; 6 — lifting mechanism; 7 — working element in the form of buckets



В процессе анализа полученных данных оценивалось усилие, которое необходимо создать исполнительным механизмам для заглубления и последующего извлечения зараженных растений картофеля в зависимости от конструкции выкапывающих ковшей.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для определения достаточных усилий, создаваемых основными исполнительными механизмами при работе машины для осуществления операций по сортофитопрочистке, представляющей собой сложную динамическую систему, имеет смысл рассмотреть функционирующие элементы машины отдельно. Так, согласно заложенному алгоритму работы машины, после определения зараженного растения выкапывающее устройство (рис. 2) в форме двух ковшей (вил) устанавливается непосредственно над данным растением.

Затем осуществляется первый этап работы — окапывание растения. Для этого при помощи гидроцилиндров (актуаторов) осуществляется заглубление каждого из ковшей. Так как ковши между собой независимы, а осуществляемая ими работа идентична, то можем рассмотреть принцип работы на примере одного из них. Для этого составляем кинематическую схему выкапывающего устройства (рис. 3). Гидроцилиндр (актуатор) ковша прикреплен шарнирно к направляющей, а шток гидроцилиндра (актуатора) — к ковшу в точке А. В свою очередь, ползун жестко закреплен к ковшу.

Рис. 2. Общий вид выкапывающего устройства: 1 — рама; 2 — ползун; 3 — ковш; 4 — направляющая; 5 — гидроцилиндр (актуатор)

Fig. 2. General view of the digging device: 1 — frame; 2 — slider; 3 — bucket; 4 — guide; 5 — hydraulic cylinder (actuator)

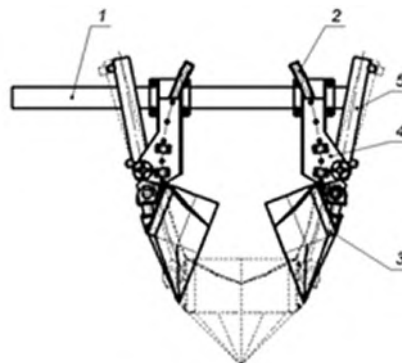
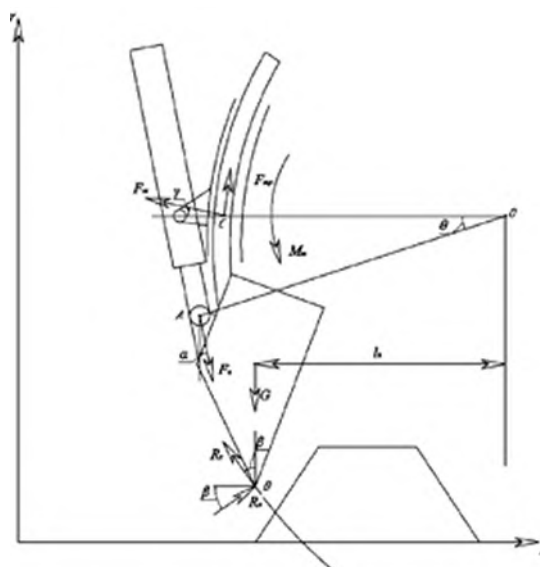


Рис. 3. Кинематическая схема выкапывающего устройства
Fig. 3. Kinematic diagram of the excavation device



Рассмотрим проекции сил на оси координат, действующих на механизм выкапывающего устройства в процессе его работы:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0; F_u \cdot \sin \alpha + F_{tr} \cdot \sin \gamma - F_w \cdot \cos \gamma + R_n \cdot \cos \beta - R_t \cdot \sin \beta = 0 \\ \sum F_y = 0; -F_u \cdot \cos \alpha + F_{tr} \cdot \cos \gamma + F_w \cdot \sin \gamma + R_n \cdot \sin \beta + R_t \cdot \cos \beta - G = 0 \\ \sum M_O = 0; -F_u \cdot l_{OA} \cdot \cos \theta - F_{tr} \cdot l_{OA} \cdot \sin \theta + F_w \cdot l_{OC} + R_t \cdot l_{OB} - M_w - G \cdot l_h = 0 \\ F_{tr} = f \cdot F_w \end{cases} \quad (1)$$

где: F_u — усилие воздействия гидроцилиндра (актуатора) на ковш, Н; α — угол между цилиндром и осью ординат, рад.; F_{tr} — сила трения качения между ползуном и направляющей, Н; F_w — усилие реакции шарнира, Н; γ — угол наклона реакции шарнира относительно центра вращения механизма ковша к оси абсцисс, рад.; R_t — касательное усилие сопротивления копанию, Н; R_n — нормальное усилие сопротивлению копанию, Н; β — угол между нормальным усилием сопротивления копанию и осью абсцисс, рад.; G — сила тяжести механизма ковша, Н; l_{OA} , l_{OB} , l_{OC} , l_h — длины плеч, воздействующих на механизм усилий, м; M_w — момент шарнира относительно центра вращения механизма ковша, Н/м; θ — угол наклона усилия цилиндра относительно центра вращения механизма ковша к оси абсцисс, рад.; f — коэффициент трения механизма ковша относительно направляющей.

Подставим значение силы трения в первое уравнение системы и выразим из него усилие воздействия гидроцилиндра (актуатора) на ковш:

$$F_{\text{ц}} = \frac{-f \cdot F_{\text{ш}} \cdot \sin \gamma + F_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma - R_{\text{n}} \cdot \cos \beta + R_{\text{т}} \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} \quad (2)$$

Подставив в уравнение системы (1) полученное выражение и значение силы трения, определим усилие реакции шарнира:

$$F_{\text{ш}} = \frac{-R_{\text{n}} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha + R_{\text{т}} \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha - R_{\text{n}} \cdot \sin \beta - R_{\text{т}} \cdot \cos \beta + G}{f \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \alpha + f \cos \gamma + \sin \gamma} \quad (3)$$

Значение касательного усилия, возникающего при копании, можно определить по формуле Н.Г. Домбровского:

$$R_{\text{т}} = K \cdot S_{\text{р}} \quad (4)$$

где: K — удельная энергоемкость копания грунта, $\text{Н} \cdot \text{м} / \text{м}^3$; $S_{\text{р}}$ — площадь стружки, м^2 .

Нормальную составляющую сопротивлению копанию можно определить по формуле:

$$R_{\text{n}} = \psi \cdot R_{\text{т}} \quad (5)$$

где: ψ — коэффициент, зависящий от физико-механических свойств грунта, формы рабочего органа, его затупления, величины заглубления; значения принимаются от 0,2 до 0,6 (наибольшее затупление режущей части).

С учетом выражений (4) и (5) уравнение для определения усилия реакции шарнира можно записать:

$$F_{\text{ш}} = \frac{-\psi \cdot K \cdot S_{\text{р}} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha + K \cdot S_{\text{р}} \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \psi \cdot K \cdot S_{\text{р}} \cdot \sin \beta - K \cdot S_{\text{р}} \cdot \cos \beta + G}{f \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \alpha + f \cos \gamma - \sin \gamma} \quad (6)$$

Важно обратить внимание, что усилие сопротивления грунта копанию будет зависеть в том числе и от конструкции используемого ковша. Для оценки данного фактора авторами были предложены следующие конструкции ковшей (рис. 4).

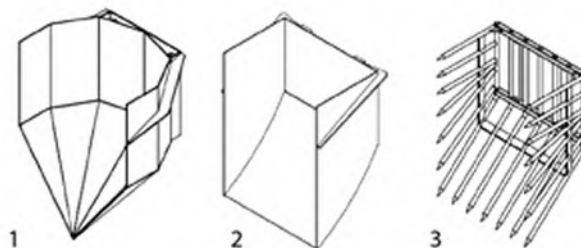
Стоит обратить внимание, что основные геометрические параметры, такие как ширина ковша и глубина копания, для каждого из ковшей идентичны и составляют 300 мм и 250 мм соответственно, при этом важно отметить, что пирамидообразный ковш имеет максимальную ширину в основании пирамиды (300 мм), при этом расстояние от вершины пирамиды до ее основания составляет 250 мм.

Пирамидообразный ковш и ковш экскаваторного типа выполняются из листового металла, в то время как вилообразный ковш выполнен из стальных прутков диаметром 10 мм, расстояние между которыми составляет 43 мм.

Для определения характеристики изменения необходимого усилия воздействия гидроцилиндра (актуатора) в зависимости от конструкции ковша в программе MathCad на основе выражений (2) и (6) были вычислены значения усилия гидроцилиндра (актуатора) в зависимости от степени заглубления ковша. В качестве исходных

Рис. 4. Конструкции ковшей: 1 — пирамидообразный ковш; 2 — ковш экскаваторного типа; 3 — вилообразный ковш

Fig. 4. Bucket designs: 1 — pyramid-shaped bucket; 2 — excavator-type bucket; 3 — fork-shaped bucket



параметров задавались удельная энергоемкость копания грунта (соответствующая тяжелым почвам), площадь стружки, сопротивление трения качения, сила тяжести.

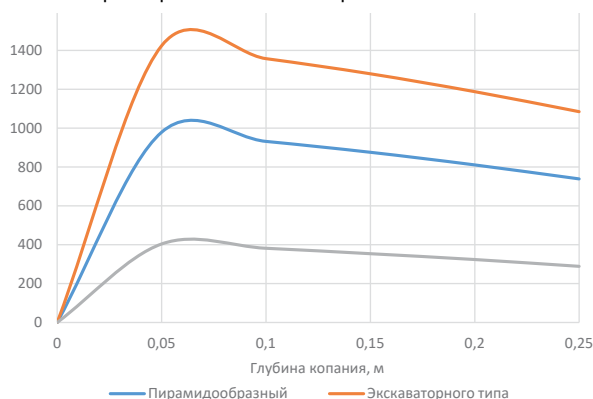
В результате исследований получены графики зависимости усилия воздействия гидроцилиндра (актуатора) от степени заглубления ковша (рис. 5).

Анализируя графики, можно заметить, что в момент проникновения ковша в почву (от 0 до 0,05 м) наблюдается резкое увеличение необходимого усилия гидроцилиндра (актуатора). Так, для ковша экскаваторного типа оно составляет от 0 до 1500 Н, а для вилообразного ковша — от 0 до 420 Н. Это обусловлено тем, что при проникновении ковша непосредственно в грядку происходят отделение стружки от основного массива и ее разрушение.

Дальнейшее движение ковша происходит по дугообразной траектории с захватом уже разрушенного почвенного массива, что приводит к некоторому снижению усилия. С увеличением проникновения ковша в почву от 0,07 до 0,25 м наблюдается последующий плавный спад данного показателя до значений 1085 Н и 290 Н соответственно. Сравнивая усилия для разных типов ковшей, установлено, что вилообразный ковш имеет наименьшее сопротивление при внедрении в грядку для тяжелых почв. На песчаных и сыпучих почвах следует отдавать предпочтение сплошным ковшам, выполненным из листового металла.

Рис. 5. Зависимости усилия гидроцилиндра (актуатора) от степени заглубления и формы ковша

Fig. 5. Dependence of the hydraulic cylinder (actuator) force on the depth of penetration and shape of the bucket



После осуществления окапывания растения начинается следующий этап извлечения растения совместно с почвой и основной корневой системой. Данный процесс осуществляется при помощи втягивания штока гидроцилиндра (актуатора), который приводит в движение подъемный механизм, при этом рабочие органы в виде ковшей (вил) находятся в сомкнутом положении.

Рассмотрим данный процесс более подробно, для этого составим кинематическую схему подъемного механизма (рис. 6).

Рассмотрим проекции сил на оси координат, действующих на подъемный механизм в процессе его работы:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0; -N + N' = 0 \\ \sum F_y = 0; -G_2 - F_{\text{тр}2} + F_{\text{ц}2} = 0 \\ \sum M_0 = 0; G_2 \cdot l_1 - F_{\text{ц}2} \cdot l_4 - N \cdot (l_2 + l_3) + N' \cdot l_2 = 0 \\ F_{\text{тр}2} = f \cdot N \end{cases} \quad (7)$$

где: N и N' — силы реакции опоры, N ; G_2 — сила тяжести, действующая на рабочий орган, заполненный почвой с основной корневой системой растения, N ; $F_{\text{тр}2}$ — сила трения качения между кареткой и направляющей, N ; $F_{\text{ц}2}$ — усилие гидроцилиндра (актуатора), необходимое для извлечения рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения, N ; l_1, l_2, l_3 и l_4 — длины плеч, воздействующих на механизм усилий, м.

Выразим из второго выражения системы уравнений (7) значение усилия гидроцилиндра (актуатора), необходимое для извлечения рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения, заменив значение силы трения выражением из четвертого уравнения системы (7):

$$F_{\text{ц}2} = G_2 + f \cdot N \quad (8)$$

Из первого выражения системы уравнений (7) следует, что $N = N'$. Подставив данное выражение в третье уравнение системы (7), выразим из него силу реакции опоры:

$$N = \frac{G_2 \cdot l_1 - F_{\text{ц}2} \cdot l_4}{l_3} \quad (9)$$

Подставив значение силы реакции опоры в выражение (8), окончательно выразим значение усилия гидроцилиндра (актуатора), необходимое для извлечения рабочего органа:

$$F_{\text{ц}2} = G_2 \frac{\left(1 + f \cdot \frac{l_1}{l_3}\right)}{\left(1 + f \cdot \frac{l_4}{l_3}\right)} \quad (10)$$

Полученная зависимость позволяет определить усилие гидроцилиндра (актуатора), необходимое для извлечения рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения. Данный параметр будет определяться массой рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения.

Рис. 6. Кинематическая схема подъемного механизма
Fig. 6. Kinematic diagram of the lifting mechanism

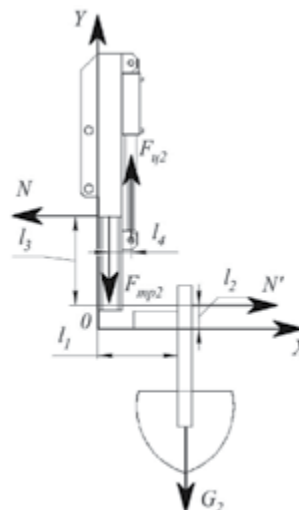
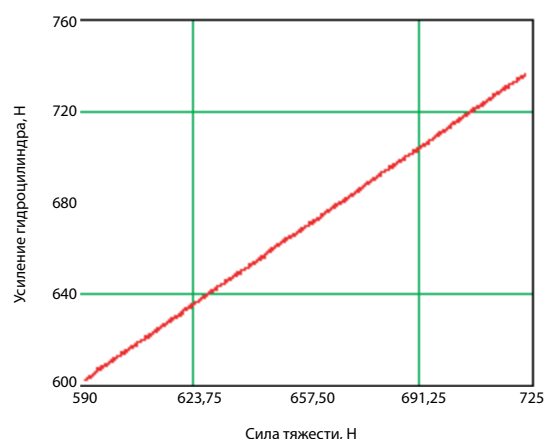


Рис. 7. Диаграмма необходимого усилия гидроцилиндра (актуатора) для извлечения рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения
Fig. 7. Diagram of the required hydraulic cylinder (actuator) force to extract the working element filled with soil with the main root system of the plant



В связи с этим на основании выражения (10) в программе MathCad были рассчитаны значения усилия гидроцилиндра (актуатора), исходя из параметров используемого рабочего органа, плотности почвы и средней массы извлекаемого растения (рис. 7).

Анализ графика показывает, что для стабильной работы выкапывающего устройства на всех типах почв подъемный механизм для извлечения рабочего органа, заполненного почвой с основной корневой системой растения, должен быть оборудован гидроцилиндром (актуатором) с тянущим усилием более 750 Н.

Выводы/Conclusions

В ходе проведенных теоретических исследований были определены основные силы, действующие на механизм выкапывающего устройства в процессе его работы. Анализ данных сил и их влияние на работу выкапывающего механизма позволили установить, что в зависимости

от конструкции используемых ковшей в процессе проникновения их в почву наблюдается резкое увеличение необходимого усилия гидроцилиндра (актуатора). Максимальные значения данного показателя для ковша экскаваторного типа составляют 1500 Н, а для вилообразного ковша — 420 Н. В свою очередь, на извлечение выкапывающего устройства вместе с почвой и корневой системой картофеля основное воздействие оказывает сила тяжести.

Полученные результаты позволяют определиться с рациональными параметрами выкапывающего устройства для обеспечения эффективной

работы машины для сортофитопро очистки. Так, рабочий орган должен быть оборудован двумя гидроцилиндрами (актуаторами), осуществляющими заглубление ковшей и создающими усилие не менее 1500 Н на каждый ковш, а также должен иметь один гидроцилиндр (актуатор) с усилием не менее 750 Н для извлечения ковшей с почвой и растением.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке и модернизации рабочих органов машин для осуществления фитопро очистки посадок картофеля и овощных культур.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
2. Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
3. Naumann M. *et al.* The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
4. Зиновьев А.К., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю. Технологии физического и химического воздействия на посадочный материал картофеля. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024; 18(2): 27–32. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-27-32>
5. Сибирев А.В. и др. Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024; (2): 89–95. <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
6. Петухов С.Н., Аксенов А.Г., Сибирев А.В., Дорохов А.С. Технологические и биологические предпосылки разработки инновационной технологии получения мини-клубней картофеля. *Агротехника и энергообеспечение*. 2019; 4(25): 31–41.
7. Kawakami T., Oohori H., Tajima K. Seed potato production system in Japan, starting from foundation seed of potato. *Breeding Science*. 2015; 65 (1): 17–25. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.17>
8. Федоренко В.Ф. Тенденции цифровизации и интеллектуализации сельского хозяйства. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019; (1): 231–241. <https://www.elibrary.ru/ikijhn>
9. Аксенов А.Г., Трунов М.С., Петухов С.Н. Обоснование концепции создания роботизированного комплекса для повышения эффективности фитосанитарных работ в семенных посадках картофеля. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2023; 15(4): 96–105. DOI: 10.36508/RSATU.2023.74.49.013
10. Черноиванов В.И. Цифровые технологии в АПК. *Техника и оборудование для села*. 2018; (5): 2–4. <https://www.elibrary.ru/xorbjr>
11. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. *Вестник Российской академии наук*. 2019; 89(5): 536–538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
12. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитические исследования машинно-технологических комплексов для сортофитопро очистки посадок картофеля и овощных культур в селекции и семеноводстве. *Аграрный научный журнал*. 2022; 4: 76–82. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp76-82
13. Akse nov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020; 3(51): 12–18.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
2. Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
3. Naumann M. *et al.* The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
4. Zinoviev A.K., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu. Technologies of physical and chemical impact on potato planting material. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024; 18(2): 27–32 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-27-32>
5. Sibirev A.V. *et al.* Forecasting the level of biological risks of the emergence and spread of infectious and parasitic potato diseases. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2024; (2): 89–95 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
6. Petukhov S.N., Akse nov A.G., Sibirev A.V., Dorokhov A.S. Technological and biological prerequisites for the development of innovative technology for producing potato mini-tubers. *Agricultural machinery and energy supply*. 2019; 4(25): 31–41 (in Russian).
7. Kawakami T., Oohori H., Tajima K. Seed potato production system in Japan, starting from foundation seed of potato. *Breeding Science*. 2015; 65 (1): 17–25. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.17>
8. Fedorenko V.F. Trends of digitalization and intellectualization of agriculture. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019; (1): 231–241 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ikijhn>
9. Akse nov A.G., Trunov M.S., Petukhov S.N. Substantiation of the concept of creating a robotic complex to increase the effectiveness of phytosanitary work in potato seed plantings. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2023; 15(4): 96–105 (in Russian). DOI: 10.36508/RSATU.2023.74.49.013
10. Chernoi vanov V.I. Digital technologies in agribusiness. *Machinery and equipment for rural area*. 2018; (5): 2–4 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xorbjr>
11. Izmaylov A.Yu. Smart technologies and robotic means in agricultural production. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019; 89(5): 536–538 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
12. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Akse nov A.G., Mosyakov M.A. Analytical studies of machine-technological complexes for varietal and phytophytic cleaning of potato and vegetable crops in breeding and seed production. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 4: 76–82 (in Russian). DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp76-82
13. Akse nov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020; 3(51): 12–18.

14. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Обоснование инновационной технологии сортофиточистки в селекционно-семеноводческих посадках картофеля и овощных культур. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(1): 98–111. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.98-111>

15. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации. *Овощи России*. 2023; (5): 5–17. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-5-17>

ОБ АВТОРАХ

Яков Петрович Лобачевский

доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела почвообрабатывающих машин
lobachevsky@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7863-2962>

Владимир Сергеевич Тетерин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки овощных культур открытого грунта
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Николай Сергеевич Панферов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки овощных культур открытого грунта
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Сергей Александрович Пехнов

старший научный сотрудник отдела возделывания и уборки овощных культур открытого грунта
pehnov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9471-6074>

Максим Сергеевич Трунов

аспирант
makstrunov1998@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8973-5995>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

14. Dorokhov A.S., Aksekov A.G., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Justification of innovative technology for variety and phytocleaning in breeding and seed plantings of potatoes and vegetable crops. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(1): 98–111 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.98-111>

15. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. The current state of technological support for vegetable crops production in the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2023; (5): 5–17 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-5-17>

ABOUT THE AUTHORS

Yakov Petrovich Lobachevsky

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Tillage Machines
lobachevsky@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7863-2962>

Vladimir Sergeevich Teterin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Cultivation and Harvesting of Open-ground Vegetable Crops
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Nikolay Sergeevich Panferov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Cultivation and Harvesting of Open-ground Vegetable Crops
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7431-7834>

Sergey Alexandrovich Pekhanov

Senior Researcher of the Department of Cultivation and Harvesting of Open-ground Vegetable Crops
pehnov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9471-6074>

Maxim Sergeevich Trunov

Postgraduate Student
makstrunov1998@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8973-5995>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky Proezd, Moscow, 109428, Russia