

АГРОИНЖЕНЕРИЯ / AGRICULTURAL ENGINEERING

УДК 631.33:001.8

doi: 10.15507/2658-4123.033.202303.302-320

Оригинальная статья



Результаты исследований усовершенствованной сошниковой группы посадочной машины

А. С. Дорохов, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов,
С. Н. Петухов, А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев ✉

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)

✉ sibirev2011@yandex.ru

Аннотация

Введение. Конструктивные схемы сошников и в целом сошниковых групп картофелесажалок в статье обосновываются исходя из морфологических особенностей картофельного растения, его требований к условиям произрастания и обеспечения качественного выполнения технологического процесса посадки. Назначение сошниковых групп – формирование ложа для размещения посадочных клубней с рыхлой прослойкой почвы в 5–8 см и заделка их разрыхленной почвой на определенную глубину.

Цель статьи. Разработать технологическую схему и обосновать конструктивные параметры сошниковых групп картофелепосадочных машин, наиболее полно удовлетворяющих требованиям условий произрастания картофельного растения.

Материалы и методы. Выполнен сравнительный анализ силовой оценки бороздораскрывающих рабочих органов, определены качественные показатели выполнения технологического процесса посадки. Разработана экспериментальная конструкция сошниковых групп картофелесажалок с системой копирования неровностей рельефа поля путем коррекции угла атаки сошника.

Результаты исследования. Экспериментальными исследованиями оптимизированы параметры подвески сошника, обеспечивающие автоматическое копирование неровностей микрорельефа поля глубиной до 20 см в пределах исходных требований на картофелепосадочные машины.

Обсуждение и заключение. Наиболее полно удовлетворяют требованиям к условиям произрастания картофельного растения сошники с индивидуальной плавающей подвеской и острым углом вхождения в почву. Автоматическое поддержание заданной глубины хода сошника в пределах исходных требований (± 2 см) при неровностях микрорельефа поля до 20 см обеспечивает сошниковая группа с соотношением сторон подвески 150:200:400:400 мм.

Ключевые слова: морфологические особенности, картофельное растение, картофелесажалки, сошниковые группы, угол атаки, подвеска сошника, глубина хода, автоматическая стабилизация, исходные требования

© Дорохов А. С., Пономарев А. Г., Зернов В. Н., Петухов С. Н., Аксенов А. Г., Сибирев А. В., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (СП-1004.2021.1).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Результаты исследований усовершенствованной сошниковой группы посадочной машины / А. С. Дорохов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 302–320. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.302-320>

Original article

Research Results of the Improved Coulter Group of the Planter

A. S. Dorokhov, A. G. Ponomarev, V. N. Zernov,
S. N. Petukhov, A. G. Aksenov, A. V. Sibirev 

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)

 sibirev2011@yandex.ru

Abstract

Introduction. The article substantiates the design schemes of coulters and, in general, coulters groups of potato planters based on the morphological features of the potato plant, its requirements for growing conditions and ensuring the high-quality performance of the planting process. The purpose of the coulters groups is to form a bed for placing seed tubers with a loose soil layer of 5–8 cm and to cover seed tubers with loose soil to a certain depth.

Aim of the Article. The study is aimed at developing technological scheme and substantiating constructive parameters of coulters groups of potato planters, which meet most requirements for the conditions of potato plant growing.

Materials and Methods. A comparative analysis of force estimation of furrow-opening working bodies is carried out and qualitative indicators of technological process of planting are determined. There is developed an experimental design of coulters groups of potato planters with the system for automatic maintenance of the depth of potato planting by correcting the angle of coulters attack if there are the field relief irregularities.

Results. Experimental studies optimized the parameters of a coulters suspension providing automatic maintenance of the depth of potato planting while detecting field micro-relief irregularities up to 20 cm deep within the initial requirements for potato planters.

Discussion and Conclusion. The coulters with an individual floating suspension and an acute angle of entry into the soil most fully meet the requirements for the growing conditions of a potato plant. Automatic maintenance of the specified coulters travel depth within the initial requirements (± 2 cm) with field micro-relief irregularities up to 200 mm is provided by a coulters group with a suspension aspect ratio of 150:200:400:400 cm.

Keywords: morphological features, potato plant, potato planters, coulters groups, angle of attack, coulters suspension, travel depth, automatic stabilization, initial requirements

Funding: The study was supported by the Grants Council of the President of the Russian Federation (SP-1004.2021.1).

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Dorokhov A.S., Ponomarev A.G., Zernov V.N., Petukhov S.N., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Research Results of the Improved Coulter Group of the Planter. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(3):302–320. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.302-320>

Введение

К сошниковым группам картофеле-сажалок относят сошники с бороздозакрывающими рабочими органами, назначение которых – формирование ложа для размещения посадочных клубней и заделка их на определенную глубину. В настоящее время наиболее распространёнными являются анкерные сошники с тупым углом вхождения в почву и жесткой или индивидуальной плавающей подвеской (зарубежные сажалки). Сажалки советского производства оснащались сошниками с острым углом вхождения в почву и индивидуальной плавающей подвеской [1–4].

Важным фактором является воздействие сошника на плотность почвы – уплотнение дна и стенок борозды или рыхление. Рыхлый слой почвы в борозде обеспечивает нормальные всходы. При достаточно хорошем рыхлении дна борозды уменьшается раскатывание клубней при посадке, мощность корневой системы увеличивается, что обеспечивает получение более высоких урожаев.

Основные требования к сошниковым группам картофелесажалок заключаются в следующем: дно борозды не должно быть уплотненным; прослойка рыхлой почвы на дне борозды должна быть 4–5 см; при внесении минеральных удобрений между клубнями и удобрениями должна быть обеспечена прослойка рыхлой почвы толщиной не менее 2 см; подвеска сошника должна удовлетворительно копировать неровности поля высотой до 15 см; отклонение от заданной глубины посадки клубней не должно превышать 2 см.

Основным функционирующим элементом, оказывающим определяющее влияние на показатели качества посадки картофеля, являются сошниковые группы машин, так как они – последние элементы, взаимодействующие с посадочным материалом.

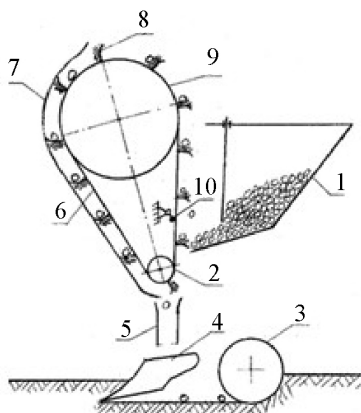
Разработка инновационных технологических схем сошниковых групп картофелепосадочных машин, обеспечивающих повышение качественных показателей выполнения процесса посадки картофеля, является актуальной проблемой, имеющей большое значение для АПК России.

Цель исследования – обосновать тип сошников картофелесажалки, наиболее полно удовлетворяющих требованиям к условиям произрастания картофельного растения. Оптимизировать параметры сошниковых групп, автоматически обеспечивающих стабильность глубины хода сошника в пределах исходных требований на картофелепосадочные машины при копировании неровностей микро-рельефа поля.

Обзор литературы

До настоящего времени в организациях, занимающихся оригинальным семеноводством картофеля, посадку мини-клубней осуществляют либо вручную, либо используют полуавтоматические клоновые посадочные машины там, где они есть [5–7]. Сравнительные результаты расчетов технико-экономических показателей полуавтоматических и автоматических селекционно-семеноводческих посадочных машин представлены в работе А. Г. Пономарева и его соавторов [2]. Для посадки клубней картофеля на площади более 2–8 га используются автоматические посадочные машины высокой производительности (рис. 1).

Основным функционирующим элементом, оказывающим определяющее влияние на показатели качества посадки, являются бороздораскрывающие (сошники) и бороздозакрывающие (заделывающие органы) рабочие органы, так как они являются последними элементами, взаимодействующими с посадочным материалом, от конструктивного исполнения которых зависит в итоге урожайность и качество товарной продукции.



Р и с. 1. Технологическая схема машины для автоматической посадки мини-клубней картофеля в оригинальном семеноводстве: 1 – бункер; 2 – ролик ведущий; 3 – заделывающий орган; 4 – сошник; 5 – семяпровод; 6 – лента транспортерная; 7 – направляющий кожух; 8 – приемная чаша; 9 – барабан; 10 – встряхиватель

F i g. 1. Technological scheme of the machine for automatic planting of mini potatoes in the original seed production: 1 – bunker; 2 – bypass roller; 3 – closing body; 4 – coulter; 5 – seed tube; 6 – conveyor belt; 7 – protective cover; 8 – planting spoons; 9 – drum; 10 – shaker

В настоящее время в большинстве конструкций посадочных машин в качестве заделывающих элементов используют дисковые рабочие органы, выполненные в форме выпуклой сферической поверхности.

Дисковый заделывающий орган прицепной четырехрядной посадочной машины модели GL 34 T (рис. 2) состоит из двух параллельно расположенных загортачей сферического типа [8–10].



Р и с. 2. Прицепная 4-рядная посадочная машина модели GL 34 T

F i g. 2. Trailed 4-row potato planter GL 34 T

К основным недостаткам посадочной машины фирмы Grimme по результатам исследований показателей качества ее работы при реализации научно-технической Программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» (2013–2016 гг.) следует отнести:

- неравномерность распределения клубней по глубине и длине засеваемой борозды (равномерность редко превышает 40 % и не соответствует агротехническим требованиям);
- низкую рабочую скорость, а следовательно, и низкую производительность;
- высокую энергоемкость конструкции и рабочего процесса.

В настоящее время в Республике Беларусь производится усовершенствованная посадочная машина СКМ-4 МВЗ по лицензии широко известного немецкого производителя Cramer (Cramer GmbH) (рис. 3).

Конструктивно посадочная машина СКМ-4 МВЗ является аналогом флагмана модельного ряда картофелесажалок

Cramer – MARATHON JUMBO. Ее основное отличие – метод посадки ложечками на стальной цепи.

К недостаткам посадочной машины СКМ-4 МВЗ следует отнести сложность изготовления и замены ложечки в случае повреждения, а также сгруживание почвы заделывающими элементами при раскладке клубней по борозде. Данные недостатки присущи четырехрядной прицепной посадочной машине модели KORA 4HP фирмы Unia Group (Польша) с гидравлически поднимаемым бункером емкостью 2 000 (2 200 кг)¹. Анализ литературных источников показал, что в настоящее время на картофелепосадочных машинах применяются цепочно-ложечные (фирмы «Лидсельмаш», Vomet) и ложечно-элеваторные (фирмы Grimme, Cramer) высаживающие аппараты, имеющие в качестве заделывающих элементов сошники анкерного типа и сферические диски.

В технологическом процессе работы этих аппаратов есть минус – недостаточная равномерность распределения



Р и с. 3. Прицепная 4-рядная посадочная машина СКМ-4 МВЗ
F i g. 3. Trailed 4-row potato planter SKM-4 MVZ

¹ Машинные технологии и техника для производства картофеля / С. С. Туболев [и др.]. М. : Агроспас, 2010. 316 с. ; Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие / В. И. Балабанов [и др.]. М. : Российский государственный аграрный университет. МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 143 с. EDN: RLUIBJ

клубней, которая составляет от 50 % [11], что в том числе и свидетельствует о значительных недостатках конструкции бороздораскрывающих и бороздозакрывающих рабочих органов посевных и посадочных машин, оказывающих влияние на равномерность распределения посадочного материала в борозде.

Значительный эмпирический материал, накопленный по технологическому процессу работы сошников и заделывающих органов, воздействию их конструктивных и технологических параметров на качество заделки посевного и посадочного материала, не учитывает влияние морфологических особенностей картофельного растения. В настоящее время они недостаточно изучены. В исследование данного вопроса значительный вклад внесли П. А. Емельянов [12], В. Н. Зернов [3], Е. С. Зыкин, В. И. Курдюмов, Е. С. Прошкин, В. Е. Прошкин, И. А. Шаронов², Н. П. Ларюшин, О. Н. Кухарев³, С. С. Казаков [6], А. Б. Калинин [7], С. Н. Петухов [1] и др.

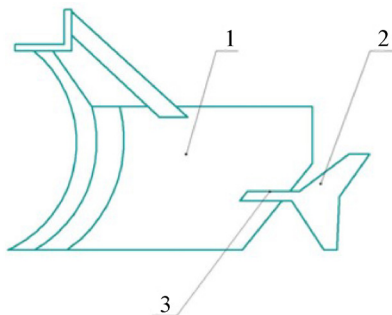
Известен сошник (рис. 4) посадочной машины с корпусом и заделывающими элементами, выполненными в виде стрелчатых лап, расположенных за щеками корпуса под углом в вертикальной

и горизонтальной плоскостях и связанных со щеками горизонтальными ножами [12]. Сошник состоит из корпуса 1 со щеками и заделывающими элементами 2 в виде стрелчатых лап, которые присоединяются к корпусу по середине задних частей щек с помощью горизонтально установленных ножей 3.

К недостаткам данного заделывающего органа следует отнести то, что они не устраняют сводообразований и пустот при заделке корневых систем, что отрицательно сказывается на их приживаемости.

Известно дисковое заделывающее устройство [12], которое состоит из сферических дисковых загорточей 1, хомутов 2 со стопорными болтами 3 и контргайками 4, кривошипов 5, шатунов 6, шарнирных соединений 7, ползуна 8 со стопорным болтом 9 и контргайкой 10, смонтированных на Т-образной рамке 11 (рис. 5).

Устройство работает следующим образом. При движении по полю, будучи установлено на культиватор или присоединено к мотоблоку, устройство сферическими дисковыми загорточами осуществляет заделку борозды. На месте борозды образуется гребень заданного профиля и высоты [12]. Недостатками указанного устройства являются малый

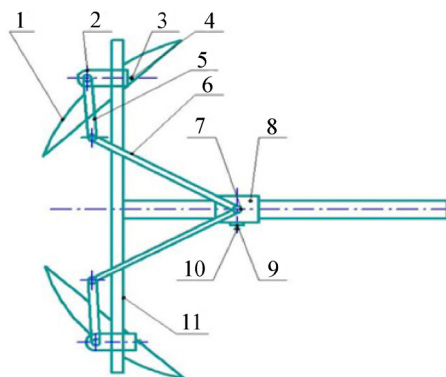


Р и с. 4. Сошник комбинированный: 1 – корпус;
2 – заделывающий орган в виде стрелчатой лапы; 3 – нож

Fig. 4. Combined coulter: 1 – body; 2 – lancet-shaped embedding device; 3 – knife

² Оптимизация параметров прикатывающего устройства комбинированного посевного агрегата / В. И. Курдюмов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 1. С. 34–37. EDN: RYYWPR

³ Kukharev O. N. Larushin N. P. A Device for Guiding of Bodies of Irregular Shape // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9, Issue 3. P. 30–33. *Agricultural engineering*



Р и с. 5. Устройство для заделки борозд: 1 – загортач дисковый; 2 – хомут; 3 – болт стопорный; 4, 10 – контргайка; 5 – кривошип; 6 – шатун; 7 – соединение шарнирное; 8 – ползун; 9 – болт стопорный; 11 – рамка Т-образная

F i g. 5. Furrow plugging device: 1 – disk harrow; 2 – clamp; 3 – locking bolt; 4, 10 – locknut; 5 – crank; 6 – connecting rod; 7 – swivel joint; 8 – slider; 9 – locking bolt; 11 – T-shaped frame

диапазон регулировки углов атаки дисковых загортачей, низкая точность регулировок (колебания во время работы) и повышенная материалоемкость устройства. Несовершенство конструкции высаживающего аппарата, а также бороздораскрывающих (сошников) и бороздозакрывающих (заделывающих) рабочих органов не позволяет обеспечить технологический процесс посадки в соответствии с агротехническими требованиями⁴. Следовательно, разработка инновационной технологии и машин для выполнения комплекса работ в семеноводстве картофеля, обеспечивающих повышение качественных показателей выполнения технологического процесса посадки, является актуальной проблемой, имеющей большое значение для АПК России.

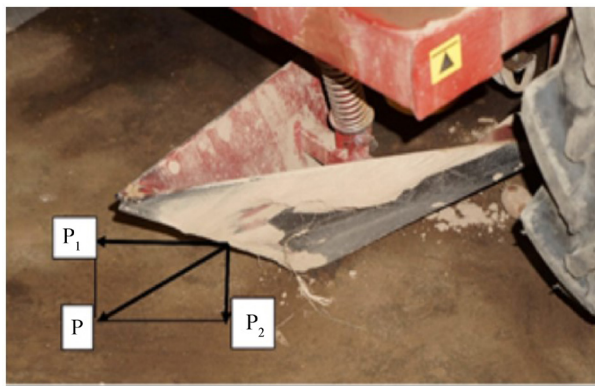
Материалы и методы

Для решения поставленной задачи предлагается усовершенствованная технологическая схема работы и конструкция сошниковых групп картофелесажалок. Сошник с тупым углом вхождения стремится выглубиться под действием

реакции почвы от силы P_2 (рис. 6). На установленной глубине он удерживается под действием веса сажалки, значительно разгружая при этом опорно-приводные колеса машины. Это приводит к уменьшению сцепления приводного колеса с почвой и его проскальзыванию, увеличивая при этом заданный шаг посадки вплоть до образования пропусков.

Незначительные колебания величин плотности почвы на разных участках поля существенно изменяют величину тяговой силы P_1 , а следовательно, и реакцию почвы от также изменяющейся своей величины от результирующей силы P . Все это влияет на глубину хода сошника вплоть до появления на поверхности поля посадочных клубней (не присыпанные почвой клубни). Кроме того, на неравномерность глубины посадки клубней влияют неровности поля, особенно это сказывается при жесткой подвеске сошника. Сошник с тупым углом вхождения в почву вдавливают частицы почвы в дно борозды и сдвигает их в стороны.

⁴ Машинные технологии и техника для производства картофеля / С. С. Туболев [и др.]. М. : Агроспас, 2010. 316 с.; Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие / В. И. Балабанов [и др.]. М. : Российский государственный аграрный университет. МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 143 с. EDN: RLUIBJ

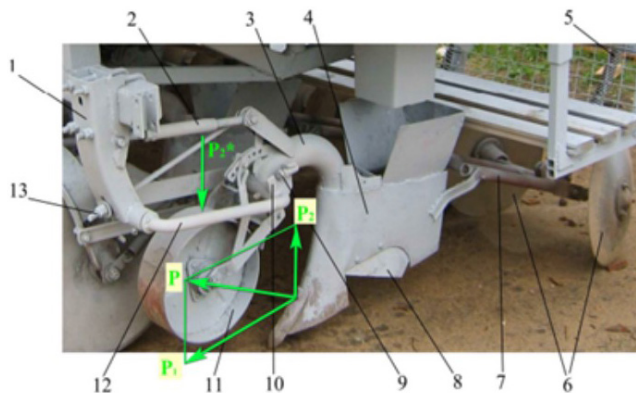


Р и с. 6. Сошник с тупым углом вхождения в почву картофелесажалки Л-202:
 P_1 – тяговая сила от трактора; P_2 – сила от действия веса сажалки; P – результирующая сила
 F i g. 6. Coulters with an obtuse angle of entry into the soil of the potato planter L-202:
 P_1 – traction force from the tractor; P_2 – planter weight force; P – resulting force

В результате дно и стенки борозды уплотняются. Особенно это явление усиливается на тяжелых с переменной по длине гона влажностью почвах.

Сошник с острым углом вхождения в почву работает в режиме самозаглубления. Углубиться в почву сошник стремится под действием реакции почвы от силы P_2 (рис. 7) – вертикальной составляющей от результирующей силы P при приложении

со стороны трактора тягового усилия P_1 . Ограничивает глубину хода сошника копирующее колесо. При этом сошник не уплотняет, а рыхлит дно и стенки борозды. Для увеличения толщины рыхлого слоя на дне борозды, а при работе с удобрениями, образования почвенной прослойки между удобрениями и клубнями в лобовой части корпуса сошника обычно предусматривают отвальчики 8.



Р и с. 7. Сошниковая группа клоновой картофелесажалки КСУ-4 (ВИМ):
 1 – кронштейн крепления сошника к раме сажалки; 2 – верхняя тяга подвески;
 3 – кронштейн сошника; 4 – сошник; 5 – нажимная штанга; 6 – бороздозакрывающие диски;
 7 – рамка крепления дисков; 8 – отвальчик; 9 – регулировочный болт упора; 10 – упор;
 11 – копирующее колесо; 12 – нижняя тяга подвески; 13 – диагональная тяга

F i g. 7. Coulters group of clone potato planter KSU-4 (VIM):
 1 – bracket for fastening the coulters to the frame of the planter; 2 – upper suspension link;
 3 – coulters bracket; 4 – coulters; 5 – push rod; 6 – furrow-closing discs; 7 – disc mounting frame; 8 – dump;
 9 – stop adjusting bolt; 10 – emphasis; 11 – copy wheel; 12 – lower suspension link; 13 – diagonal thrust

На рисунке 7 показана сошниковая группа машины для посадки клонов картофеля конструкции ФГБНУ ФНАЦ ВИМ с самозаглубляющимися сошниками и индивидуальной плавающей подвеской параллелограммного типа. Данные сошники устанавливались на картофелесажалках советского производства СН-4Б, СКС-4, КСМ-4 и других машинах.

Угол вхождения сошника 4 в почву, в зависимости от ее плотности, задается длиной верхней тяги подвески 2. Изменение глубины хода сошника осуществляется поворотом вилки копирующего колеса 11 относительно кронштейна сошника. В передней части корпуса сошника имеется щиток, образующий канал для направления туков минеральных удобрений в сформированное носком сошника ложе. Отвальчики 8 образуют рыхлый слой почвы на дне борозды и обеспечивают почвенную прослойку между удобрением и клубнями. Для ограничения опускания сошника при переводе сажалки в транспортное положение на конце тяги 12 имеется упор 10. Перед упором в кронштейне сошника 3 установлен регулировочный болт 9. Этот болт касается упора тяги 10 при подъеме сажалки в транспортное положение.

В параллелограмме предусмотрена диагональная тяга 13, один конец которой шарнирно прикреплен к кронштейну сошника, а другой – с резьбой и навинченной гайкой – пропущен через прорезь переднего кронштейна 1. Тяга ограничивает подъем сошника, не позволяя корпусу сошника опираться в конструктивные элементы сажалки во время работы. К боковинам сошника шарнирно присоединена рамка 7 для крепления через «кривые» полуоси бороздозакрывающих дисков 6 и прижимной телескопической штанги 5. Верхняя часть штанги 5 шарнирно прикреплена к раме сажалки. Полуоси бороздозакрывающих дисков имеют возможность

поворачиваться относительно рамки с целью регулирования угла атаки дисков, что определяет форму гребня. В штанге 5 предусмотрены отверстия для регулировки сжатия нажимной пружины, а следовательно, и давления дисков на почву, что оказывает влияние на глубину заделки клубней и высоту гребней. Наличие в конструкции сошниковой группы сошника с острым углом вхождения в почву, копирующего колеса и параллелограммной плавающей подвески с длиной продольных тяг 400 мм, позволяет удовлетворительно копировать неровности поля высотой до 15 см. Отвальчики 8 в лобовой части корпуса сошника обеспечивают на дне борозды рыхлый слой почвы до 5 см.

К недостаткам рассматриваемых сошниковых групп с острым углом вхождения сошника в почву можно отнести то, что, несмотря на копирование ими неровностей поля, глубина посадки клубней в почву остается не всегда равномерной. Происходит это из-за того, что во время копирования неровностей поля при перемещении сошника вниз по вертикали носок сошника попадает в более плотные слои почвы, а так как параллелограммный механизм подвески сохраняет угол атаки сошника постоянным, то реакция почвы от действия вертикальной составляющей P_2 и равнодействующей силы P увеличивается. Пропорционально увеличивается и вертикальная составляющая силы, прижимающей копирующее колесо к почве P_2 ; под действием этой силы, копирующее колесо вдавливаются в рыхлый поверхностный слой почвы, в результате глубина посадки клубней увеличивается (неравномерность глубины посадки по длине гона, в зависимости от плотности почвы, достигает ± 4 см). Неравномерность глубины хода сошника сказывается на дружности всходов, особенно это заметно при посадке миниклубней в элитном семеноводстве картофеля.

Величина и направление равнодействующей силы P (рис. 6) зависит от рабочей скорости посадочного агрегата, глубины хода сошника, плотности почвы, ее влажности, коэффициента трения поверхности сошника с почвой и угла вхождения сошника в почву (угла атаки). Реально в конструкции сошниковой группы мы можем воздействовать на величину угла вхождения сошника в почву. При увеличении угла атаки сошник пытается углубиться в почву, этому препятствует сила P_2 со стороны копирующего колеса II (рис. 6), вдавливая его в почву. При уменьшении угла атаки сошника сила P_2 уменьшается и копирующее колесо меньше вдавливается в почву. Для стабилизации хода сошника на заданной глубине при копировании неровностей необходимо обеспечить автоматическое изменение величины угла атаки β (рис. 8) в зависимости от изменения микрорельефа поля.

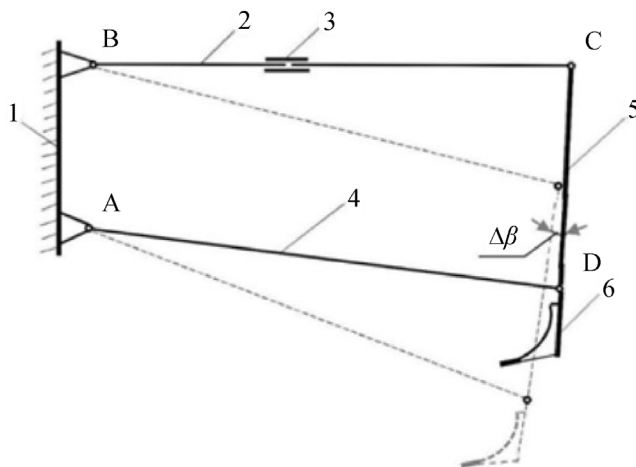
Результаты исследования

Поставленная техническая задача достигается тем, что в сошниковой группе картофелесажалки индивидуальная плавающая подвеска сошника (рис. 8 и рис. 9) представляет собой не параллелограмм, а шарнирный четырехугольник

со сторонами, образованными кронштейном крепления сошниковой группы к раме сажалки 1 (сторона AB), корпусом сошника 5 (сторона CD) и продольными верхней 2 (сторона BC) и нижней 4 (сторона AD) тягами. При этом расстояние между шарнирами стороны 1 меньше чем стороны 5 , а верхняя 2 и нижняя 4 тяги между собой равны. Причем прямая AB , проходящая через точки крепления продольных тяг к кронштейну крепления сошниковой группы, перпендикулярна поверхности поля, а верхняя тяга подвески имеет телескопическую муфту 3 для установки первоначально заданного угла атаки сошника.

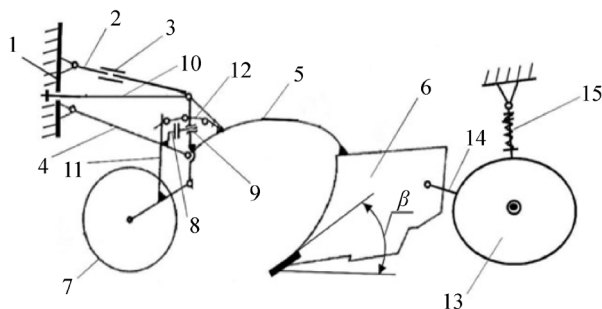
Величина изменения угла атаки $\Delta\beta$ в зависимости от изменения глубины хода сошника достигается за счет уменьшения расстояния между шарнирами четырехугольника стороны 1 по отношению к стороне 5 (рис. 9).

Разработанная сошниковая группа картофелесажалки с автоматической стабилизацией глубины посадки (рис. 9) содержит кронштейн крепления сошника к раме сажалки 1 , верхнюю тягу 2 подвески сошника с телескопической муфтой 3 для установки первоначально заданного угла атаки сошника β , нижнюю тягу



Р и с. 8. Принципиальная схема работы индивидуальной плавающей подвески сошника

Fig. 8. Schematic diagram of the operation of an individual floating coulter suspension



Р и с. 9. Сошниковая группа картофелесажалки с автоматической стабилизацией глубины посадки
 F i g. 9. Coulter group of a potato planter with automatic stabilization of planting depth

подвески сошника 4, корпус сошника 5, сошник 6, копирующее колесо 7, упор ограничителя опускания сошника 8, регулировочный болт упора 9, диагональную тягу ограничителя подъема сошника 10, вилку копирующего колеса 11, сектор регулировки глубины хода сошника 12, бороздозакрывающие диски 13, рамку крепления дисков 14, подпружиненную нажимную штангу 15. Подготовка к работе сошниковой группы и процесс копирования неровностей поля заключается в следующем.

Первоначально заданный угол вхождения сошника 6 в почву обеспечивается длиной верхней тяги 2 подвески с помощью телескопической муфты 3. Глубина хода сошника 6 задается поворотом вилки 11 копирующего колеса 7 относительно сектора 12, закрепленного на корпусе сошника. Острый угол вхождения сошника в почву рыхлит дно борозды.

Путем регулирования длины болта 9 и изменения положения гайки на тяге 10 добиваются необходимой величины хода сошника в вертикальном направлении, что обеспечивает возможность копирования неровностей поля.

Глубина хода сошника 6 задается и поддерживается копирующим колесом 7. В момент преодоления сошниковой группой неровностей поля и перемещения при этом сошника вниз по вертикали, носок сошника попадает в более

плотные слои почвы. При этом равнодействующая сил сопротивления почвы на сошник увеличивается, но за счет заданного соотношения сторон четырехзвенного механизма подвески угол атаки сошника 6 уменьшается, а вертикальная составляющая равнодействующей сил сопротивления почвы остается примерно постоянной. Постоянной величиной остается и вертикальная составляющая силы прижимающей копирующее колесо к почве. В результате копирующее колесо вдавливаются в поверхностный слой почвы примерно на одинаковую величину, и образованное сошником ложе для клубней на дне борозды автоматически стабилизируется на заданной глубине.

С целью оптимизации соотношения размеров тяг подвески, обеспечивающих наиболее стабильный ход сошника по глубине, в экспериментальных исследованиях было принято четыре варианта длин сторон четырехзвенного механизма (рис. 8) с их соотношением АВ:СD:ВС:АD соответственно:

- а) 4:4:8:8 или в мм 200:200:400:400 – параллелограмм;
- б) 3:4:8:8 в мм 150:200:400:400;
- в) 2:4:8:8 в мм 100:200:400:400;
- г) 1:4:8:8 в мм 50:200:400:400.

Исследования экспериментальных сошниковых групп проводились на двухрядной клоновой посадочной машине, разработанной и изготовленной опытным заводом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (рис. 10).



Р и с. 10. Экспериментальная сошниковая группа на клоновой посадочной машине

F i g. 10. Experimental coulter group on a clone planter

Место проведения испытаний – опытное поле ООО «Редкинская АПК» Тверской области Конаковского района, д. Кошелево. Сажалка во время испытаний агрегатировалась с трактором марки МТЗ-82 тягового класса 1,4.

Тип почвы при испытаниях – дерново-подзолистая (легкий суглинок), структура – мелкокомковатая, рельеф – ровный, микрорельеф – гребнистый с перепадом гребней до 200 мм.

Влажность почвы и твердость в слоях соответственно:

от 0 до 5 см	14,5 %	0,35 Мпа
от 5 до 10 см	16,7 %	0,54 Мпа
от 10 до 15 см	19,5 %	1,29 Мпа
от 15 до 20 см	22,8 %	1,34 Мпа

Температура почвы во время испытаний в слое от 0 до 20 см составляла +10,0 °С при температуре воздуха +12,0 °С.

С целью получения корректно сравнимых экспериментальных данных для проведения испытаний был подготовлен участок поля со специально нарезанным микрорельефом (рис. 11).

Экспресс-оценка микрорельефа поверхности экспериментального участка поля проводилась на контрольных участках протяженностью 5 м (рис. 12). Это

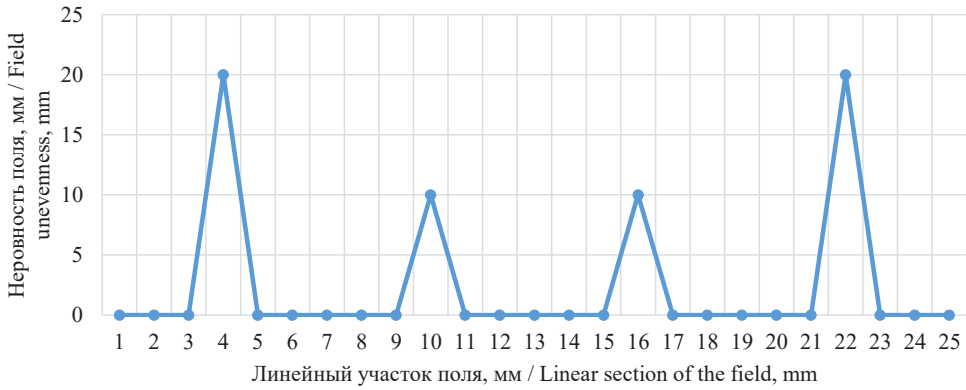
позволило осуществлять достоверную сравнительную оценку испытываемых сошниковых групп картофелесажалок [13–15]. При проведении исследований на двухрядную клоновую сажалку поочередно устанавливали четыре пары сошников с разным соотношением длин тяг подвески согласно плану эксперимента и в трехкратной повторности прокатывали сажалку по экспериментальному участку поля в направлении, перпендикулярном нарезанным неровностям, с постоянной скоростью перемещения агрегата 1,2 м/с.

Под глубиной хода сошника подразумевали расстояние от поверхности поля, сформированной после прохода сажалки с приподнятыми заделывающими дисками (края образованного ложа для клубней), до рыхлого слоя дна борозды [16–18]. Замеры глубины хода сошника на линейном участке экспериментального поля проводили через каждые 0,2 м.

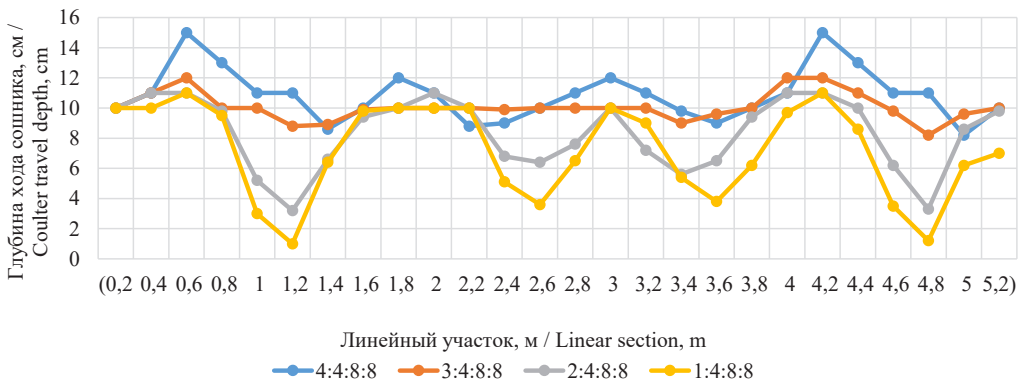
Из шести повторов замеров по каждой точке (2 сошника по 3 повторности) определяли среднее значение и строили графики глубины хода сошников по каждому типоразмеру подвески (рис. 13).



Р и с. 11. Экспериментальный участок поля
F i g. 11. Experimental section of the field



Р и с. 12. Микрорельеф экспериментального участка поля
F i g. 12. Microrelief of the experimental area of the field



Р и с. 13. Влияние соотношения сторон подвески на равномерность хода сошника
F i g. 13. Influence of suspension side ratio on coulters move uniformity

Затем по каждой сошниковой группе определялись средние значения глубины хода сошника из средних по точкам замеров, средние квадратичные отклонения и коэффициенты вариации.

Результаты испытаний после математической обработки полученных данных приведены в таблице 1.

Графические изображения на рисунке 13 наглядно показывают влияние соотношения сторон подвески сошника на отклонения глубины его хода от заданной при прохождении неровностей поверхности поля.

Отклонение глубины хода сошника с классической параллелограммной подвеской (200:200:400:400) наблюдается в сторону увеличения в пределах 4 см от заданной на неровностях поля до 20 см, что превышает исходные требования на 2 см. При неровностях поля до 10 см данная сошниковая группа вполне удовлетворяет исходным требованиям.

У сошниковой группы с соотношением сторон подвески 150:200:400:400 отклонения глубины хода от заданной не превышают 2 см даже при неровностях поля 20 см, при этом средняя глубина хода сошника остается на уровне заданной.

Ход сошника третьего типа подвески (100:200:400:400) отклоняется от заданной величины в сторону уменьшения

до 6 см глубины при неровностях поля 10 см и до глубины 3 см при неровности микрорельефа до 20 см, что превышает предельные допуски, определенные исходными требованиями на картофелепосадочные машины.

Глубина хода четвертого типа подвески сошников (50:200:400:400) еще больше отклоняется от заданной, при неровностях в 20 см дно борозды практически выходит на поверхность поля.

Отклонения хода сошников третьего и четвертого типов подвесок в сторону уменьшения глубины от заданной объясняется уменьшением угла атаки сошника β до отрицательного значения, что вызывает резкое его выглубление и за счет сил инерции стремление выйти на поверхность поля. Очевидно, что при увеличении скорости посадочного агрегата качество работы последних двух типов подвесок сошников еще более ухудшится и перейдет в колебательные движения. Следовательно, третий и четвертый типы подвесок неприемлемы как неудовлетворяющие исходным требованиям на картофелепосадочные машины.

Выводы из анализа графиков, представленные на рисунке 13, подтверждаются усредненными вероятностными показателями (табл. 1). Так, среднее значение глубины хода сошника

Таблица 1

Table 1

Равномерность глубины хода сошника в зависимости от соотношения сторон его подвески
Uniformity of coulter travel depth depending on the ratio of the coulter suspension sides

Соотношения сторон подвески сошника, мм / Ratios of the parties of a suspension bracket of an opener, mm	$\Delta\beta^*$ при высоте неровностей, мм / $\Delta\beta$ at the height of irregularities, mm		Глубина хода сошника, см / Coulter move depth, sm					
	100	200	заданная / given	макс / max	мин / min	Среднее / Average	$\pm\sigma$	V %
200:200:400:400	0°	0°	10,0	15,0	8,0	10,8	3,67	34,0
150:200:400:400	6°	7°	10,0	12,0	8,0	10,0	1,78	17,8
100:200:400:400	10°	16°	10,0	11,0	3,0	8,1	3,92	48,4
50:200:400:400	18°	29°	10,0	11,0	0,5	6,8	5,28	77,6

* $\Delta\beta$ – изменение угла атаки сошника при преодолении неровностей / changing the angle of attack of the coulter when overcoming irregularities.

с параллелограммной подвеской незначительно (на 0,8 см) отклоняется от заданной в сторону увеличения при среднем квадратичном отклонении $\pm 3,67$ см и коэффициенте вариации 77,6 %. Среднее значение глубины хода сошника с соотношением сторон подвески 150:200:400:400 соответствует заданному его значению с гораздо менее значительными средним квадратичным отклонением $\pm 1,78$ см и коэффициентом вариации 17,8 %.

Средние значения и вариационные показатели подвесок с соотношением сторон 100:200:400:400 и 50:200:400:400 далеко выходят за пределы исходных требований на картофелепосадочные машины и поэтому не могут быть применены на сажалках при практическом производстве картофеля.

Обсуждение и заключение

Наиболее полно удовлетворяют требованиям к условиям произрастания картофельного растения сошники

с индивидуальной плавающей подвеской и острым углом вхождения в почву. Автоматическое поддержание заданной глубины хода сошника в пределах исходных требований (± 2 см) к картофелепосадочным машинам при неровностях микрорельефа поля до 200 мм обеспечивает сошниковая группа с соотношением сторон подвески 150:200:400:400 мм и острым углом вхождения сошника в почву. Сошники с параллелограммной подвеской (соотношение длин тяг в мм 200:200:400:400) обеспечивают равномерность глубины хода сошников по длине гона в пределах ± 2 см при неровностях микрорельефа поля до 100 мм.

Уменьшение длины тяги АВ подвески сошника до 100 см и менее вызывает колебательные движения сошника, в результате чего равномерность глубины его хода выходит далеко за пределы исходных требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов С. Н. Состояние технического и технологического обеспечения селекции и оригинального семеноводства картофеля // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4. С. 76–84. EDN: YVECCT
2. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация / А. Г. Пономарев [и др.] // Картофель и овощи. 2017. № 3. С. 22–24. URL: <http://potatoveg.ru/mexanizaciya/selekcii-i-semenovodstvu-kartofelya-neobxodima-mexanizaciya.html> (дата обращения: 20.04.2023).
3. Развитие механизированной посадки картофеля в селекционных и семеноводческих питомниках / В. Н. Зернов [и др.] // Картофель и овощи. 2017. № 12. С. 23–25. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/12/12_2017.pdf (дата обращения: 20.04.2023).
4. Краснощек Н. В. Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации // Тракторы и сельхозмашины. 2010. Т. 77, № 8. С. 5–8. URL: https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68902/ru_RU#! (дата обращения: 20.04.2023).
5. Костенко М. Ю., Костенко Н. А. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 12. С. 4. EDN: KYZNFH
6. Казаков С. С., Живаев О. В., Никулин А. В. Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 3. С. 29–34. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-3-29-34>
7. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П. П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36. EDN: VQFQSN
8. Azizi P., Dehkordi N. S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade // Cercetari Agronomice in Moldova. 2014. Vol. 47. P. 5–13. URL: <https://clck.ru/bnNAF> (дата обращения: 20.04.2023).

9. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 213–226. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>
10. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / I. Dandekar [et al.] // Journal of Information and Computational Science. 2019. Vol. 9, Issue 12. P. 333–337. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (дата обращения: 20.04.2023).
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, Issue 5. P. 4489–4490. URL: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0817_6236.pdf (дата обращения: 20.04.2023).
12. Сошник посадочной машины / П. А. Емельянов [и др.] // Сельский механизатор. 2015. № 4. С. 13–14. URL: <http://selmech.msk.ru/415.html> (дата обращения: 20.04.2023).
13. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319. URL: <https://spbgau.ru/files/nid/3847/39.pdf> (дата обращения: 20.04.2023).
14. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / А. С. Дорохов [и др.] // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 12–16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16>
15. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины / А. С. Дорохов [и др.] // Агроинженерия. 2021. № 2. С. 9–16. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2021-2.pdf/en/info> (дата обращения: 20.04.2023).
16. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M. K. Edriss [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2020. Vol. 13, Issue 2. P. 163–167. URL: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (дата обращения: 20.04.2023).
17. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger / M. T. Asghar [et al.] // Asian Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 5, Issue 7. P. 389–394. URL: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (дата обращения: 20.04.2023).
18. Research on Polyline Soil-Breaking Blade Subsoiler Based on Subsoiling Soil Model Using Discrete Element Method / K. Zheng [et al.] // Transaction of the CSAM. 2016. Vol. 47, Issue 9. P. 62–72. URL: <https://clck.ru/sKPTb> (дата обращения: 20.04.2023).

Поступила 27.04.2023; одобрена после рецензирования 16.05.2023; принята к публикации 17.06.2023.

Об авторах:

Дорохов Алексей Семенович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научно-организационной работе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, Researcher ID: H-4089-2018, dorokhov@rgau-msha.ru

Пономарев Андрей Григорьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>, agrodiesel@mail.ru

Зернов Виталий Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>, techagromash@yandex.ru

Петухов Сергей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>, petuhov61@bk.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, Researcher ID: V-5572-2017, 1053vim@mail.ru

Сибирев Алексей Викторович, профессор РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, Researcher ID: M-6230-2016, sibirev2011@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

- А. С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования.
- А. Г. Пономарев – разработка блок-схемы.
- В. Н. Зернов – разработка конструкции посадочной машины.
- С. Н. Петухов – разработка конструкторской документации.
- А. Г. Аксенов – разработка методологии исследования.
- А. В. Сибирев – литературный и патентный анализ, подготовка начального варианта текста и формулирование выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Petukhov S.N. The State of Technical and Technological Support of Selection and Original Seed Production of Potatoes. *Agrotechnics and Energy Supply*. 2018;(4):76–84. Available at: <https://www.elibrary.ru/yvecct> (accessed 06.04.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Ponomarev A.G., Kolchin N.N., Zernov V.N., Petukhov S.N. Mechanization is necessary for breeding and seed growing of potato. *Potatoes and Vegetables*. 2017;(3):22–24. Available at: <http://potatoveg.ru/mexanizaciya/selekcii-i-semenovodstvu-kartofelya-neobxodima-mexanizaciya.html> (accessed 20.04.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
3. Zernov V.N., Ponomarev A.G., Kolchin N.N., Petukhov S.N. Development of Mechanized Planting of Potatoes in Breeding and Seed Nurseries. *Potatoes and Vegetables*. 2017;(12):23–25. Available at: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/12/12_2017.pdf (accessed 20.04.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
4. Krasnoshchekov N.V. Agroengineering Strategy: From the Mechanization of Agriculture to Its Intellectualization. *Tractors and Agricultural Machines*. 2010;77(8):5–8. Available at: https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/68902/ru_RU#! (accessed 20.04.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kostenko M.Yu., Kostenko N.A. [Probabilistic Assessment of the Separating Capacity of the Potato Harvester Elevator]. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2009;(12):4. Available at: <https://www.elibrary.ru/kyznfh> (accessed 20.04.2023). (In Russ.)
6. Kazakov S.S., Zhivaev O.V., Nikulin A.V. Structural Ways to Reduce the Damage of Planting Potato Tubers During the Operation of a Chain-Spoon Planting Machine. *Tractors and Agricultural Machines*. 2019;(3):29–34. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-3-29-34> (In Russ., abstract in Eng.)
7. Kalinin A.B., Teplinskiy I.Z., Kudryavtsev P.P. [Soil Condition in Intensive Technology]. *Potato and Vegetables*. 2016;(2):35–36. <https://www.elibrary.ru/vqfqsn> (accessed 20.04.2023). (In Russ.)

8. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2014;47:5–13. Available at: <https://clck.ru/bnNAf> (accessed 20.04.2023).
9. Abd El-Rahman M.M.A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2014;2(2):213–226. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>
10. Dandekar I., Joshi A., Patil V. Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333–337. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (accessed 20.04.2023).
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12(5):4489–4490. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0817_6236.pdf (accessed 20.04.2023).
12. Emelyanov P.A., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Opener of the Planting Machine. *Rural Mechanic*. 2015;(4):13–14. Available at: <http://selmech.msk.ru/415.html> (accessed 20.04.2023). (In Russ.)
13. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., Pervukhina O.N. [Selection and Justification of the Parameters of the Ecological State of the Agroecosystem for Monitoring the Technological Processes of Cultivation of Agricultural Crops]. *Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2015;(39):315–319. Available at: <https://spbgau.ru/files/nid/3847/39.pdf> (accessed 20.04.2023). (In Russ.)
14. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. The Method of Complex Assessment of the Quality of the Performance of Technological Operations of Energy-Saving Technology for Harvesting Root Crops and Potatoes. *Agroengineering*. 2022;24(1):12–16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16> (In Russ., abstract in Eng.)
15. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Studies on the Development of an Automated System for Regulating the Density of the Soil of the Sowing Machine. *Agroengineering*. 2021;(2):9–16. Available at: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-02-2021-2.pdf/en/info> (accessed 20.04.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
16. Edrris M.K., Al-Gaadil K.A., Hassaball A.A. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020;13(2):163–167. Available at: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (accessed 20.04.2023).
17. Asghar M.T., Ghafoor A., Munir A., Iqbal M., Choudhary M.A. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger. *Asian Journal of Science and Technology*. 2014;5(7):389–394. Available at: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (accessed 20.04.2023).
18. Zheng K., Jieying H., Li H. Research on Polyline Soil-Breaking Blade Subsoiler Based on Subsoiling Soil Model Using Discrete Element Method. *Transaction of the CSAM*. 2016;47(9):62–72. Available at: <https://clck.ru/sKPTH> (accessed 20.04.2023).

Submitted 27.04.2023; revised 16.05.2023; accepted 17.06.2023.

About the authors:

Aleksey S. Dorokhov, Corresponding Member of RAS, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Deputy Director on Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, Researcher ID: H-4089-2018, dorokhov@rgau-msha.ru

Andrey G. Ponomarev, Cand.Sci. (Engr.), Leading Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>, agrodisel@mail.ru

Vitaliy N. Zernov, Cand.Sci. (Engr.), Leading Researcher of the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>, techagromash@yandex.ru

Sergey N. Petukhov, Cand.Sci. (Agric.), Leading Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>, petuxov61@bk.ru

Aleksandr G. Aksenov, Dr.Sci. (Engr.), Leading Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, Researcher ID: V-5572-2017, 1053vim@mail.ru

Alexey V. Sibirev, Professor of RAS, Dr.Sci. (Engr.), Senior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, Researcher ID: M-6230-2016, sibirev2011@yandex.ru

Authors contribution:

A. S. Dorokhov – formulating the basic concept of the study.

A. G. Ponomarev – development of a flowchart.

V. N. Zernov – development the planter design.

S. N. Petukhov – development of design documentation.

A. G. Aksenov – development of a research methodology.

A. V. Sibirev – literary and patent analysis, preparation of the initial version of the text and formation of conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.