

ISSN 1817–7204 (print)

УДК 631.348:632.932.71+632.768.12

Поступила в редакцию 28.06.2017

Received 28.06.2017

**П. П. Казакевич<sup>1</sup>, П. В. Заяц<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*<sup>2</sup>*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь*

## ОБОСНОВАНИЕ МАШИНЫ С УПРУГО-ЛОПАСТНЫМ РОТОРОМ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СБОРА КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

**Аннотация:** Картофель является основным продуктом питания в рационе многих людей во всем мире и занимает второе место после риса по степени широкомасштабного глобального распространения. Однако получению высоких урожаев картофеля в значительной мере препятствуют вредители – колорадские жуки. Борьба с колорадским жуком – один из решающих факторов достижения высокой урожайности картофеля. Применяемый повсеместно химический метод борьбы не пригоден для получения экологически чистого картофеля. Здесь необходим своевременный и качественный сбор жука с ботвы картофеля, однако машин для этих целей наша промышленность не выпускает. Применение специализированной техники для сбора колорадского жука позволит получить экологически чистый картофель и является экономически и энергетически оправданным на современном этапе развития сельскохозяйственного производства. В работе предложена технологическая схема машины в составе комбинированного агрегата для сбора колорадского жука и междурядной обработки картофеля, обеспечивающего получение картофеля без применения химических средств защиты. Теоретически и экспериментально обоснованы основные конструктивные режимные параметры машины. На основании результатов исследований изготовлен экспериментальный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля, проведена его апробация в полевых условиях и оценена эффективность его работы.

**Ключевые слова:** зеленая продукция, картофель, колорадский жук, физический метод борьбы с вредителем, упруго-лопастный ротор

**Для цитирования:** Казакевич, П. П. Обоснование машины с упруго-лопастным ротором для механического сбора колорадского жука / П. П. Казакевич, П. В. Заяц // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – №4. – С. 103–114.

**P. P. Kazakevich<sup>1</sup>, P. V. Zayats<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Presidium of the National academy of sciences of Belarus, Minsk, Belarus*<sup>2</sup>*Scientific and practical center of the National academy of sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Belarus*

## SUBSTANTIATION OF MACHINE WITH ELASTIC BLADE ROTOR FOR MECHANICAL COLLECTION OF COLORADO BEETLE

**Abstract:** Potato is the main food product in diet of many people around the world and takes the second place after rice in terms of the global spread. However, the high yields of potatoes are largely affected by pests - Colorado beetles. Colorado beetle control is one of the decisive factors for achieving high yield of potatoes. The widely used chemical method is not suitable for obtaining ecologically clean potatoes. In this case a timely and high-quality collection of the beetle from the tops of potatoes is required, but there are no machines manufactured for these purposes in our country. The use of special equipment for collection of Colorado beetle will make it possible to obtain ecologically clean potatoes and is economically and energetically justified at the present stage of development of agricultural production. The technological scheme of the machine as a part of combined unit for collecting Colorado beetle and inter-row potato cultivation ensuring production of potatoes without chemical protection is proposed. The main design parameters of the machine are theoretically and experimentally substantiated. Based on the research results, experimental unit was assembled for collecting Colorado beetle and potato hilling, it was tested and evaluated in the field.

**Keywords:** green products, potatoes, Colorado beetle, physical method of pest control, elastic blade rotor

**For citation:** Kazakevich P. P., Zayats P. V. Substantiation of machine with elastic blade rotor for mechanical collection of Colorado beetle. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no 4, pp. 103–114.

**Введение.** Картофель является основным продуктом питания в рационе многих людей во всем мире и занимает второе место после риса по степени широкомасштабного глобального распространения. По производству картофеля на душу населения (700–900 кг) Республика Беларусь занимает первое место в мире, по валовому сбору – 8-е место. По данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь<sup>1</sup>, в 2016 г. в сельскохозяйственных и фермерских хозяйствах картофель возделывали на площади 64 тыс. га, валовый сбор составлял 1237 тыс. т. Значимость этой культуры подчеркивается Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, согласно которой производство картофеля к концу 2020 г. должно составить в объеме 56 млн т в хозяйствах всех категорий, из них в общественном секторе – 16 млн т. Однако урожайность культуры остается невысокой и составляет порядка 18–22 т/га, что ниже, чем в Бельгии (78 т/га), Франции (63 т/га), Китае (53 т/га) и других странах мира [1]. Получению высоких урожаев картофеля наряду с другими факторами препятствуют вредители. Одним из самых вредоносных насекомых является колорадский жук. Потери урожая от этого насекомого могут составлять до 50 % и более [2].

При получении товарного картофеля для борьбы с жуком наиболее широко применяется химический метод. Однако этот метод недопустим при выращивании экологически чистого продукта, прежде всего для детского питания. По оценкам РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию», ежегодная потребность республики в картофеле для детского питания на современном этапе составляет порядка 215 тыс. т в год. При достигнутой урожайности культуры для этого требуется посевная площадь почти 12 тыс. га.

В Беларуси экономическим порогом вредоносности считается заселение жуком 10 % и более растений картофеля: во время цветения с преобладающей численностью порядка 18–20 особей и более на куст в период массового появления личинок первого-третьего возрастов при дефиците влаги или во время бутонизации – 26–28 личинок на куст при достаточном количестве осадков [2].

**Анализ методов борьбы с колорадским жуком.** Методы ограничения вредоносности жука в системе защитных мероприятий картофеля можно подразделить на профилактические и истребительные. К профилактическим методам относят специальный агротехнический, а к истребительным – химический, биологический и физический<sup>2</sup>.

*Агротехнический метод* предусматривает применение ряда технологических приемов в возделывании культуры, оказывающих влияние на снижение вредоносности жука. Все они базируются на принципах интенсификации развития растений картофеля, десинхронизации развития колорадского жука и картофельной ботвы, снижения численности жука за счет его физической гибели [2]. Это специальные севообороты, увеличение площади посадок ранних и среднеранних сортов, глубокая зяблевая вспашка полей из-под картофеля, рыхление междурядий на глубину 5–8 см через 2–3 дня после массового ухода личинок четвертого возраста на окукливание в посадках средних и поздних сортов, окуливание всходов картофеля в период массовой кладки яиц, использование высококачественного семенного материала, применение интенсивных доз органических и минеральных удобрений, предуборочных десикаций или дефолиаций.

<sup>1</sup> Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. // ГП «Информ.-вычисл. центр Нац. стат. комитета Респ. Беларусь». – Минск, 2009. – 576 с.

<sup>2</sup> Сонкина Е. В., Быховец С. Л. Мероприятия по ограничению вредоносности колорадского жука в посадках картофеля: анализ. обзор // Белорус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2003. – 36 с.; Биологическая защита растений: учебник / И. Т. Король [и др.]. – Минск: Ураджай, 2000. – 414 с.; Таран, Н. А. Колорадский жук и борьба с ним: рекомендации / Н. А. Таран, Н. И. Бойко, Л. А. Гулидова // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – Воронеж, 1981. – 34 с.; Gucol, T. Grounding the parametres of pneumatic device for pests collecting / T. Gucol, I. Bendersa // Proceedings of 5<sup>th</sup> International Scientific Conference. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2006. – P. 34–37; Гуцол, Т. Д. Обоснование параметров устройства для сбора колорадских жуков / Т. Д. Гуцол, В. И. Овчарук, И. М. Бендера, О. В. Андреев // Вестн. ХГТУСГ. – Харьков: ХГТУСГ, 2003. – Вып. 14. – С. 200–203; Устройство для сбора и уничтожения колорадского жука: а.с. 1423078 СССР, МКУ А01М 5/04 / С. К. Дерябин [и др.]; Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. – № 3988488/30–15; заявл. 04.11.1985; опубл. 15.09.1988 // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 34. – С. 8; Устройство для борьбы с колорадским жуком: а.с. 1564339 СССР, МКИА 01 М 5/04 / Г. Шарафисламов. – № 4458352/30–15; заявл. 11.07.1988; опубл. 23.05.1990 // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 19. – С. 11; Машина для сбора колорадского жука // Сайт фирмы «Bio-Landtechnik» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.Bio-Landtechnik.de> – Дата доступа: 04.12.2006.

Агротехническому методу ограничения вредоносности колорадского жука отводится важная роль в интегрированной системе защиты культуры. Однако полностью проблемы он не решает.

*Биологические методы* в последнее время приобретают большое значение в защите картофеля от жука. Они не загрязняют окружающую среду токсическими веществами, не оказывают вредного влияния на человека и животных. Эти методы могут быть направлены на создание условий для привлечения, сохранения, размножения и активной деятельности энтомофагов или на применение биологических препаратов, изготовленных на основе болезнетворных бактерий, которые губительно действуют на колорадского жука.

Применение энтомофагов с точки зрения охраны окружающей среды является наиболее эффективным и приемлемым. Однако колорадский жук в Беларуси почти не имеет специализированных паразитов или хищников. Попытки ввоза их (жужелиц, некоторых видов клопов, божьих коровок, мухи тахины) на европейский континент из США с целью акклиматизации успеха не имели.

Объемы применения биологических препаратов крайне малы. Их серийное производство в достаточном количестве для потребителя не организовано.

*Химический метод* считается наиболее действенным. Он широко применяется и интенсивно уменьшает вредоносность жука. В то же время защитное действие большинства инсектицидов составляет 8–10 дней и только некоторых достигает 10–14 дней. По истечении этого срока на обработанных полях идет нарастание численности вредителя.

Инсектициды рекомендуется применять тогда, когда в составе популяции преобладают личинки второго-третьего возраста размером 5–7 мм. Не рекомендуется проводить обработку при наличии на растениях большого количества неотродившихся яйцеклеток, так как в этой фазе развития вредитель более устойчив к действию химических препаратов<sup>3</sup>. Кроме того, со временем он адаптируется к действию этих препаратов, что требует постоянной разработки дорогостоящих все новых пестицидов. Применение же химических средств защиты на посадках картофеля для детского питания является крайне нежелательным.

*Физический метод* основан на сборе особей жука с картофеля и их уничтожении. Он позволяет получить экологически чистый картофель. Однако в республике нет технических средств для сбора колорадского жука [3–5] и они не выпускаются промышленностью [6].

**Гипотеза устройства машины для механического сбора жука.** Известен ряд таких машин и технических устройств<sup>4</sup> [3, 5, 7]. По принципу работы их можно разделить на пневматические, пневмомеханические и щеточно-лопастные, или механические. Анализ этих машин по сложности и надежности конструкции, эффективности выполнения технологического процесса показал, что наиболее приемлемыми являются машины со щеточно-лопастными рабочими органами для сбора жука и пневматическим способом транспортирования его особей в емкость-сборник. Поэтому гипотеза конструктивного устройства машины для сбора колорадского жука с ботвы картофеля отечественного производства заключается в следующем (рис. 1).

Машина навешивается на переднее навесное устройство энергетического средства. Она включает четыре ротора с упруго-эластичными элементами и регуляторами амплитуды их колебаний, две желобчатые емкости (лотки) для накопления собираемых насекомых с механизмами подвески, обеспечивающими копирование междурядий, два экрана, расположенные над желобчатыми емкостями между парой роторов, пневматическую систему, раму с автосцепкой, опорно-приводные колеса и привод.

Пневматическая система состоит из вентилятора, накопительного фильтра, воздухопроводов, коллектора для присоединения воздухопроводов и всасывающих наконечников.

Технологический процесс стряхивания особей жука с ботвы картофеля активным ротором протекает следующим образом. При движении агрегата вдоль картофельных рядов от опорно-приводных колес приводятся в движение роторы, которые вращаются попарно навстречу друг

<sup>3</sup> Сонкина Е. В., Быховец С. Л. Мероприятия по ограничению вредоносности колорадского жука в посадках картофеля: аналит. обзор // Беларус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. – Минск, 2003. – 36 с.

<sup>4</sup> Устройство для сбора колорадских жуков и их личинок: пат. на изобретение 3716 Респ. Беларусь, МКП А 01М 5/04 / Э. В. Заяц, С. Н. Ладутько, С. А. Дубатовка, И. И. Верстак; заявитель Гродн. гос. с.-х. ин-т. – № 970148; заявл. 03.19.1997; опубл. 12.30.2000 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2000. – № 12. – С. 32.

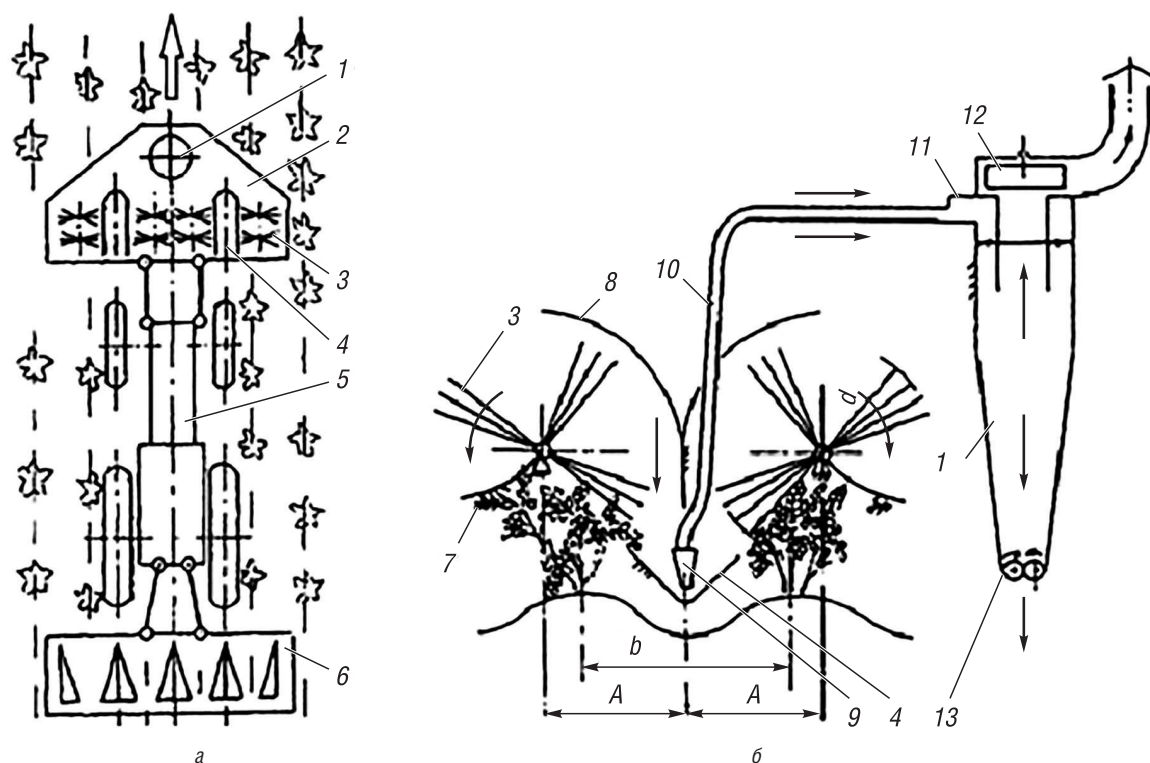


Рис. 1. Агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля: *а* – схема комбинированного агрегата; *б* – схема работы машины для сбора колорадского жука; 1 – циклон; 2 – машина для сбора жука; 3 – роторы с упруго-эластичными элементами; 4 – желобчатые емкости; 5 – трактор; 6 – культиватор для междурядной обработки; 7 – регулятор амплитуды колебания; 8 – экран; 9 – всасывающий наконечник; 10 – воздуховод; 11 – коллектор; 12 – вентилятор; 13 – вальцы; *A* – расстояние от оси ротора до оси междурядья; *b* – ширина междурядий

Fig. 1. Unit for collecting Colorado beetle and potato hilling: *a* – scheme of the combined unit; *б* – scheme of the Colorado beetle collecting machine operation; 1 – cyclone; 2 – machine for beetle collecting; 3 – rotors with flexible elastic elements; 4 – furrowed containers; 5 – tractor; 6 – cultivator for inter-row cultivation; 7 – oscillation amplitude regulator; 8 – screen; 9 – suction end; 10 – air duct; 11 – collector; 12 – fan; 13 – rollers; *A* – is the distance from the axis of the rotor to the axis of the inter-row spacing; *b* – row spacing width

другу. При вращении роторов упруго-эластичные элементы, встречаясь с регуляторами амплитуды колебаний, изгибаются, при этом накапливается энергия, которая обеспечивает колебание элементов. При сходе с регулятора происходит их удар по ботве, в результате которого стряхивается колорадский жук. Оторванные от ботвы насекомые ударяются об экран, отражаются и падают в желобчатую емкость, расположенную под экраном. Из емкости они отсасываются разреженным потоком воздуха, создаваемым вентилятором. Далее через воздуховоды особи жука попадают в накопительный фильтр, который периодически очищается (рис. 1, б).

Выбор схемы обусловлен следующим.

Во-первых, применение упругих роторных рабочих органов обеспечивает качественный сбор насекомых с ботвы картофеля (не менее 80 %) при повреждении растений менее 5 %<sup>5</sup> [2, 7, 8]. Фактически реализуется эффективный ударно-вибрационный принцип стряхивания жуков.

Во-вторых, повреждение стеблей картофеля лопастями ротора уменьшается при их движении в направлении от основания к верху картофельного куста и зависит от диаметра стебля у основания, направления и величины силы удара, точки ее приложения (лопасти), влажности ботвы и других факторов [7].

В-третьих, в Республике Беларусь картофель высаживается, как правило, четырехрядными сажалками и в соответствии с правилами согласования ширины захвата поточно работающих машин, задействованных на возделывании сельскохозяйственной культуры, целесообразно при-

<sup>5</sup> Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / Гос. науч. учреждение «Ин-т аграр. экономики Нац. акад. наук Беларуси»; рук. работы: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2005. – 462 с.

менение четырехрядной машины для сбора колорадского жука, т.е. в ее конструкции должно быть четыре ротора.

В-четвертых, при установке на машине четырех роторов и расположении желобчатых емкостей через одно междурядье роторы должны вращаться попарно навстречу друг другу, что обеспечит сброс жука из двух смежных рядков в одну емкость.

В-пятых, так как агрегат движется по междурядьям картофеля, то для обеспечения его качественной работы следует учитывать размеры и форму гребней и борозд.

В последние годы при возделывании картофеля чаще всего применяется голландская технология. Форма и размеры формируемого при этом гребня представлены на рис. 2<sup>6</sup>. При других технологиях возделывания культуры форма и размеры гребней различаются незначительно.

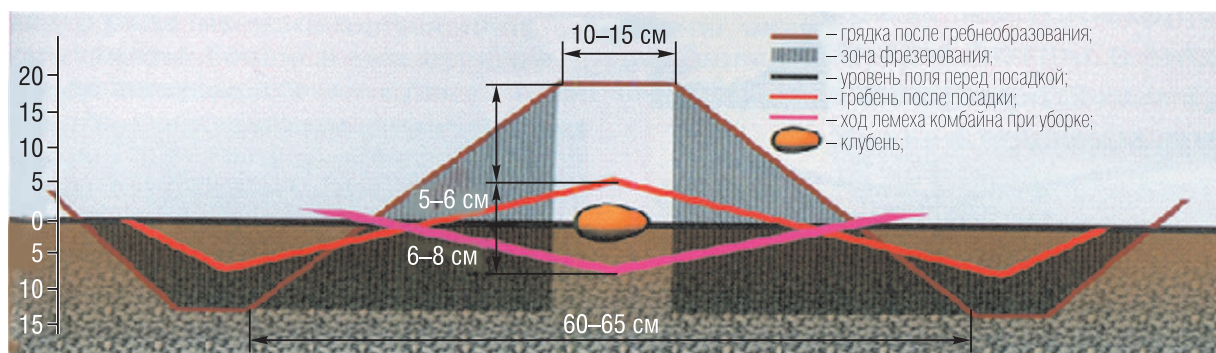


Рис. 2. Схема гребня при голландской технологии возделывания картофеля

Fig. 2. Scheme of the crest at the Dutch technology of potato cultivation

**Методика расчета параметров и режимов работы машины.** Цель исследований – определение конструктивных и кинематических параметров рабочих органов машины, при которых эффективность ее работы максимальная, а повреждение ботвы отсутствует, либо минимально.

Основные конструктивные параметры ротора: наружный диаметр  $D_6$ , рабочая ширина или ширина лопастей  $b_{\text{лоп}}$ , количество лопастей  $K_{\text{лоп}}$ , расстояние по радиусу ротора между осями ротора и регулятора  $R_p$ , площадь поперечного сечения лопасти  $S_{\text{лоп}}$ , диаметр капроновых нитей, составляющих лопасть.

Основные технологические параметры ротора – частота вращения  $n$  или окружная скорость  $V_{\text{окр}}$ , частота колебаний лопастей  $Y_p$ , координаты положения его оси над гребнем.

Расчет параметров ротора выполняли с учетом следующих условий:

1) основная схема посадки картофеля – гребневая с шириной междурядий  $b=0,7$  м (под данное междурядье разработана вся линейка серийно выпускаемых машин) [6, 9, 10];

2) лопасти роторов не должны: касаться поверхности гребней; задевать друг друга при расположении в одном междурядье;

3) межлопастное пространство должно обеспечивать свободный проход ботвы в статическом положении роторов, что исключает дополнительное их воздействие на ботву в переносном движении;

4) максимальная высота кустов для районированных в республике сортов картофеля составляет  $h_{\text{бот max}} = 0,5-0,6$  м<sup>7</sup>.

Выполнение третьего условия обеспечивается тремя конструктивными решениями:

– оси роторов устанавливаются со смещением относительно осей рядков (гребней) на величину  $\Delta$  (рис. 3). С учетом параметров ботвы и ширины междурядий параметр  $\Delta$  принят равным  $0,05-0,10$  м;

<sup>6</sup> Ярохович, А.Н. Голландская технология – основа высокорентабельного картофелеводства / А.Н. Ярохович, А.А. Клищенко // Респ. ассоц. «Картофельплодоовощ», Компания «АРН Group». – 2-е изд. – Минск: Наша Идея, 2010. – 50 с.

<sup>7</sup> Коледа, К.В. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К.В. Коледа [и др.]; под. общ. ред. К.В. Коледы, А.А. Дудука. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 340 с.

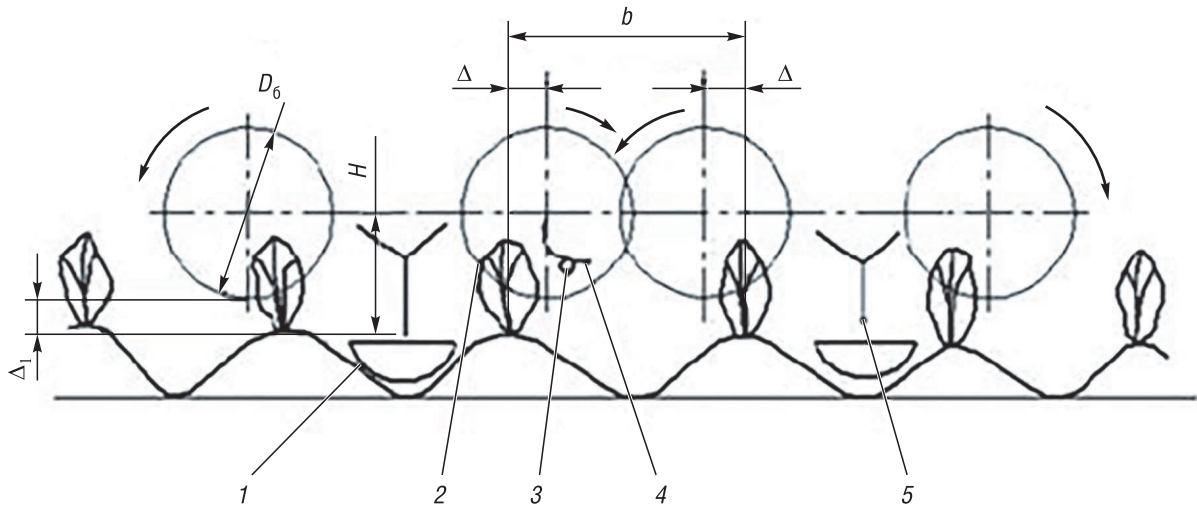


Рис. 3. Схема к определению наружного диаметра роторов: 1 – желобчатая емкость; 2 – ротор; 3 – регулятор амплитуды колебания; 4 – упруго-эластичная лопасть; 5 – экран;  $b$  – ширина междурядья;  $\Delta$  – расстояние от оси вращения ротора до оси ряда по горизонтали;  $\Delta_1$  – расстояние от вершины гребня до нижней точки ротора по вертикали;  $H$  – расстояние от вершины гребня до оси вращения ротора по вертикали;  $D_6$  – диаметр барабана

Fig. 3. Scheme for determining the outer diameter of the rotors: 1 – grooved reservoir; 2 – rotor; 3 – oscillation amplitude regulator; 4 – flexible elastic blade; 5 – screen;  $b$  – inter-row spacing width;  $\Delta$  – the distance from the axis of the rotor to the axis of the row horizontally;  $\Delta_1$  – distance from the crest top to the rotor lowest point vertically;  $H$  – distance from the crest top to the rotor axis vertically;  $D_6$  – drum diameter

– регулятор амплитуды колебаний также устанавливается со смещением на величину  $a$  относительно оси ротора по направлению смещения  $\Delta$  (рис. 4).

При вращении упруго-эластичные лопасти, встречаясь с регулятором амплитуды колебаний, отклоняются от ряда ботвы, образуя пространство между изогнутой лопастью и предыдущей, которое в статическом положении роторов обеспечивает свободный проход ботвы. При поступательном движении агрегата вдоль рядков лопасти ротора будут отклонять ее по направлению движения только за счет переносной составляющей скорости.

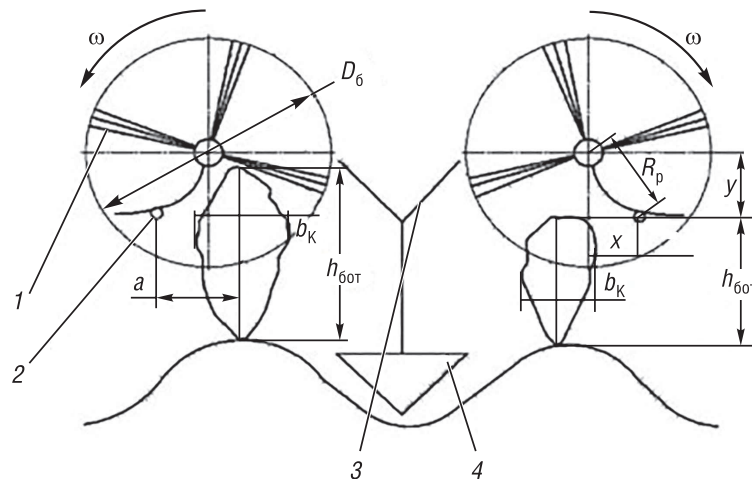


Рис. 4. Схема к определению положения регулятора колебаний: 1 – упруго-эластичные лопасти ротора; 2 – регулятор амплитуды колебаний упруго-эластичных лопастей; 3 – экран; 4 – желобчатая емкость;  $a$  – расстояние по горизонтали от оси регулятора до оси рядка;  $R_p$  – расстояние от регулятора до оси ротора по радиусу;  $b_k$  – ширина куста растений;  $h_{\text{бот}}$  – высота ботвы;  $x$ ,  $y$  – расстояние от оси ротора до оси регулятора соответственно по горизонтали и вертикали;  $\omega$  – угловая скорость вращения роторов

Fig. 4. Scheme for determining the amplitude regulator location: 1 – flexible elastic rotor blades; 2 – oscillation amplitude regulator of flexible elastic blades; 3 – screen; 4 – grooved reservoir;  $a$  – the distance from the regulator axis horizontally to the row axis;  $R_p$  – distance from the regulator to the rotor axis radially;  $b_k$  – plant bush width;  $h_{\text{бот}}$  – top height;  $x$ ,  $y$  – distance from the rotor axis to the regulator axis horizontally and vertically, respectively;  $\omega$  – rotor angle rotation speed

Величина  $a$  определяется зависимостью

$$a = \frac{b_k}{2} + a_1,$$

где  $b_k$  – ширина куста, м;  $a_1$  – расстояние от регулятора до куста по горизонтали, необходимое для разгона лопасти после схода с регулятора.

– с учетом размеров ботвы картофеля при сборе особей жука и того, что ось вращения роторов должна располагаться на уровне верхушечной части растения, целесообразно использовать роторы с числом лопастей не более четырех (рис. 5).

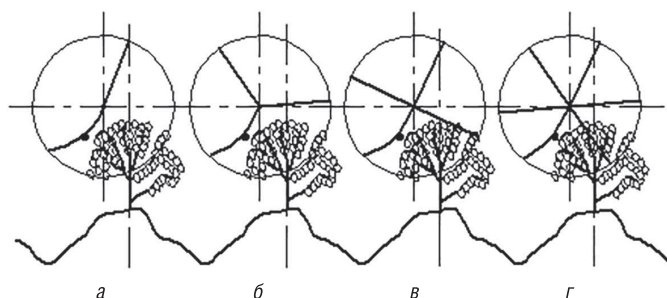


Рис. 5. Схема к определению количества лопастей ротора:  $a$  – две лопасти;  $b$  – три лопасти;  $v$  – четыре лопасти;  $г$  – шесть лопастей

Fig. 5. Scheme for determining the number of rotor blades:  $a$  – two blades;  $b$  – three blades;  $v$  – four blades;  $г$  – six blades

Уменьшать количество лопастей нецелесообразно, так как при этом необходимо увеличить частоту вращения ротора или уменьшить скорость движения агрегата. Это ведет к увеличению повреждения ботвы или снижению производительности работ.

Максимальный диаметр ротора связан с шириной междурядья зависимостью

$$D_6 = b - 2\Delta$$

С учетом этого наружный диаметр ротора должен быть в пределах 0,5–0,6 м. Исходя из того, что особи насекомых на развитой ботве максимально располагаются в верхушечной части, наружный диаметр ротора целесообразно принять равным 0,50–0,55 м.

Поисковыми опытами установлено, что для стряхивания особей жука с картофельной ботвы, достаточно однократного удара упруго-эластичной лопасти. При увеличении количества ударов эффективность сбора жука практически не увеличивается, но возрастает количество повреждений ботвы. Тогда ширина лопасти  $b_{\text{лоп}}$  должна быть согласована с частотой вращения ротора и скоростью передвижения агрегата.

При работе ротора с числом лопастей  $K_{\text{лоп}}$  и частотой оборотов  $n_0$  агрегат проходит путь  $S$ , равный

$$S = K_{\text{лоп}} n_0 B_{\text{лоп}} k_{\text{пер}},$$

где  $k_{\text{пер}}$  – коэффициент перекрытия,  $k_{\text{пер}} \approx 1,0$ .

Разделив обе части этого уравнения на время  $t$ , получим

$$V_{\text{м}} = K_{\text{лоп}} n B_{\text{лоп}} k_{\text{пер}},$$

где  $V_{\text{м}}$  – скорость движения агрегата, м/с;  $n$  – частота вращения ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Откуда определяем ширину лопасти

$$b_{\text{лоп}} = \frac{V_{\text{м}}}{k_{\text{пер}} K_{\text{лоп}} n}.$$

Подставив в эту формулу ориентировочные значения рабочих скоростей движения агрегата в диапазоне  $V_{\text{м}} = 1\text{--}3$  м/с (3,6–10,8 км/ч) для частот вращения ротора  $n = 1\text{--}3$   $\text{с}^{-1}$  (соответствует диапазону окружной скорости ротора  $V_{\text{окр}} = 1,4\text{--}4,2$  м/с) при числе лопастей  $K_{\text{лоп}} = 4$ , получим графические зависимости, представленные на рис. 6.

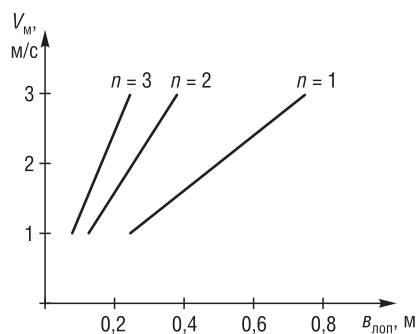


Рис. 6. Теоретические зависимости ширины лопасти  $v_{\text{лоп}}$  от скорости движения машины  $V_{\text{м}}$  при различных частотах вращения ротора  $n$

Fig. 6. Theoretical dependence of the blade width  $v_{\text{лоп}}$  on the machine speed  $V_{\text{м}}$  at different rotor rotation frequency  $n$

Анализ этих зависимостей показывает, что при увеличении скорости движения агрегата и уменьшении частоты вращения ротора увеличивается необходимая ширина лопастей.

При рекомендуемых технологически допустимых скоростях движения машинно-тракторных агрегатов для междурядной обработки культур  $V_{\text{м}} = 6\text{--}10$  км/ч (1,67–2,78 м/с) [11] и частоте вращения ротора  $n = 1$  с<sup>-1</sup> ширина лопасти должна быть в пределах  $v_{\text{лоп}} = 0,42\text{--}0,7$  м.

Обоснование параметров и режимов машины. В соответствии с целью исследований определяли влияние взаимодействия факторов (окружной скорости  $V_{\text{окр}}$ , расстояние по радиусу ротора между осями ротора и регулятора  $R_{\text{р}}$  и площади поперечного сечения лопасти (капроновых нитей)  $S_{\text{лоп}}$ ) на остаточное количество особей жука на ботве после прохода машины (функция отклика  $N$ , табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Результаты проведения опытов

Table 1. Results of experiments

Номер опыта	Окружная скорость ротора, $V_{\text{окр}}$	Расстояние по радиусу ротора между осями ротора и регулятора, $R_{\text{р}}$	Площадь сечения лопасти, $S_{\text{лоп}}$	Остаточное количество особей жука (по повторяемостям опыта и среднее значение)			
				$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{\text{ср}}$
1	4,0	40	1650	54	60	81	65
2	4,0	20	1650	30	32	43	35
3	3,0	40	1650	100	115	115	110
4	3,0	20	1650	52	62	66	60
5	3,5	30	1650	12	17	28	19
6	4,0	30	1900	14	15	37	22
7	4,0	30	1400	60	68	82	70
8	3,0	30	1900	70	65	45	60
9	3,0	30	1400	98	130	132	120
10	3,5	30	1650	5	23	32	20
11	3,5	40	1900	51	46	23	40
12	3,5	40	1400	128	136	96	120
13	3,5	20	1900	15	21	39	25
14	3,5	20	1400	69	78	93	80
15	3,5	30	1650	16	24	23	21

Результаты опытных данных обрабатывались на персональном компьютере с использованием электронных таблиц MS Excel. В результате получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$Y_{\text{р}} = 20 - 19,75x_1 + 19,88x_2 - 30,38x_3 + 24,63x_1^2 + 22,88x_2^2 + 23,88x_3^2.$$

В результате раскодирования уравнения получена зависимость функции отклика  $N$  от параметров  $V_{\text{окр}}$ ,  $R_{\text{р}}$  и  $S_{\text{лоп}}$ :

$$N = 2739,3 - 729,1V_{\text{окр}} - 12,04R_{\text{р}} - 1,356S_{\text{лоп}} + 98,52V_{\text{окр}}^2 + 0,2288R_{\text{р}}^2 + 3,7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{\text{лоп}}^2.$$

Коэффициент детерминации модели  $r^2$ , характеризующий степень влияния регрессии на общую дисперсию опытных значений  $Y$  [12], составил 0,973, что говорит о ее высоком влиянии.

Относительная среднеквадратическая ошибка  $\delta_{\text{ср}}$  уравнения регрессии, близость которой к нулю является необходимым условием адекватности модели, получили равной 13,7 %.



Аналізом ураўнення рэгрэсіі ўстаноўлены аптымальныя значэння параметраў, забяспечваючы мінімум целевай функцыі  $N = 3,1$  (рис. 7–9):

- окружная скорасць лопасти  $V_{\text{окр}} = 3,7$  м/с;
- положение регулятора по радиусу ротора  $R_p = 16$  см;
- площадь поперечного сечения лопастей  $S_{\text{лоп}} = 1800$  мм<sup>2</sup>.

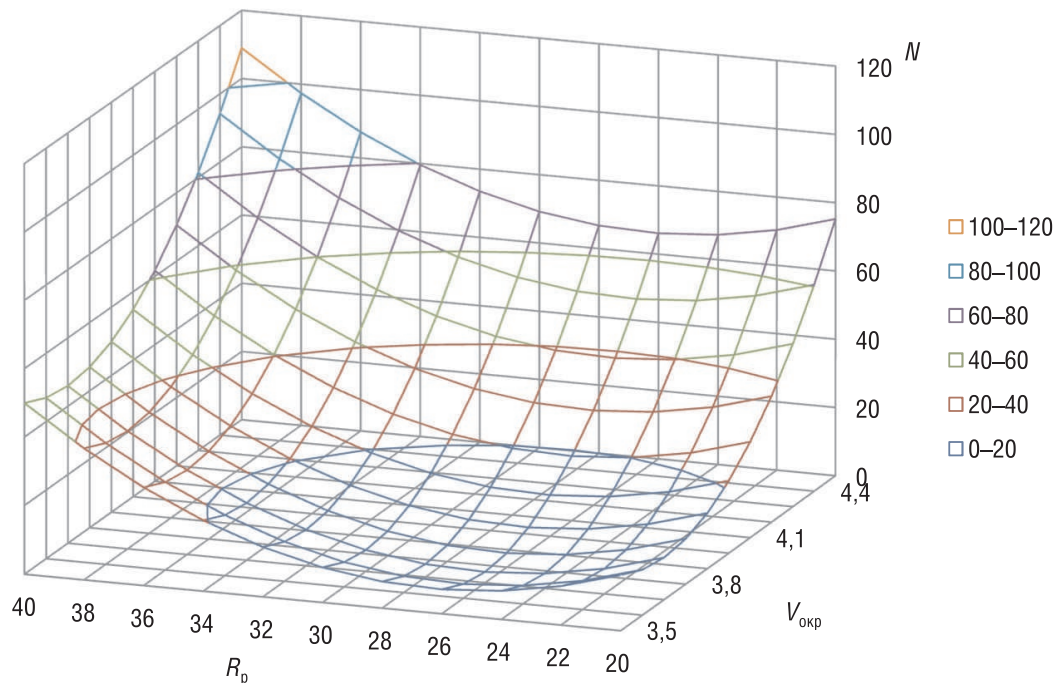


Рис. 7. Зависимость  $N$  от  $R_p$  и  $V_{\text{окр}}$  при  $S_{\text{лоп}} = 1800$  мм<sup>2</sup>  
 Fig. 7. Dependence of  $N$  on  $R_p$  and  $V_{\text{окр}}$  at  $S_{\text{лоп}} = 1800$  мм<sup>2</sup>

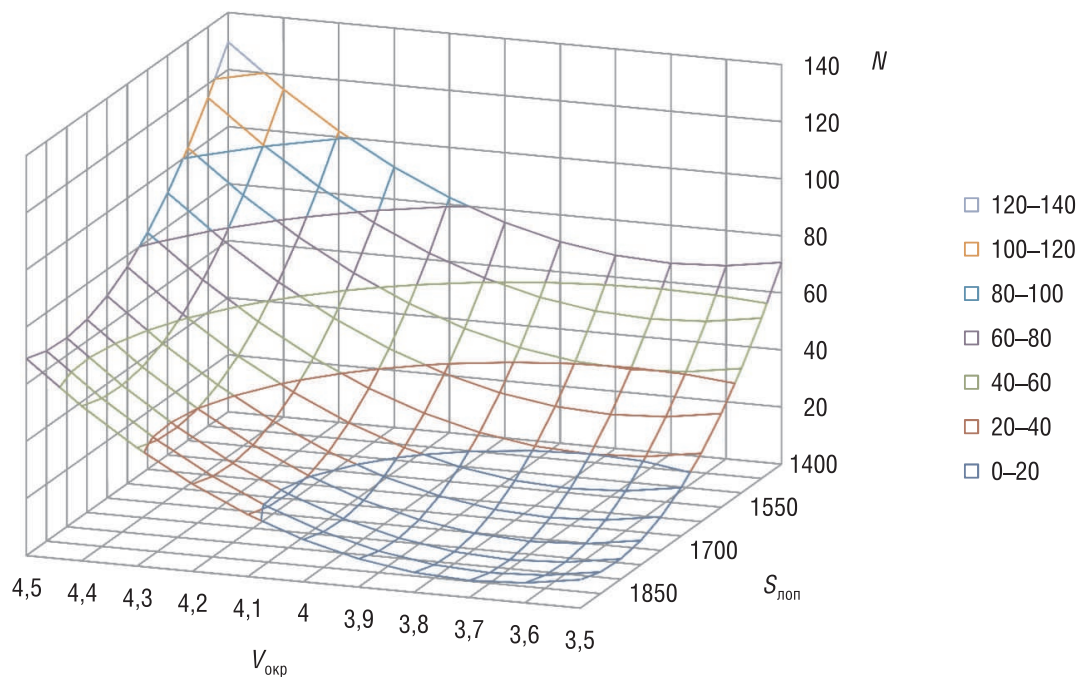


Рис. 8. Зависимость  $N$  от  $V_{\text{окр}}$  и  $S_{\text{лоп}}$  при  $R_p = 0,16$  м  
 Fig. 8. Dependence of  $N$  on  $V_{\text{окр}}$  and  $S_{\text{лоп}}$  at  $R_p = 0,16$  м

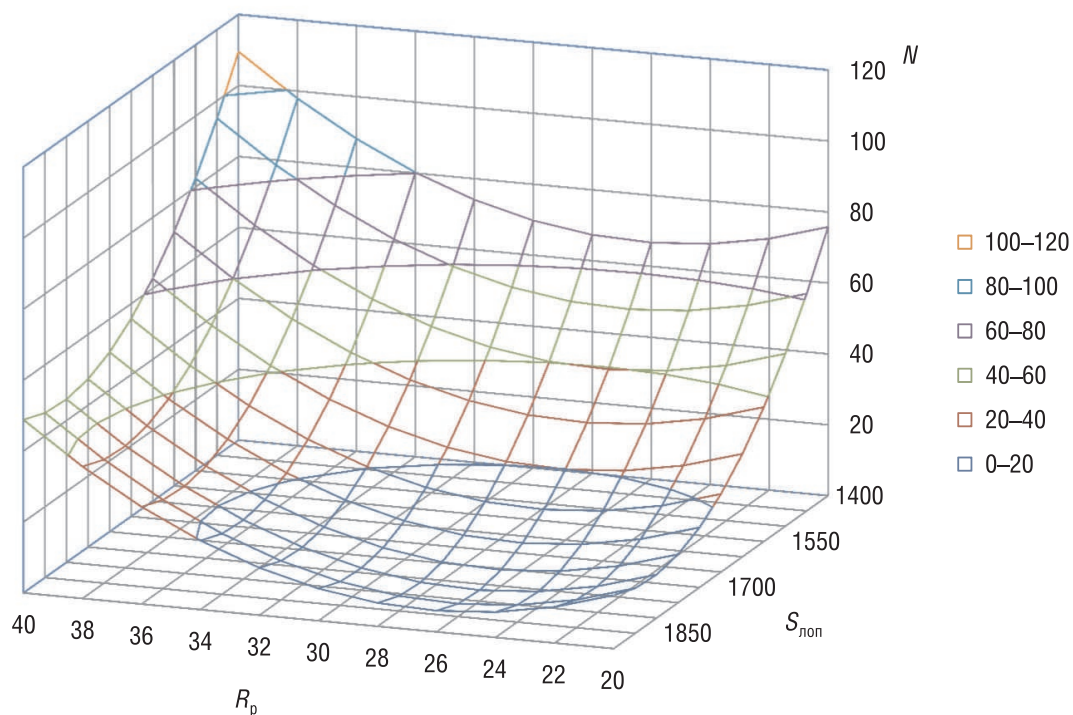


Рис. 9. Зависимость  $N$  от  $R_p$  и  $S_{\text{лоп}}$  при  $V_{\text{окр}} = 3,7$  м/с  
 Fig. 9. Dependence of  $N$  on  $R_p$  and  $S_{\text{лоп}}$  at  $V_{\text{окр}} = 3,7$  m/s

**Практическая реализация результатов исследования.** На основании результатов исследований изготовлен экспериментальный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля, состоящий из трактора «Беларус» 82.1, машины для сбора особей жука и культиватора-окучника КНО-2,8, навешенных, соответственно, на переднее и заднее навесные устройства тракторов (рис. 10).



Рис. 10. Комбинированный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля в работе  
 Fig. 10. Operation of combined unit for collection of Colorado beetle and potato hilling

Агрегат прошел испытания на опытном поле УО «Гродненский государственный аграрный университет» в 2015 г. Испытания проводились на посадках картофеля сорта Скарб с междурядьями 0,7 м. Высота ботвы составляла 0,4–0,5 м. За критерий оценки принимали остаточное количество особей жука на площади 10 м<sup>2</sup>.

Результаты оценки показали, что на такой площади после прохода агрегата насчитывалось от 20 до 45 особей колорадского жука. Это составляет от 0,33 до 0,75 особей на куст, что меньше экономического порога вредоносности – 18–20 особей на куст, при этом кусты с количеством личинок 10 штук и более в данной выборке отсутствовали. Повреждение ботвы не превышало 1 %.

При сменной производительности агрегата  $W_{\text{см}} = 12\text{--}15$  га годовая выработка с учетом агротехнических сроков сбора жука 7–10 дней составляет 80–150 га. Потребность в таких агрегатах для хозяйств республики – 80–150 ед.

### Выводы

1. Обоснован выбор конструктивно-технологической схемы комбинированного агрегата для сбора колорадского жука и окучивания картофеля при получении экологически чистой продукции, прежде всего для детского питания.

2. Установлены аналитические зависимости и экспериментально определены рациональные параметры и режимы рабочих органов: диаметр ротора – 0,5–0,55 м; расстояние по радиусу ротора между осями ротора и регулятора амплитуды колебаний – 0,14–0,18 м; окружная скорость ротора – 3,7 м/с; количество лопастей в роторе – 4 и площадь поперечного сечения лопасти – 1800 мм<sup>2</sup>.

3. Результаты исследования реализованы в экспериментальном образце комбинированного агрегата, который прошел испытания на полях УО «Гродненский государственный аграрный университет», СПК «Занеманский», Мостовского районного сельскохозяйственного унитарного предприятия «Мостовчанка» Гродненской области, РУП «Гродненский зональный институт растениеводства НАН Беларуси».

### Список использованных источников

1. Литун, Б. П. Картофелеводство зарубежных стран / Б. П. Литун, А. И. Замотаев, Н. А. Андрушина. – М. : Агропромиздат, 1988. – 167 с.
2. Иванюк, В. Г. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков / В. Г. Иванюк, С. А. Банадысев, Г. К. Журомский. – Минск : Белпринт, 2005. – 695 с.
3. Таран, Н. А. Колорадский жук и борьба с ним: рекомендации / Н. А. Таран, Н. И. Бойко, Л. А. Гулидова ; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – Воронеж : ВНИИЗР, 1981. – 33 с.
4. Gucol, T. Zbięracz stonki / T. Gucol, I. Bendera, J. Nowak // Rolniczy Przegląd Techniczny. – 2005. – № 5 (75). – S. 14.
5. Заяц, Э. В. К вопросу изыскания рабочего органа для сбора колорадских жуков и их личинок / Э. В. Заяц, С. А. Дубатовка // Ученые записки : материалы науч.-практ. конф. / Гродн. с.-х. ин-т ; ред.: А. Д. Шацкий [и др.]. – Гродно, 1997. – Вып. 7. – С. 83–85.
6. Система перспективных машин и оборудования для реализации инновационных технологий производства основных видов продукции растениеводства на 2011–2015 годы : рекомендации по применению / сост.: В. Г. Самосюк [и др.]. – Минск : Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва, 2013. – 145 с.
7. Кисняшкин, М. Ф. Обоснование параметров рабочих органов машины для борьбы с колорадским жуком : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 ; 05.20.03 / М. Ф. Кисняшкин ; Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. – Саранск, 1996. – 16 с.
8. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1989. – 527 с.
9. Заяц, Э. В. Сельскохозяйственные машины / Э. В. Заяц ; ред.: С. Н. Ладутько, П. В. Заяц. – Гродно : ГГАУ, 2005. – 365 с.
10. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М. : КолосС, 2003. – 624 с.
11. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А. П. Ляхов [и др.] ; под ред. Ю. В. Будько. – Минск : Ураджай, 1991. – 336 с.
12. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 301 с.

## References

1. Litun B. P., Zamotaev A. I., Andryushina N. A. *Kartofelevodstvo zarubezhnykh stran* [Potato breeding in foreign countries]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 167 p. (In Russian).
2. Ivanyuk V. G., Banadysev S. A., Zhurumskiy G. K. *Zashchita kartofelya ot bolezney, vreditel'ey i sornyakov* [Protection of potatoes from diseases, pests and weeds]. Minsk, Belprint Publ., 2005. 695 p. (In Russian).
3. Taran N. A., Boyko N. I., Gulidova L. A. *Koloradskiy zhuk i bor'ba s nim* [Colorado potato beetle and fight with it: recommendatios]. Voronezh, All-Union Scientific Research Institute for Plant Protection, 1981. 33 p. (In Russian).
4. Gucol T., Bendera I., Nowak J. Zbieracz stonki. *Rolniczy Przegląd Techniczny*, 2005, no. 5 (75). – pp. 14. (In Polish).
5. Zayats E. V., Dubatovka S. A. *K voprosu izyskaniya rabochego organa dlya sbora koloradskikh zhukov i ikh lichinok* [To the issue of finding a working body for collecting Colorado potato beetles and their larvae]. *Uchenye zapiski: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific notes: materials of the scientific-practical conference]. Grodno, 1997, no. 7, pp. 83–85. (In Russian).
6. *Sistema perspektivnykh mashin i oborudovaniya dlya realizatsii innovatsionnykh tekhnologiy proizvodstva osnovnykh vidov produktsii rastenievodstva na 2011–2015 gody* [System of advanced machines and equipment for the implementation of innovative technologies for the production of main crop products for 2011–2015]. Minsk, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Mechanization of Agriculture, 2013. 145 p. (In Russian).
7. Kisnyashkin M. F. *Obosnovanie parametrov rabochikh organov mashiny dlya bor'by s koloradskim zhukom. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of the parameters of machine working parts for fighting with Colorado potato beetle. Abstract of Ph.D. thesis in Engineering Science]. Saransk, 1996. 16 p. (In Russian).
8. Karpenko A. N., Khalanskiy V. M. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny. 6-e izd.* [Agricultural machines. 6th ed.]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 527 p. (In Russian).
9. Zayats E. V. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. [Agricultural machines]. Grodno, Grodno State Agrarian University, 2005. 365 p. (In Russian).
10. Khalanskiy V. M., Gorbachev I. V. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Agricultural machines]. – Moscow, KolosS Publ., 2003. 624 p. (In Russian).
11. Lyakhov A. P., Novikov A. V., Bud'ko Yu.V., Kunkevich P. A., Dobysh G. F., Kozhenkova K. I., Labodaev V. D., Tomkunas Yu. I., Stefanovich S. V., Kostikov A. I., Busel I. P. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Operation of a machine and tractor fleet]. Minsk, Uradzhay Publ., 1991. 336 p. (In Russian).
12. Krasovskiy G. I., Filaretov G. F. *Planirovanie eksperimenta* [Planning an experiment]. Minsk, Publishing House of the Belarusian State University, 1982. 301 p. (In Russian).

## Информация об авторах

*Казакевич Петр Петрович* – член-корреспондент, доктор технических наук, профессор, заместитель председателя Национальной академии наук Беларуси. Президиум Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072 г. Минск, Беларусь). E-mail: oan-2011@mail.ru

*Зяц Павел Владимирович* – аспирант. Научно-практический центр Национальной академии наук по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049, Минск, Беларусь).

## Information about authors

*Kazakevich Petr P.* – Corresponding Member, D.Sc. (Engineering), Professor, of the National Academy of Sciences of Belarus (66 Nezavisimosti Ave., Minsk 220072, Belarus). E-mail: oan-2011@mail.ru

*Zayats Pavel V.* – Postgraduate student. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (1 Knorina Str., Minsk 220049, Belarus).