

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634514>

Оригинальное исследование



Совершенствование методов и технических средств борьбы с водной эрозией при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля

А.Б. Калинин, И.З. Теплинский, И.С. Немцев

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Картофель является культурой, требующей создания мелкокомковатой структуры верхнего клубнеобитаемого слоя почвы для формирования клубней правильной формы, а также для обеспечения условий для хорошей сепарации почвы во время выполнения уборочных работ. С этой целью большинство технологий возделывания данной культуры предусматривает формирование профилированной поверхности поля. Одним из результатов глобальных климатических изменений является увеличение частоты выпадения ливневых осадков в период вегетации растений. При этом наличие профилированной поверхности на полях, обладающих даже небольшим уклоном, ведет к значительным рискам развития водной эрозии почвы во время ливней из-за стекания воды со стенок гребней в междурядья. Это приводит к ежегодным невосполнимым потерям плодородного слоя почвы. Поэтому для обеспечения сохранения уровня естественного почвенного плодородия и исключения рисков развития водной эрозии при использовании интенсивных технологий производства картофеля в условиях глобальных климатических изменений требуется совершенствовать технологические приёмы и технические средства, используемые для формирования профилированной поверхности поля.

Цель исследования — защита почвы от водной эрозии при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля за счёт совершенствования технологических приёмов и технических средств, используемых для формирования профилированной поверхности поля, а также обоснования параметров рабочих органов.

Методы. Объектом исследований является ротационный лункователь бесприводного действия, установленный на пропашном культиваторе-глубокорыхлителе. Для выбора рациональных параметров рабочих органов лункователя были проведены теоретические исследования, на основе которых выбран диаметр ротора его лопастей. В качестве исходных данных для определения технологических параметров лункователя приняты следующие допущения: интенсивность выпадения ливней; глубина хода рыхлительных лап пропашного культиватора-глубокорыхлителя; скорость впитывания дождя по капиллярам на среднесуглинистых почвах при определённой степени уклона поля. Теоретический расчёт технологических параметров лункователя выполнен на основе построенных траекторий перемещения центра ротора и его лопастей во время выполнения рабочего процесса. Расчёт параметров лункователя выполнялся с учётом того, что передняя и задняя стенки лунки образованы его лопастью путём смятия рыхлой почвы при перекатывании с шагом t относительно неподвижной точки на определённой глубине h , шаг лункователя t определяется конструктивными параметрами ротора: диаметр D и количество лопастей на нём.

Результаты. Для определения числа лунок на погонном метре был рассчитан объём воды, который попадает в междурядья во время ливня в зависимости от их ширины. Результаты расчёта показали, что при интенсивности осадков 15 мм/ч число лунок на погонном метре профилированной поверхности поля, варьируется от 2,4 до 3,1 шт/м. Эти данные позволили определить рациональные параметры лункователя для защиты от водной эрозии сельскохозяйственных земель, расположенных на склонах, при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля.

Заключение. Эффективным методом предотвращения водной эрозии на профилированной поверхности поля при возделывании картофеля является глубокое рыхление междурядий с одновременным формированием лунок на дне борозды. Для этой цели предлагается использовать ротационный лункователь бесприводного действия. При использовании лункователя с диаметром ротора 600 мм количество лунок на погонном метре варьируется от 2,4 шт/м при ширине междурядья 70 см до 3,1 шт/м при ширине междурядья 90 см. Для надёжной защиты почв от водной эрозии при ширине междурядья 70 см на роторе достаточно установить 4 лопатки, при ширине 75 и 80 см 5 лопаток, а при ширине 90 см потребуется 6 лопаток.

Ключевые слова: глобальные климатические изменения; почва; эрозия; пропашной культиватор-глубокорыхлитель; профилированная поверхность; лункователь.

Как цитировать:

Калинин А.Б., Теплинский И.З., Немцев И.С. Совершенствование методов и технических средств борьбы с водной эрозией при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 673–682. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634514>

Рукопись получена: 22.07.2024

Рукопись одобрена: 31.12.2024

Опубликована online: 31.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634514>

Original Study Article

Improvement of methods and technical means of water erosion control during cultivating potatoes on a profiled field surface

Andrey B. Kalinin, Igor Z. Teplinsky, Ivan S. Nemtsev

Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Potato is a crop that requires the preparation of a fine-grained structure of the upper tuber-inhabited soil layer to form tubers of the correct shape, as well as to ensure conditions for good soil separation during harvesting. For this purpose, most technologies for cultivating this crop consider for the formation of a profiled field surface. One of the results of global climate changes is an increase in the frequency of heavy rainfall during the growing season. At the same time, the presence of a profiled surface on fields with even a slight slope leads to significant risks of water erosion during heavy rains due to water flowing from the ridge walls into the row spacing. This leads to annual irreparable losses of the fertile soil layer. Therefore, in order to ensure the preservation of the level of natural soil fertility and to eliminate the risks of water erosion when using intensive potato production technologies in the context of global climate changes, it is necessary to improve the technological methods and technical means used to form a profiled field surface.

OBJECTIVE: Protection of soil from water erosion during potato cultivation on a profiled field surface by improving technological methods and technical means used to form a profiled field surface, as well as justification of the parameters and modes of their operation.

METHODS: The study object is a non-powered rotary hole-digger mounted on an inter-row cultivator-subsoiler. To select reasonable parameters of working bodies of the hole-digger, theoretical studies were conducted on the basis of which the rotor diameter of its vanes was selected. The following assumptions were adopted as initial data for determining the technological parameters of the hole-digger: intensity of downpour; depth of the loosening tines of the row-crop cultivator-subsoiler; the rate of rain absorption by capillaries on medium-loamy soils at a certain degree of field slope. The theoretical calculation of the technological parameters of the hole-digger was performed on the basis of the built paths of the rotor center and its vanes during the working process. The calculation of the parameters of the hole-digger was carried out taking into account that the front and rear walls of a hole are formed by its vane by pushing loose soil during rolling with a step t relative to a fixed point at a certain depth h , the step of the hole-digger's vanes t is determined by the design parameters of the rotor: diameter D and the number of vanes on it.

RESULTS: In order to determine the number of holes per linear meter, the volume of water that gets between the rows during a downpour was calculated depending on their inter-row width. The calculation results showed that with a precipitation intensity of 15 mm/h the number of holes per linear meter of the profiled surface of the field varies from 2.4 to 3.1 pcs/m. These data made it possible to determine the reasonable parameters of the hole-digger for protection against water erosion of the fields located on slopes when cultivating potatoes on the profiled surface.

CONCLUSIONS: An effective method for preventing water erosion on the profiled surface of a field when cultivating potatoes is deep loosening between rows with simultaneous formation of holes at the bottom of the furrow. For this purpose, it is proposed to use a non-powered rotary hole-digger. When using a hole-digger with a rotor diameter of 600 mm the number of holes per linear meter varies from 2.4 pcs/m with a inter row spacing of 70 cm to 3.1 pcs/m with a inter row spacing of 90 cm. For reliable protection of soil from water erosion, it is enough to install 4 vanes on the rotor with the inter-row spacing of 70 cm, 5 vanes with the inter-row spacing of 75 and 80 cm, and 6 vanes will be required with the inter-row spacing of 90 cm.

Keywords: global climate change; soil; erosion; inter row subsoiler cultivator; profiled surface; hole-digger.

To cite this article:

Kalinin AB, Teplinsky IZ, Nemtsev IS. Improving methods and technical means of combating water erosion during potato cultivation on a profiled field surface. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):673–682. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634514>

Received: 22.07.2024

Accepted: 31.12.2024

Published online: 31.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Картофель является культурой, требующей создания мелкокомковатой структуры верхнего клубнеобитаемого слоя почвы для формирования клубней правильной формы, а также для обеспечения условий для хорошей сепарации почвы во время выполнения уборочных работ [1]. Большинство используемых технологий возделывания картофеля предусматривает формирование профилированной поверхности поля после посадки путём проведения окучивания культиваторами-гребнеобразователями с активными (рис. 1) или пассивными (рис. 2) рабочими органами.

В большинстве регионов производство картофеля выполняется на профилированной поверхности поля для создания благоприятного температурного режима внутри почвы на уровне формирования клубней нового урожая, а также исключения их вымокания в период избыточного увлажнения. Однако наличие профилированной поверхности на полях, обладающих даже небольшим уклоном, ведёт к значительным рискам развития водной эрозии почвы из-за существенного повышения интенсивности накопления влаги в междурядьях, куда вода при выпадении осадков стекает с поверхности и с боковых стенок гребней. В ряде случаев из-за стока воды с гребней удельный объем осадков, приходящийся на дно борозды, возрастает в зависимости от ширины междурядий до 5 раз. При этом возникают экологические риски, связанные с возникновением водной эрозии почвы, спровоцированные абиотическими антропогенными факторами. Указанное обстоятельство приводит к ежегодным невосполнимым потерям плодородного слоя почвы на склонах до 3,1 т/га [2, 3]. Проблема защиты почв от водной эрозии при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля остро стоит

перед многими хозяйствами в нашей стране и за её пределами [4].

Необходимо также отметить, что для получения высоких урожаев картофеля следует обеспечить благоприятный водный режим в корнеобитаемом слое [5], который для большинства типов почв составляет не более 80% от полной полевой влагоёмкости. Поэтому картофель следует выращивать в зонах достаточного увлажнения, где за год выпадает более 600 мм осадков, либо на орошаемых землях, где необходимый объем влаги дополняется через поливные системы. Особенно требовательно к режиму влагообеспечения растений производство оригинального и элитного семенного картофеля [6], которое во всех странах сосредоточено в зонах умеренного климата. Результаты многочисленных наблюдений за погодными явлениями в Северо-Западном, Центральном и Северо-Кавказском регионах показали, что в климате произошли существенные изменения [7–10], причём осадки в период вегетации растений зачастую имеют ливневый характер с интенсивностью свыше 1 мм/мин.

На рис. 3 и рис. 4 приведены результаты оценки статистических данных наблюдений, выполненных на метеостанции Санкт-Петербурга с 1936 по 2023 гг. Графики изменения динамики выпадения осадков за длительный период, показали, что суммарное количество осадков с мая по август имеет восходящий тренд, а количество дней с осадками уменьшается. Это позволяет сделать вывод о повышении вероятности выпадения ливневых осадков.

Технологии производства картофеля предусматривают многократное интенсивное воздействие на почву со стороны энергонасыщенных машинно-тракторных агрегатов [11]. Результатом такого антропогенного воздействия является существенное ухудшение физико-механических свойств корнеобитаемого слоя, проявления которого выражаются в разрушении наиболее ценных



Рис. 1. Формирование гребней культиватором-гребнеобразователем с активными рабочими органами.

Fig. 1. Ridge forming with a cultivator-ridger with active working bodies.



Рис. 2. Формирование гребней культиватором-гребнеобразователем с пассивными рабочими органами.

Fig. 2. Ridge forming with a cultivator-ridger with passive working bodies.

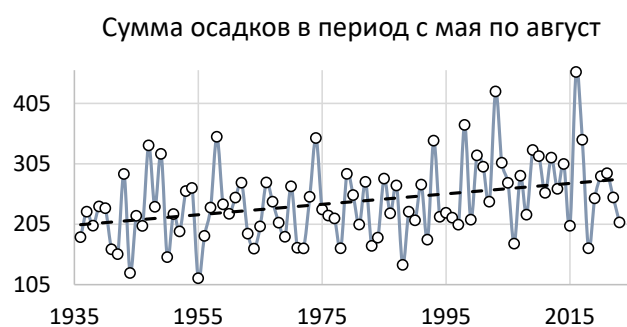


Рис. 3. Динамика изменения суммарного количества осадков в период вегетации растений (май – август) в Санкт-Петербурге в период 1936–2023 гг.

Fig. 3. Dynamics of changes in total precipitation during the growing season (May – August) in Saint Petersburg in the period of years 1936–2023.



Рис. 4. Динамика изменения количества дней с осадками в период вегетации растений (май – август) в Санкт-Петербурге в период 1936–2023 гг.

Fig. 4. Dynamics of changes in the number of days with precipitation during the growing season (May – August) in Saint Petersburg in the period of years 1936–2023.

почвенных агрегатов и возникновении переуплотнённых почвенных горизонтов на глубине, вплоть до 50 см, а иногда и более [12]. При появлении в верхнем слое мелких почвенных элементов возникают риски потери плодородного слоя под воздействием водной эрозии, особенно на склонах [13–15]. Наличие переуплотнения в корнеобитаемом слое ведёт к ограничению зоны распространения в нем корневой системы картофеля и ухудшению влагообеспеченности растений из-за значительного сокращения пор и капилляров, способных удерживать и перераспределять почвенную влагу. Важно отметить, что уплотнённая почва увеличивает риски развития эрозионных процессов ввиду низкой способности оперативно впитывать значительные объёмы влаги при выпадении ливневых осадков [16, 17].

Поэтому для обеспечения сохранения уровня естественного почвенного плодородия и исключения рисков развития водной эрозии при использовании интенсивных технологий производства картофеля в условиях глобальных климатических изменений требуется совершенствовать технологические приёмы и технические средства для формирования оптимального почвенного состояния на профилированной поверхности поля.

Цель исследования — защита почвы от водной эрозии при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля за счёт совершенствования технологических приёмов и технических средств, используемых для формирования профилированной поверхности поля, а также обоснования параметров рабочих органов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При возделывании картофеля по интенсивным технологиям первоначальное формирование профилированной поверхности поля происходит при выполнении посадки картофеля, когда гребень образуется загортачами картофелепосадочных машин [18]. Окончательное формирование полнообъемных гребней производится путём окучивания посадок картофеля с помощью культиваторов-гребнеобразователей с активными или пассивными рабочими органами. Машины с активными рабочими органами рекомендуется применять на почвах с тяжёлым механическим составом, а на почвах с более лёгким механическим составом — культиваторы-гребнеобразователи, оснащенные пассивными рабочими органами [29].

В особой степени риски проявления водной эрозии при выпадении ливневых дождей связаны со структурой почвы, на которую попадают капли дождя. Диаметр капель обычного дождя не превышает 1 мм, однако во время ливней выпадают капли диаметром свыше 2 мм [20, 21], что придаёт им высокую кинетическую энергию при падении на землю. Падение капель воды, обладающих высокой кинетической энергией, на незащищённую поверхность почвы приводит к разрушению почвенных частиц. В особой степени разрушению подвергаются почвенные элементы малого размера, сформированные фрезерными культиваторами-гребнеобразователями. Другим фактором риска, который существенно увеличивает потерю плодородного слоя на профилированной поверхности, является применение гребнеобразующих плит в составе культиваторов-гребнеобразователей [22]. При работе таких устройств поверхность почвы приглаживается плитой по всему периметру гребня и крупные капли, падающие на его верхнюю и боковые части, выбивают из массива мелкие почвенные элементы и вместе с ними

стекают на дно борозды, а далее уносятся вниз по склону. Последствия этого процесса на посадках картофеля после выпадения ливневых осадков показаны на рис. 5.

Исследования технических средств, применяемых для формирования профилированной поверхности поля на посадках картофеля, показал, что наиболее устойчивая к воздействию ливневых осадков структура обработанного поля образуется после прохода пропашного культиватора-глубокорыхлителя, оснащённого пассивными рабочими органами [23]. Данное орудие выполняет обработку почвы рыхлительными лапами: на глубине до 15 см с боковых сторон гребня на пружинных стойках, а в центре междурядий на глубине до 35 см — на жёстких. Профилированная поверхность поля формируется окучивающими корпусами, установленными на этих же жёстких стойках. Поверхность гребней упрочняется с помощью пруткового диаболического катка, поперечный профиль которого копирует их форму. В результате применения такого орудия гребень формируется из крупных комков почвы, устойчивых к разрушению при воздействии на них крупных капель дождя. Дождевая вода при осадках с максимальной интенсивностью проникает между такими почвенными элементами внутрь гребней по всему его периметру, сводя до минимума поток, попадающий на дно борозды, а густая сеть крупных пор и капилляров в междурядьях способствует отводу избыточной влаги на значительную глубину корнеобитаемого слоя.

Для снижения потерь почвы в результате водной эрозии применяют различные организационные и агротехнические мероприятия, направленные на формирование препятствий для свободного стока воды [24]. При возделывании картофеля наибольшее распространение получили технологические приёмы, направленные на снижение интенсивности стока воды в междурядьях. К таким приёмам относятся прерывистое щелевание дна борозды



Рис. 5. Смыл почвы ливневыми осадками на профилированной поверхности поля, сформированной фрезерным культиватором-гребнеобразователем.

Fig. 5. Soil washout by rainfall on a profiled field surface formed by a rotary cultivator-ridger.

и посев в ней сидеральных культур [25], формирование на дне борозды почвенных перемишек [26], сочетание глубокого рыхления междурядий с формированием множества лунок [19]. Приведённые приёмы сдерживания перемещения влаги выполняются в зависимости от объёма и интенсивности выпадающих осадков, типа почв и величины уклона на поверхности поля.

Проведённые исследования показали, что наиболее эффективным методом удержания влаги на профилированной поверхности является метод лункования ротационным лункователем бесприводного действия [27] совмещённый с глубоким рыхлением. При таком методе формирование лунок на дне борозды производится во время ухода за растениями с применением пропашных культиваторов-глубококорыхлителей.

В настоящее время нет рекомендаций по выбору и обоснованию технологических схем лункователей, предлагаемых производителями сельскохозяйственной техники под определённые почвенно-климатические условия агроландшафтов и применяемые технологии производства картофеля.

Для выбора рациональных параметров рабочих органов лункователя были проведены теоретические исследования, на основе которых выбран диаметр ротора его лопастей, равный 600 мм, а также определена ёмкость лунок, способных удержать от стока водный поток, образуемый ливневыми осадками при достаточно высокой интенсивности их выпадения. В качестве исходных данных для определения технологических параметров лункователя приняты следующие допущения: интенсивность выпадения ливней составляет 15 мм/ч [28, 29]; вся вода, выпадающая на поверхность гребней, стекает в междурядья; глубококорыхлительные лапы, обрабатывающие дно борозды, устраняют переуплотнения в корнеобитаемом слое, препятствующие впитыванию влаги в нижние слои почвенного горизонта; скорость впитывания дождя по капиллярам составляет не менее 0,25 мм/мин, что соответствует показателю для среднесуглинистых почв на уклонах до 15° [30].

Теоретический расчёт технологических параметров лункователя выполнен на основе построенных траекторий перемещения его лопастей во время выполнения рабочего процесса (рис. 6). При воздействии лункователя на почву передняя и задняя стенки лунки образованы его лопастью путём смятия рыхлой почвы при перекатывании с шагом t относительно неподвижной точки на глубине $h = 200$ мм. Шаг лункователя t определяется конструктивными параметрами ротора: диаметр D и количество лопастей на нём. При этом лунка образуется в виде треугольной наклонной призмы, поперечное сечение которой представляет собой трапецию с нижним основанием, равным $a = 120$ мм, а верхним — $c = 160$ мм. После построения траектории движения лопасти установлено, что теоретическое значение длины лунки составляет $l = 300$ мм. На основании этих данных был определён объём лунки, который формируется лопастью лункователя. Он составляет $V = 0,0044$ м³.

Объём воды, стекающий в междурядья профилированной поверхности поля, зависит от принятой ширины b , принятой в технологии производства картофеля (рис. 7). Определение рациональных параметров лункователя было выполнено для междурядий 70, 75, 80 и 90 см. Эти значения междурядий профилированной поверхности применяются в технологиях возделывания картофеля на территории РФ и в большинстве зарубежных стран.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной задачей применения лопастных лункователей в составе пропашного культиватора-глубококорыхлителя является предотвращение стока воды на профилированной поверхности при выпадении ливневых осадков за счёт отвода избыточного объёма влаги в лунки на дне междурядья. Для определения числа лунок на погонном метре был рассчитан объём воды, который попадает в междурядья во время ливня в зависимости от их ширины. В табл. 1 представлены результаты расчёта, которые показали, что для принятых размеров лунки и в зависимости от ширины междурядья, их число на погонном метре профилированной поверхности поля, способное накапливать в течение часа весь объём ливневых осадков, варьируется от 2,4 до 3,1 шт/м. Эти данные позволили определить рациональные параметры лункователя для защиты от водной эрозии сельскохозяйственных земель, расположенных на склонах, при возделывании пропашных культур на профилированной поверхности.

Результаты расчёта показали, что частота расположения лунок на дне борозды прямо пропорциональна

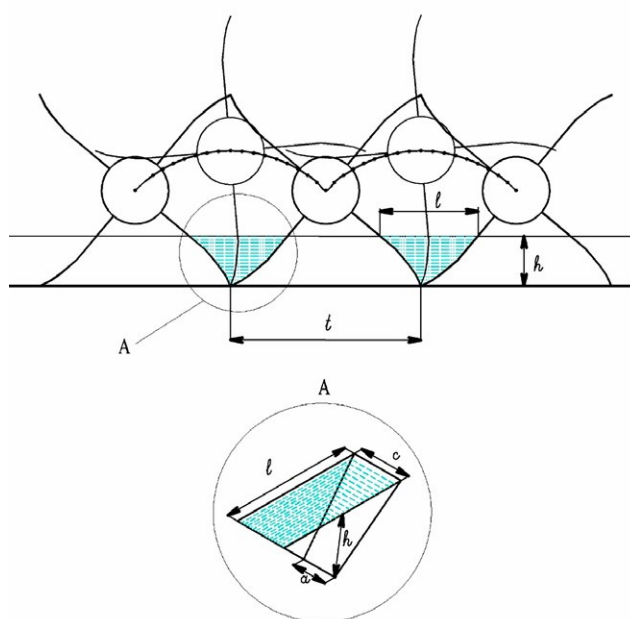


Рис. 6. Траектория движения лопастей лункователя и форма образуемой лунки.

Fig. 6. The path of the vanes of the hole-digger and the shape of the hole formed.

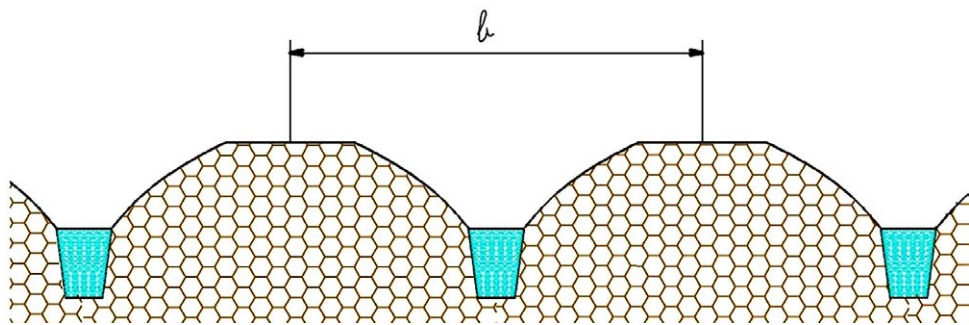


Рис. 7. Схема поперечного сечения профилированной поверхности поля с лунками на дне борозды.
Fig. 7. The path of the vanes of the hole-digger and the holes of the hole formed.

ширине междурядий, поэтому для обеспечения надёжной защиты почвы от развития водной эрозии при возделывании пропашных культур на профилированной поверхности на склонах необходимо выбирать шагом лопастей лункователя t . Данный параметр зависит от диаметра ротора лункователя и числа лопастей на нем. Для выбора технологических параметров лункователя в соответствии с параметрами профилированной поверхности выполнен расчёт числа формируемых лунок на погонный метр различным числом лопастей, установленных на роторе диаметром 600 мм. Результаты расчёта приведены в табл. 2.

На основе данных, представленных в табл. 2, можно оценить потенциал накопления влаги лунками в зависимости от количества лопаток лункователя. На основании расчётного объёма воды, стекающей в междурядья при выпадении ливневых осадков (см. табл. 1), установлено, что при возделывании картофеля на профилированной поверхности с междурядьем 70 см достаточно использовать лункователь, у которого число лопаток на роторе

равно четырём, а с междурядьем 75 и 80 см ротор лункователя должен быть оснащён пятью лопатками для предотвращения развития эрозионных процессов во время выпадения ливневых осадков. Для надёжной защиты почвы при возделывании картофеля на профилированной поверхности с междурядьем 90 см число лопаток должно быть не менее шести.

Предварительные полевые исследования пропашного культиватора-глубокорыхлителя, оснащённого ротационным лункователем, показали, что лунки, формируемые на дне борозды при глубине рыхления междурядий 30 см, обеспечили полное удержание влаги на среднесуглинистых серых лесных почвах при возделывании картофеля на полях, имеющих уклон до 12° (рис. 8) при выпадении ливневых осадков интенсивностью 25 мм/ч.

Использование лункователя в составе пропашного культиватора-глубокорыхлителя позволило исключить развитие водной эрозии в начальной стадии возделывания картофеля, когда почва остаётся незащищённой листьями

Таблица 1. Технологические параметры лунок для удержания ливневых осадков
Table 1. Technological parameters of holes for rainwater retention

№	Ширина междурядья b , м	Интенсивность осадков, мм/ч	Объём воды, стекающей в междурядья за час, м^3	Объём воды в лунке, м^3	Требуемое число лунок на погонном метре, шт/м
1	0,7	15	0,0105	0,0044	2,4
2	0,75		0,01125		2,6
3	0,8		0,012		2,7
4	0,9		0,0135		3,1

Таблица 2. Технологические параметры лункователя
Table 2. Technological parameters of the hole-digger

№	Количество лопаток на роторе, м	Диаметр ротора, мм	Шаг лункователя t , м	Число лунок на погонном метре, шт/м	Объём накопленной воды на погонном метре, $\text{м}^3/\text{м}$
1	3	600	0,52	1,92	0,0085
2	4		0,42	2,38	0,0105
3	5		0,35	2,86	0,0126
4	6		0,3	3,33	0,0147



Рис. 8. Вид посадок картофеля после выпадения ливневых осадков на полях с уклоном до 12°.

Fig. 8. View of potato plantings after heavy rainfall on fields with a slope of up to 12°.

растений от воздействия крупных капель дождя во время ливней. Лунки произвели удержание избыточного объёма влаги, не позволяя ей стекать по уклону. Поры и капилляры внутри почвы на дне борозды, сформированные глубокихлительными лапами пропашного культиватора, способствовали интенсивному отводу больших объёмов воды в нижележащие слои почвенного горизонта, полностью устранив возможность развития эрозионных процессов. Таким образом, применение данного приёма обеспечило равномерное распределение влаги от выпавших ливней по всей площади поля независимо от наличия уклонов на нём и устранить риски возникновения эрозионных процессов при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля, расположенного на склонах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований установлено, что существенным фактором возникновения и развития процессов водной эрозии при возделывании картофеля на профилированной поверхности поля является выпадение ливневых осадков, увеличение частоты которых отмечается в связи с глобальными климатическими изменениями. Данные риски значительно увеличиваются при многократных проходах тяжёлых энергонасыщенных машинно-тракторных агрегатов и формировании профилированной поверхности пропашными культиваторами, оснащенные гребнеобразующими плитами, при использовании которых значительный объём воды стекает со стенок гребней и попадает в междурядья, унося потоки почвенных частиц на полях даже с незначительным уклоном. Эффективным методом предотвращения водной эрозии на профилированной поверхности поля при возделывании картофеля является глубокое рыхление междурядий

с одновременным формированием лунок на дне борозды. Для этой цели предлагается в состав пропашного культиватора-глубокихлителя включить ротационный лункователь бесприводного действия, диаметр ротора которого составляет 600 мм. Проведённый расчёт показал, что объём воды, который необходимо накопить в лунках во время выпадения ливневых осадков, зависит от ширины междурядий профилированной поверхности поля. При одинаковом размере лунок их количество на погонном метре варьируется от 2,4 шт/м при ширине междурядья 70 см до 3,1 шт/м при ширине междурядья 90 см. Поэтому для надёжной защиты почв от водной эрозии число лопаток выбирается в зависимости от ширины междурядий профилированной поверхности. Так для ширины междурядья 70 см на роторе достаточно установить 4 лопатки, при ширине 75 и 80 см 5 лопаток, а при ширине 90 см потребуется 6 лопаток.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Б. Калинин — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, выполнение технологических расчетов; И.З. Теплинский — редактирование текста рукописи, экспертная оценка, утверждение финальной версии; И.С. Немцев — поиск публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, создание изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.B. Kalinin — search for publications on the topic of the manuscript, writing the text of the manuscript, performing technological calculations; I.Z. Teplinsky — editing the text of the manuscript, expert assessment, approval of the final version; I.S. Nemtsev — search for publications

on the topic of the manuscript, statistical data processing, creation images. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria. All authors made a significant contribution to the development of the concept, conducting the study and preparing the article, read and approved the final version before publication.

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

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Shpaar D, Bykin A, Dreger D, et al. *Potatoes*. Moscow: Buki Vedi; 2022. (In Russ.)
2. Lemann T, Sprafke T, Bachmann F, et al. The effect of the Dyker on infiltration, soil erosion, and waterlogging on conventionally farmed potato fields in the Swiss Plateau. *CATENA*. 2019;174:130–141. doi: 10.1016/j.catena.2018.10.038
3. Xing Zisheng, Chow Lien, W. Rees Herb, et al. A comparison of effects of one-pass and conventional potato hilling on water runoff and soil erosion under simulated rainfall. *Canadian Journal of Soil Science*. 2011;91(2):279–290. doi: 10.4141/cjss10099
4. *Resource-saving technologies: status, prospects, efficiency*. Moscow: Rosinformagrotech; 2011. (In Russ.)
5. Kalinin AB, Teplinsky IZ. Methods and means of controlling moisture supply regimes in potato cultivation technology. *Potatoes and vegetables*. 2022;2:28–32. (In Russ.) doi: 10.25630/PAV.2022.11.32.004
6. Starovoytova OA, Zhevorva SV, Starovoytov VI, et al. Competitive technologies of seed production, production and storage of potatoes: scientific publication. Moscow: Rosinformagrotech, 2018. (In Russ.)
7. Bratkov VV, Ataev ZV, Baysieva LK, et al. The influence of long-term climate changes on the structure of foothill landscapes of the North-East Caucasus. *Bulletin of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*. 2013;1(22):76–80. (In Russ.)
8. Drozdov VV, Kosenko AV. Long-term trends in air temperature changes in industrial and economic centers of the Northwestern and Central Federal Districts of Russia and their causes. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(3):56–63. (In Russ.)
9. Gasparyan IN, Levshin AG, Ivashova ON, et al. *Best practices in applying technologies to adapt the crop production industry to climate change*. Moscow: Russian State Agrarian University; 2024. (In Russ.)
10. Kuksina LV, Belyakova PA, Golosov VN, et al. Stochastic factors of formation of flash floods on the Black Sea coast of the Western Caucasus and Crimea. *Bulletin of the Russian Geographical Society*. 2023;155(2):3–24. (In Russ.) doi: 10.31857/S0869607123020064
11. Gasparyan IN, Gasparyan Sh.V. *Potatoes: cultivation and storage technologies. Fourth edition, stereotyped*. St. Petersburg: Lan'; 2024. (In Russ.)
12. Teplinsky IZ, Kalinin AB. Algorithm for adjusting chisel plows for processing depth. *Tractors and agricultural machinery*. 1997;2:22–24. (In Russ.)
13. Izvekov AS, Nikitin YuA. *Soil conservation agriculture on slopes*. Moscow: Kolos; 1983. (In Russ.)
14. Panagos Panos, Ballabio Cristiano, Himics Mihaly, et al. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy*. 2021;124:380–392. doi: 10.1016/j.envsci.2021.07.012
15. Panagos Panos, Borrelli Pasquale, Poesen Jean, et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015;54:438–447. doi: 10.1016/j.envsci.2015.08.012
16. Kalinin AB, Teplinsky IZ, Shpiganovich PM. Methods and means of managing moisture supply regimes in the technology of cultivating original potato seeds under global climate change. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;4:112–118. (In Russ.) doi: 10.28983/asj.y2023i4pp112-118
17. Kalinin A, Teplinsky I, Ustroeov A. Substantiation of tillage methods aimed at rational usage of water resources. In: *Engineering for Rural Development: Proceedings, Jelgava, 23–25 May 2018*. Jelgava: Latvia University of Agriculture; 2018;17:392–399. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N517
18. Postnikov NM, Belyaev EA, Kan MI. *Potato planters*. Moscow: Mashinostroenie, 1981. (In Russ.)
19. Kalinin AB, Ruzhev VA, Teplinsky IZ. *World trends and modern technical systems for potato cultivation: a textbook for master's students studying in the field of training 35.04.06 Agroengineering*. St. Petersburg: Prospect Nauki; 2016. (In Russ.)
20. Klenin NI, Kisilev SN, Levshin AG. *Agricultural machines*. Moscow: Kolos; 2008. (In Russ.)
21. Caracciolo C, Napoli M, Porcù F. Raindrop Size Distribution and Soil Erosion. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2012;38(5):461–469. doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000412
22. Kalinin AB, Teplinsky IZ, Kudryavtsev PP. Selection and justification of working bodies and the scheme of their placement on the section of a row-crop cultivator to minimize environmental risks in potato cultivation. *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2016;43:327–330. (In Russ.)
23. Patent RUS No. 169780 / 03.04.2017. Kalinin AB, Teplinsky IZ, Ustroeov AA, Kudryavtsev PP. Section of working bodies of a row-crop cultivator-ridge former. (In Russ.) EDN: KZQCEJ
24. Khalansky VM, Gorbachev IV. *Agricultural machines*. Moscow: KolosS; 2003. (In Russ.)
25. Konzett Matthias, Strauss Peter, Schmaltz Elmar M. The not-so-micro effects of in-furrow micro-dams and cover crops on water and sediment retention in potato fields. *Soil and Tillage Research*. 2024;235. doi: 10.1016/j.still.2023.105911

26. Nenciu F, Oprescu MR, Biris, S-S. Improve the Constructive Design of a Furrow Diking Rotor Aimed at Increasing Water Consumption Efficiency in Sunflower Farming Systems. *Agriculture*. 2022;12:846. doi: 10.3390/agriculture12060846
27. Matyashin YI, Grinchun IM, Egorov GM. *Calculation and design of rotary tillage machines*. Moscow: Agropromizdat; 1988. (In Russ.)
28. Cerdá A. Rainfall drop size distribution in the Western Mediterranean basin, València, Spain. *CATENA*. 1997;30(2–3):169–182. doi: 10.1016/S0341-8162(97)00019-2

29. Vaezi Ali Reza, Ahmadi Morvarid, Cerdà Artemi. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Science of The Total Environment*. 2017;583:382–392. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.078
30. Vinnikova NV, Polonsky AM, Danilchenko NV. *Mechanization and technology of irrigation of agricultural crops*. Moscow: Rosselkhozizdat; 1976. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Калинин Андрей Борисович,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе»;
адрес: Россия, 196601, Санкт-Петербург, Пушкин,
Петербургское ш., д. 2;
ORCID: 0000-0002-6301-5758;
eLibrary SPIN: 6759-2761;
e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Теплинский Игорь Зиновьевич,

канд. техн. наук,
профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе»;
ORCID: 0000-0003-4464-066X;
eLibrary SPIN: 5967-8078;
e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

Немцев Иван Сергеевич,

ассистент кафедры «Технические системы в агробизнесе»;
ORCID: 0000-0002-1786-2489;
eLibrary SPIN: 6776-1692;
e-mail: ivannemcev180997@gmail.com

AUTHORS' INFO

* Andrey B. Kalinin,

Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Technical Systems in Agribusiness Department;
address: 2 Peterburgskoe hwy, Pushkin, Saint Petersburg,
Russia, 196601;
ORCID: 0000-0002-6301-5758;
eLibrary SPIN: 6759-2761;
e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Igor Z. Teplinsky,

Cand. Sci. (Engineering),
Professor of the Technical Systems in Agribusiness Department;
ORCID: 0000-0003-4464-066X;
eLibrary SPIN: 5967-8078;
e-mail: teplinskij.igor.zinovevich@gmail.com

Ivan S. Nemtsev,

Assistant Professor of the Technical Systems in Agribusiness Department;
ORCID: 0000-0002-1786-2489;
eLibrary SPIN: 6776-1692;
e-mail: ivannemcev180997@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author