УДК 502/504:631.6.02 DOI 10.34677/1997-6011/2019-3-54-61

С.А. ВАСИЛЬЕВ, Н.И. ЗАТЫЛКОВ*
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ АКТИВНЫМ ШНЕКОВЫМ ОРУДИЕМ

Рассмотрена технология контурной обработки почвы склоновых земель почвообрабатывающим шнековым орудием, позволяющая существенно уменьшить смывание поверхностного плодородного слоя и в целом повысить объемы производства и качество продукции растениеводства. Предлагаемое активное шнековое орудие для противоэрозионной контурной обработки почвы склоновых земель обеспечивает воздействие только на поверхностный слой пахотных земель и образование самостоятельных бороздок, направление которых максимально приближено к изогипсам склона. Внимание уделено взаимодействию активного шнекового устройства с почвой на равнинных участках, простых склонах, а также на сложных формах с переменным градиентом склона. Установлены зависимости изменения ширины борозды, созданной на простом склоне; зависимости изменения угла отклонения вектора скорости витка шнека от продольного движения машинно-тракторного агрегата (МТА) и изменения фактической скорости движения витка при заданных конструктивно-технологических параметрах активного шнекового орудия. Анализ полученных зависимостей, выявил, что при углах наклона витка шнека 15…25 градусов изменение ширины борозды будет в пределах 4…13 см при заданной глубине обработки почвы от 2 см до 10 см, а ширина борозды – в пределах 5…16 см при диаметрах витка шнека от 20 см до 60 см. На сложном склоне изменение угла отклонения вектора скорости витка шнека от продольного движения МТА в зависимости от оборотов вращения шнека от 0 до 20 $с^{-1}$ составит 0…64 градуса, а изменение фактической скорости движения витка при тех же параметрах и скорости МТА, равной 2 м/с, составит от 2 до 4,5 м/с. Таким образом, при условии задания скорости вращения витков шнека с учетом известных данных по диаметру и шагу шнека, а также постоянной информации о скорости движения машинно-тракторного агрегата можно управлять направлением обработки почвы, что позволяет реализовать контурную обработку почвы склоновых земель мехатронными модулями шнековых устройств, обеспечивающими дополнительное и соответствующее движение рабочих органов.

Контурная обработка почвы, почвообрабатывающее шнековое орудие, мехатронный модуль, склоновые земли, направлением обработки почвы.

Введение. Основной целью любой сельскохозяйственной деятельности, связанной с выращиванием растений, является получение хорошего урожая сельскохозяйственных культур, высокая урожайность которых зависит от множества факторов: свойств почвы, оптимального выбора сортов растений, ухода за посевами, правильного применения технологий при возделывании культур и др.

Повысить плодородие почвы можно несколькими методами. Первый метод – наиболее распространённый и простой – внесение удобрений: дополнительные питательные вещества будут способствовать росту плодов и растений, нормализуют баланс микроэлементов в почве и увеличат сопротивляемость культур к переменчивым погодным условиям и различным заболеваниям. Второй метод – широкая мелиорация земель. Сюда входит осушение и орошение почв, их гипсование и известкование, укрепление сыпучих песков и др. Третий метод – проведение противоэрозионных мероприятий по борьбе с разрушением верхних слоев почвы [1]. Четвертый метод – применение передовых технологий и современной сельскохозяйственной техники в системе обработки почв: различные приемы позволят сохранить верхний слой почвы плодородным на более продолжительное время [2].

Следует признать, что раздельное применение перечисленных методов лишь частично решает проблему обеспечения высоких урожаев при сохранении плодородного слоя и характеризуется рядом

недостатков, например, внесение удобрений на склоновых землях подвержено смыву потоками воды, а также создает предпосылки для ухудшения экологической обстановки за счет попадания минеральных веществ в реки и иные водоемы [3, 4].

В средней полосе России наибольшее распространение получил четвертый метод, применяемый в сопряжении с третьим. В настоящее время установлено, что применение передовых технологий и современной сельскохозяйственной техники в системе обработки почв более применимо для пахотных земель, подверженных водной эрозии [5, 6].

Известны орудия и технологии для предотвращения водной эрозии пахотных земель, но они не позволяют достичь нужного эффекта, в связи с чем эрозионные процессы в Российской Федерации остаются одним из главных источников потерь ресурсов плодородия почвы и урожая. В настоящее время в России водной эрозии подвержены 17,8% площади сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни – 12,1%, ветровой эрозии – 8,4% и 5,3% соответственно [7].

При движении на склоновых землях традиционные почвообрабатывающие агрегаты оставляют после своего прохода продольные технологические борозды. Одним из требований противоэрозионной обработки почвы склоновых земель является перпендикулярное направление обработки почвы относительно направления склона. Фактически это требование не выполняется, поскольку большинство агроландшафтов расположено на склонах сложной формы, а обработка почвы выполняется пассивными почвообрабатывающими орудиями с постоянными геометрическими размерами [8, 9].

Необходимость дифференциации противоэрозионных мероприятий на одном агроландшафте понятна, поскольку на склоне возникает чрезвычайное разнообразие природных условий и его параметров: крутизны, экспозиции, формы и длины, а эффективность контурной обработки доказана в ряде работ [10, 11, 12]. С учетом полученных достоверных сведений о склоне должна выстраиваться противоэрозионная технология дифференцированной контурной обработки почвы для каждого конкретного агроландшафта, реализация которой может быть обеспечена применением мехатронных модулей с инновационными рабочими органами [13, 14, 15], в связи с чем тема исследования контурной обработки почвы на агроландшафтах склоновых земель активным шнековым орудием является актуальной. Целью работы является определение конструктивно-технологических параметров активного шнекового орудия для обработки почвы с целью сокращения эрозионных процессов и сохранения плодородия почвы для возделывания сельскохозяйственных культур на агроландшафтах склоновых земель.

Материалы и методы. Рассмотрим взаимодействие активного шнекового устройства с почвой (рис. 1). В первом случае обратим внимание на обработку почвы равнинных участков и простых склонов, где градиент склона является постоянной величиной, во втором случае – обработку почвы активным шнековым устройством сложных склоновых земель с переменным градиентом склона.

В первом случае, при воздействии на почву шнековым устройством без привода, т.е. без вращения (n=0), подстилающая поверхность будет образована продольными бороздами после прохода машинно-тракторного агрегата (далее – МТА). Размеры продольных борозд в виде ширины b и шага S будут зависеть только от геометрических размеров шнекового устройства.

Для определения размеров хорды витка шнека борозд по границе взаимодействия с почвой представим уравнение с искомыми параметрами согласно схемы на рисунке 1

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - \right)^2 = \left(\frac{}{2}\right)^2, \qquad (1)$$

где D – диаметр витка шнека, м; h – глубина обработки почвы, м; Δ – размер хорды витка шнека по границе взаимодействия с почвой, м.

Преобразовав выражение (1), получим следующий его вид

$$\Delta = 2\sqrt{Dh - h^2}. \qquad (2)$$

Для определения размера борозды по границе взаимодействия с почвой используем тригонометрическое уравнение

$$tg\beta = \frac{b}{\Delta}, \qquad (3)$$

где β – угол наклона витка шнека, град; b – ширина борозды, м.

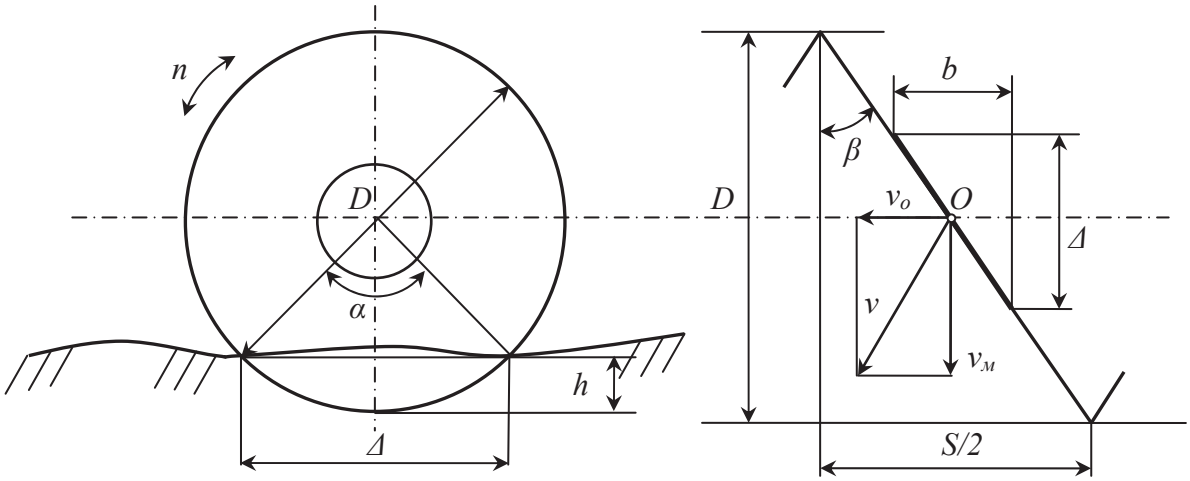
Откуда определим ширину борозды

$$b = \Delta tg\beta. \qquad (4)$$

Подставляя выражение (2) в уравнение (4), получим формулу с основными параметрами борозды и шнекового устройства

$$b = 2tg\beta\sqrt{Dh - h^2}. \quad (5)$$

Во втором варианте при воздействии на почву активным шнековым устройством с вращением ($n > 0$) от привода трактора подстилающая поверхность будет образована бороздами определенной кривизны после прохода МТА. Размеры борозд будут зависеть не только от геометрических размеров шнекового устройства, но и от направления вращения и количества оборотов витков шнека.



а) б)

Рис. 1. **Расчетная схема взаимодействия активного шнекового устройства с почвой:** а) вид сбоку; б) вид сверху

Рассмотрим направление движения точки O, расположенной на витке шнека (рис. 1), пренебрегая продольной составляющей скорости витка шнека, получим векторное уравнение скорости

$$\vec{v} = \vec{v}_o + \vec{v}_м, \quad (6)$$

где $\vec{v}$ – вектор фактической скорости витка шнека, м/с; $\vec{v}_o$ – вектор осевой скорости витка шнека, м/с; $\vec{v}_м$ – вектор скорости движения машинно-тракторного агрегата, м/с.

Осевая скорость витка шнека может быть определена по выражению

$$v_o = Sn, \quad (7)$$

где S – шаг витков, м; n – количество оборотов, с$^{-1}$.

Тогда выражение в векторной форме (6) перепишется в аналитическом виде следующим образом

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_м^2} \quad (8)$$

или

$$v = \sqrt{S^2 n^2 + v_м^2}. \quad (9)$$

Направление вектора фактической скорости v можно определить по выражению

$$tg\gamma = \frac{v_o}{v_м}. \quad (10)$$

или

$$tg\gamma = \frac{Sn}{v_м}. \quad (11)$$

где γ – угол отклонения вектора фактической скорости витка шнека от вектора скорости продольного движения МТА, град.

Результаты. По полученному выражению (5) построим зависимость изменения ширины борозды b от угла β при заданной глубине обработки почвы h на рисунке 2 и зависимость изменения ширины борозды b от угла β при заданном диаметре витка шнека D на рисунке 3.

Известно, что шнековые устройства, взаимодействующие с почвогрунтом, имеют угол наклона витка шнека, равный 15…25 градусам [16]. Из рисунка 2 видно, что при таких значениях угла наклона витка шнека изменение ширины борозды будет

в пределах 4…13 см при заданной глубине обработки почвы от 2 см до 10 см, а из графика рисунка 3 этим углам наклона витка шнека будет соответствовать ширина борозды в пределах 5…16 см при заданных диаметрах витка шнека от 20 см до 60 см.

По выражению (9) построим график зависимости изменения фактической скорости витка шнека υ от оборотов шнека при заданных шагах витков шнека S (рисунок 4), а по выражению (11) – график зависимости изменения угла отклонения вектора скорости витка шнека γ относительно продольного движения МТА от оборотов шнека при заданных шагах витков шнека S (рис. 5).

По графику изменения угла отклонения вектора скорости витка шнека относительно продольного движения МТА от оборотов вращения шнека от 0 до 20 $с^{-1}$ при заданном шаге витков видно, что этот угол меняется с 0 до 64 градусов. В тоже время при тех же параметрах изменение фактической скорости движения витка при скорости МТА, равной 2 м/с, составило от 2 до 4,5 м/с.

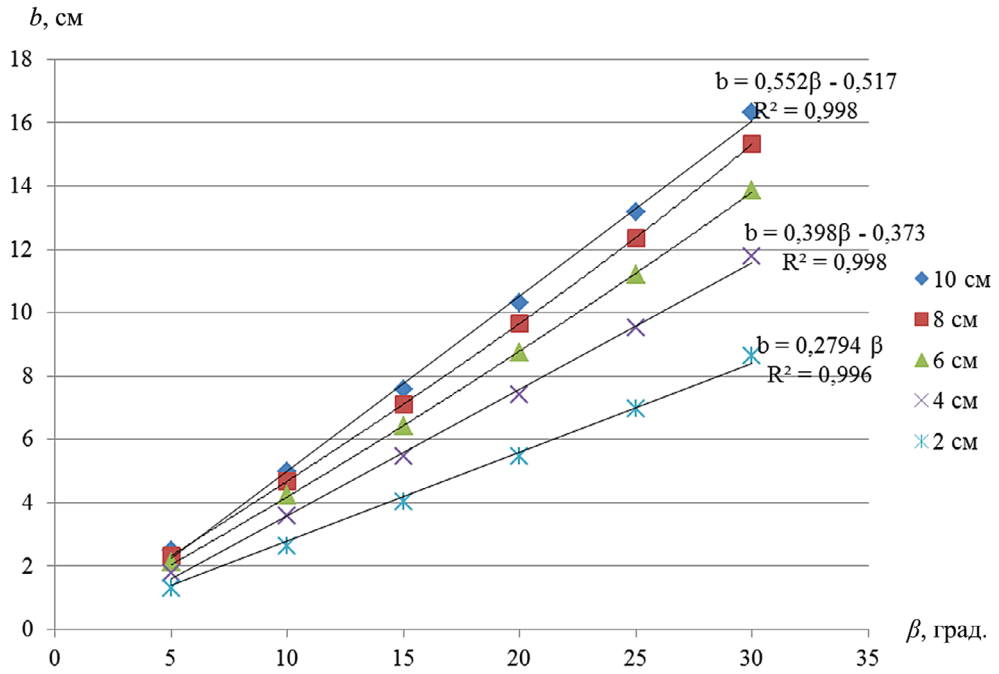


Рис. 2. **Зависимость изменения ширины борозды *b* от угла *β* при заданной глубине обработки почвы *h***

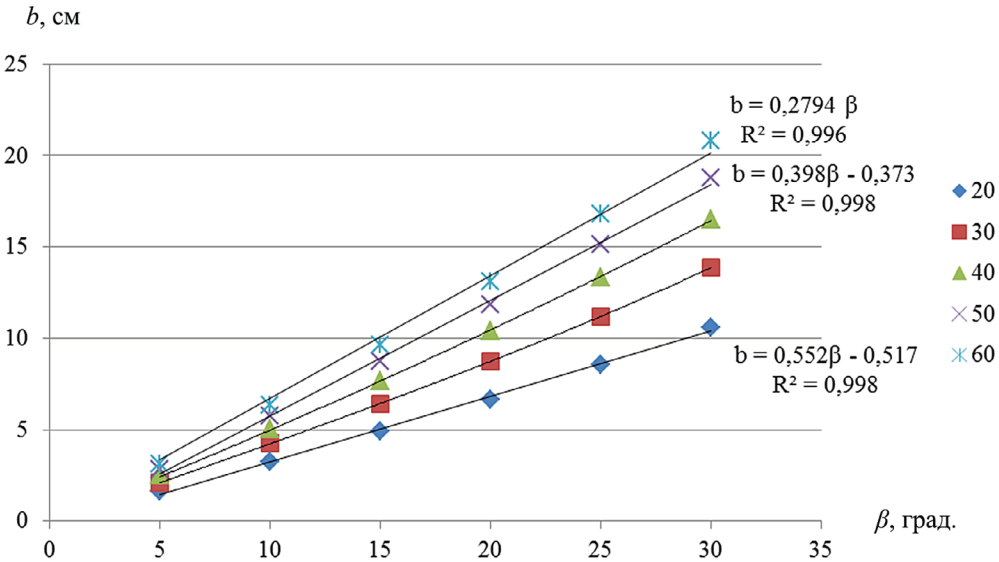


Рис. 3. **Зависимость изменения ширины борозды *b* от угла *β* при заданном диаметре витка шнека *D*, [см]**

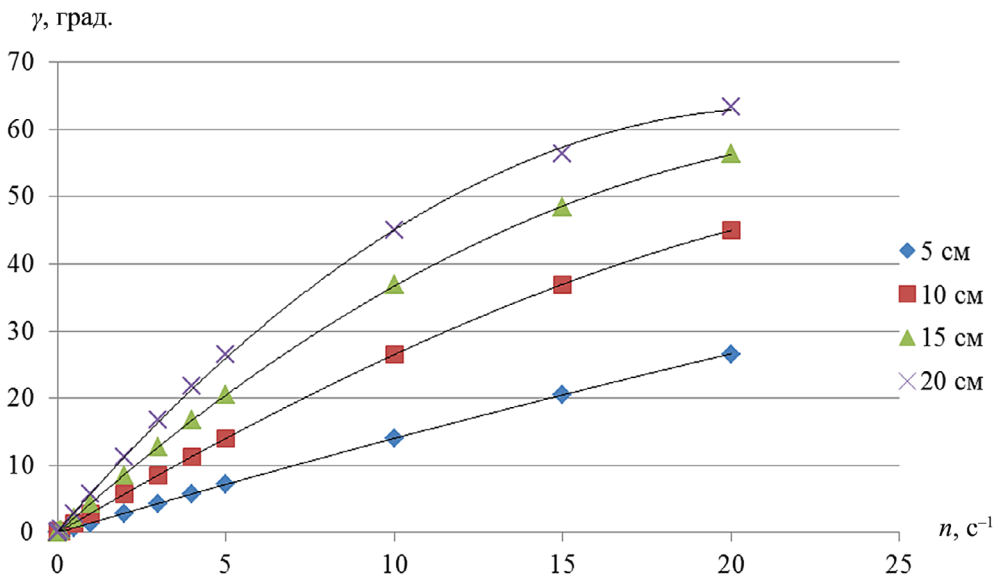


Рис. 4. **Зависимость изменения угла отклонения вектора скорости витка шнека относительно продольного движения МТА от оборотов вращения шнека при заданном шаге витков шнека**

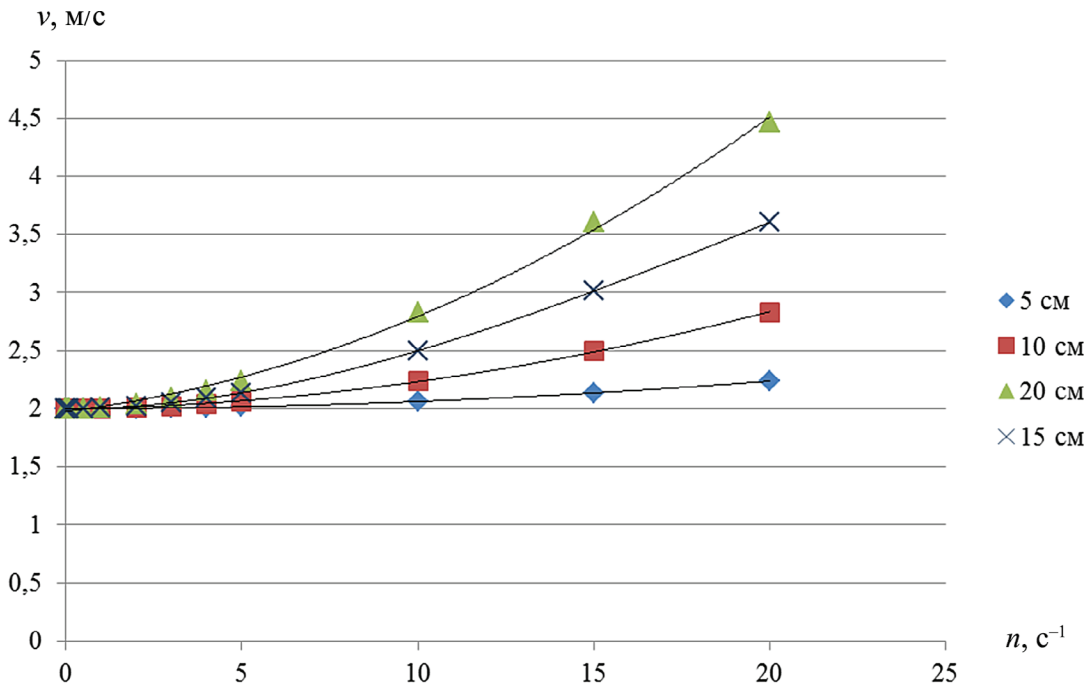


Рис. 5. **Зависимость изменения фактической скорости движения витка от оборотов вращения шнека при заданном шаге витков шнека и скорости МТА равного 2 м/с**

Вывод

Таким образом, при условии задания скорости вращения витков шнека с учетом известных их данных по диаметру и шагу, а также постоянной информации о скорости движения машинно-тракторного агрегата можно управлять направлением обработки почвы. Это позволяет реализовать контурную обработку почвы склоновых земель мехатронными модулями шнековых устройств, обеспечивающими дополнительное и соответствующее движение рабочих органов. Количество оборотов витка шнека может быть задано через привод трактора по получаемой информации согласно цифровой модели рельефа. Цифровая модель рельефа формируется через топографические карты, по данным спутниковых снимков или с помощью беспилотных летательных аппаратов. Размеры криволинейных борозд будут зависеть не только от геометрических размеров шнекового

устройства, но и от направления вращения и количества оборотов витков шнека. Теоретические исследования в этом направлении будут продолжены, поскольку потребуется сопровождение и подтверждение полученных данных результатами лабораторных и полевых экспериментов.

**** Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ № 18-416-210001 р_а***

Библиографический список

1. **Беляев В.А.** Борьба с водной эрозией почв в нечерноземной зоне. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 158 с.

2. Энергетическая оценка механического воздействия на почву почвообрабатывающих машин и орудий. / В.В. Алексеев И.И. Максимов В.И. Максимов И.В. Сякаев. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2012. – № 3 (28). – С. 70-72.

3. **Заславский М.Н.** Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия: учеб. для геогр. и почв. спец. Вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с., ил.

4. **Кузнецов М.С.** Противоэрозионная стойкость почв. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 135 с.

5. **Борисенко И.Б.** Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / Борисенко Иван Борисович. – Волгоград, 2006. – 402 с.

6. Мелиорация земель. Учебник для ВУЗа. / под ред. А.И. Голованова. – М.: КолосС, 2011. – 824 с.: ил.

7. **Максимов И.И., Максимов В.И.** Энергетическая концепция эрозионной устойчивости антропогенных агроландшафтов. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2006. – 304 с.

8. **Васильев С.А.** Особенности применения противоэрозионных мелиоративных мероприятий на различных по форме склоновых агроландшафтах. // Природообустройство. – 2016. – № 4. – С. 86-92.

9. **Васильев С.А., Васильев А.А., Затылков Н.И.** Противоэрозионная контурная обработка почвы машинно-тракторными агрегатами на агроландшафтах склоновых земель. // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 5 (84). – С. 43-54.

10. **Бастраков Г.В.** Эрозионная прочность почвенного покрова и оценка противоэрозионной устойчивости территории. / В сб. Современные аспекты изучения эрозионных процессов. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 33-39.

11. **Будник С.В.** Гидравлическое сопротивление в склоновых водотоках. // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2004. – № 4. – С. 44-48.

12. Метод определения направления движения водного потока на агроландшафте склоновых земель. / С.А. Васильев И.И. Максимов Е.П. Алексеев А.Н. Михайлов. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12. № 4. – С. 72-77.

13. **Алексеев В.В., Максимов И.И., Мишин П.В.** Получение функциональной зависимости для коэффициента трения в почвах. // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 5 (84). – С. 34-43.

14. **Васильев С.А., Максимов И.И., Алексеев В.В.** Методика и устройство для профилирования поверхности почвы и определения направления стока атмосферных осадков в полевых условиях. // Вестник АПК Ставрополья. – 2015. – № 3(19). – С. 22-26.

15. **Васильев С.А., Максимов И.И., Алексеев В.В.** Определение эквивалентной шероховатости стокоформирующей поверхности для оценки противоэрозионных мероприятий на склоновых землях. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 32-34.

16. **Карасева С.А.** Расчет основных параметров движителя шнекороторной амфибии. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2014. – № (2(2):18. https://docplayer.ru/39791497-Transportnaya-tehnika-udk-s-a-karaseva-studentka-madi-tel-7-909.html

Материал поступил в редакцию 18.03.2019 г.

Сведения об авторах

Васильев Сергей Анатольевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте»; ГБОУ ВО Нижегородский ГИЭУ (Княгининский университет), 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22 А., vsa_21@mail.ru

Затылков Николай Иванович, соискатель, преподаватель кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте», ГБОУ ВО Нижегородский ГИЭУ (Княгининский университет); 606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22 А., nzatylkov@mail.ru

S.A. VASILJEV, N.I. ZATYLKOV
State budgetary educational institution of higher education «Nizhegorodsky state engineering-economic university», town Knyaginino, Nizhegorodskaya area, Russian Federation

THEORETICAL PREREQUISITES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE CONTOUR TILLING OF SLOPE LANDS BY ACTIVE AUGER IMPLEMENT

The technology of contour soil tilling of sloping lands by a tilling auger implement which allows significantly reducing the flushing of the surface fertile layer and, on the whole, increasing production volumes and the quality of crop produce is considered. The proposed active auger implement for the anti-erosion contour tillage of sloping lands provides an impact only on the surface layer of arable lands and formation of independent furrows the direction of which is as close as possible to the slope isohypses. The attention is paid to the interaction of the active auger implement with the soil on flat areas, simple slopes as well as on complex forms with a variable gradient of the slope. There are established dependences of the furrow width change created on a simple slope; dependences of the change in the deviation angle of the auger speed vector from the longitudinal movement of the machine and tractor unit (MTU) and the change of the actual speed of the loop movement for a given design-technological parameters of the active auger tool are established too. The analysis of the obtained dependencies revealed that at the angles of the slope loop 15…25 degrees the furrow width changes will be within 4…13 cm for a given tillage depth from 2 cm to 10 cm, and the furrow width – within 5…16 cm at a auger loop diameter from 20 to 60 cm. On a difficult slope the change of the vector deviation angle of the auger revolution speed from the longitudinal movement of the MTU, depending on the auger revolution speed from 0 to 20 s^{-1}, will be 0…64 degrees, and the change in the actual speed of the loop movement at the same parameters and MTU speed equal to 2 m / s will be from 2 to 4.5 m / s.Thus, under the condition of setting the speed of auger turns rotation taking into account the known data on the diameter and pitch of the auger as well as constant information about the movement speed of the machine and tractor unit, you can control the direction of soil tillage which allows you to implement a contour tillage of sloping lands by mechatronic modules of auger devices providing an additional and proper movement of the operating elements.

Contour tilling, tillage auger implement, mechatronic module, slope lands, direction of soil tillage.

References

1. **Belyaev V.A.** Borjba s vodnoj eroziej pochv v nechernozemnoj zone. – M.: Rosseljhozizdat, 1976. – 158 s.

2. Energeticheskaya otsenka mehanicheskogo vozdejstviya na pochvu pochvoobrabatyvayushchih mashin i orudij. / V.V. Alekseev I.I. Maximov V.I. Maximov I.V. Syakaev. // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2012. – № 3 (28). – S. 70-72.

3. **Zaslavsky M.N.** Erosiovedenie. Osnovy protivoerozionnogo zemledeliya: ucheb. dlya geogr. i pochv. spets. vuzov. – M.: Vysshaya shkola, 1987. – 376 s., ilл.

4. **Kuznetsov M.S.** Protivoerozionnaya stojkost pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1981. – 135 s.

5. **Borisenko I.B.** Sovershenstvovanie resursosberegayushchih i pochvo-zashchitnyh tehnologij i tehnicheskih sredstv obrabotki pochvy v ostrozasushlivyh usloviyah Nizhnego Povolzya: dis. d-ra tehn. nauk: 05.20.01 / Borisenko Ivan Borisovich. – Volgograd, 2006. – 402 s.

6. Melioratsiya zemel. Uchebnik dlya VUZa. Pod red. A.I. Golovanova. – M.: KolosS, 2011. – 824 s.: il.

7. **Maximov I.I., Maximov V.I.** Energeticheskaya kontseptsiya erozionnoj ustoichivosti antropogennyh agrolandshaftov. – Cheboksary: Chuvashskaya GSHA, 2006. – 304 s.

8. **Vasiljev S.A.** Osobennosti primeneniya protivoerozionnyh meliorativnyh meropriyatij na razlichnyh po forme sklonovyh agrolandshaftah. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 4. – S. 86-92.

9. **Vasiljev S.A., Vasiljev A.A., Zatylkov N.I.** Protivoerozionnaya konturnaya obrabotka pochvy mashinno-traktornymi agregatami na agrolandshaftah sklonovyh zemel. // Vestnik NGIEI. – 2018. – № 5 (84). – S. 43-54.

10. **Bastrakov G.V.** Erozionnaya prochnost pochvennogo pokrova i otsenka protivoerozionnoj ustoichivosti territorii. / V sb. Sovremennye aspekty izucheniya erozionnyh protsessov. – Novosibirsk: Nauka, 1980. – S. 33-39.

11. **Budnik S.V.** Gidravlicheskoe soprotivlenie v sklonovyh vodotokah. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. – 2004. – № 4. – S. 44-48.

12. Metod opredeleniya napravleniya dvizheniya vodnogo potoka na agrolandshafte sklonovyh zemel. / S.A. Vasiljev I.I. Maximov E.P. Alexeev A.N. Mohailov. // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – T. 12. № 4. – S. 72-77.

13. **Alexeev V.V., Maximov I.I., Mishin P.V.** Poluchenie funktsionalnoj zavisimosti dlya koeffitsienta treniya v pochvah. // Vestnik NGIEI. – 2018. – № 5 (84). – S. 34-43.

14. **Vasiljev S.A., Maximov I.I., Alexeev V.V.** Metodika i ustrojstvo dlya profilirovaniya poverhnosti pochvy i opredeleniya napravleniya stoka atmosfernyh osadkov v polevyh usloviyah. // Vestnik APK Stavropolya. – 2015. – № 3(19). – S. 22-26.

15. **Vasiljev S.A., Maximov I.I., Alexeev V.V.** Opredelenie ekvivalentnoj sherohovatosti stokoformiruyushchej poverhnosti dlya otsenki protivoerozionnyh meropriyatij na sklonovyh zemlyah. // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 2014. – № 4. – S. 32-34.

16. **Karaseva S.A.** Raschet osnovnyh parametrov dvizhitelya shnekorotornoj amfibii. // Avtomobil. Doroga. Infrastruktura. – 2014. – № (2(2):18. https://docplayer.ru/39791497-Transportnaya-tehnika-udk-s-a-karaseva-studentka-madi-tel-7-909.html

The material was received at the editorial office 18.03.2019 g.

Information about the authors

Vasiljev Sergej Anatoljevich, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department Technical maintenance, organization of transportation and management on the transport; SBEI HE Nizhegorodsky SEEU (Knyagininsky university); 606340, Nizhegorodskaya area, town Knyaginino, ul. Oktyabrskaya, d. 22 A, vsa_21@mail.ru

Zatylkov Nikolaj Ivanovich, contender, lecturer of the department Technical maintenance, organization of transportation and management on the transport; SBEI HE Nizhegorodsky SEEU (Knyagininsky university); 606340, Nizhegorodskaya area, town Knyaginino, ul. Oktyabrskaya, d. 22 A, nzatylkov@mail.ru