

Выводы и рекомендации

1. Расчетным методом определено, что мощность двигателя привода механизма передвижения тележек дождевальной установки должна быть $\geq 0,5$ кВт.
2. Число оборотов двигателя должно быть в пределах 993 об/мин.
3. Для равномерного движения тележек установки необходимо, чтобы работа движущих сил была равна работе сил сопротивления.
4. Для надежного выполнения работы по перемещению исполнительных тележек дождевальной установки из ряда предлагаемых мотор-редукторов отобран одноступенчатый червячный мотор-редуктор серии 7МЧ-М60.
5. Расчетные данные позволяют обеспечить уверенность надежности работы привода тележек на стадии проектирования конструкции установки автоматизированного микроождения кассетной рассады в теплицах.
6. Автоматизированное устройство микроождения в теплице позволяет повысить процесс механизации выращивания рассады, сократить до минимума использование ручного труда и привести к снижению себестоимости продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые возможности для тепличной отрасли // Сельскохозяйственные вести. 2025. № 2. С. 50–52.
 2. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Коломеец А.В. Актуальность развития тепличного комплекса // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1. С. 62–66.
 3. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. Мн.: Высш. шк., 1983. 350 с.
 4. Курсовое проектирование грузоподъемных машин: учеб. пособие для студентов машиностр. спец. вузов / С.А. Казак, В.Е. Дусье, Е.С. Кузнецов и др.; под ред. С.А. Казака. М.: Высш. шк., 1989. 319 с.

5. Карнаух С.Г. Расчеты механических передач: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Краматорск: ДГМА, 2016. 253 с.
 6. Каржавин В.В., Каменских С.Ф., Душанин И.В. Расчет крановых механизмов. Курсовой проект: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2017. 115 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elar.rsvpu.ru/978-5-8050-0634-1>.

REFERENCES

1. New opportunities for the greenhouse industry // Agricultural News. 2025. No. 2. Pp. 50–52.
 2. Grushin A.V., Gzhibovsky S.A., Kolomeets A.V. The relevance of the development of the greenhouse complex // Bulletin of Land Reclamation Science. 2024. No. 1. Pp. 62–66.
 3. Kuzmin A.V., Maron F.L. Handbook on the Calculation of Lifting and Transport Machine Mechanisms. 2nd ed., revised and expanded. Minsk: Vysshaya Shkola, 1983. 350 p.
 4. Course design of lifting machines: Textbook. A manual for students of mathematics. special universities / S.A. Kazak, V.E. Dusier, E.S. Kuznetsov and others; ed. by S.A. Kazak. M.: Higher School, 1989. 319 p.
 5. Karnaukh S.G. Mechanical Transmission Calculations: A Textbook for Coursework and Diploma Projects. Kramatorsk: DGLA, 2016. 253 p.
 6. Karzhavin V.V., S Kamenskikh F., Dushanin I.V. Calculation of crane mechanisms. Course project: textbook. Yekaterinburg: Publishing House of Russian State Prof.-ped. University, 2017. 115 p. [Electronic resource]. URL: <http://elar.rsvpu.ru/978-5-8050-0634-1>.

Грушин Алексей Владимирович, ст. науч. сотрудник отдела техники и технологии микроорошения, gav.vniiraduga@yandex.ru, AuthorID: 914880; **Гжибовский Сергей Александрович**, ст. науч. сотрудник отдела техники и технологии микроорошения, gsa@vniiraduga.ru, SPIN-код: 4219-9236, AuthorID: 549400, Orcid: 0000-0001-6742-2417; **Коломеец Анастасия Валерьевна**, мл. науч. сотрудник отдела техники и технологии микроорошения, kolomeecz.n@bk.ru, SPIN-код: 1610-2385, AuthorID: 1046655 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Россия, Московская обл., п. Радужный).

УДК 631.459

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-5-22-24

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, Т.Г. СТЕПАНОВА

Ключевые слова: эрозия, почвы, мониторинг.

Keywords: erosion, soil, monitoring.

Аннотация. В статье рассматривается проблема учета факторов эрозии почвы в моделях, основанных на уравнении универсального потерь почвы. Предлагаемый обзор может быть применен для оценки эрозии почв на мелиорируемых землях.

Abstract. The problem of considering soil erosion factors in models based on the universal soil loss equation is considered in the article. The proposed survey can be applied to assess soil erosion on reclaimed land.

Введение. Эрозия почвы — одна из самых значительных экологических проблем в мире [1]. Вопросам количественной оценки интенсивности почвенной эрозии, а также ее пространственного развития с использованием эрозионного моделирования в пределах объектов разного уровня генерализации — от малого водосбора до континента — уделяется большое внимание [2, 3]. Моделирование процесса водной эро-

зии почвенного покрова является сложной многофакторной задачей. Одной из важнейших задач эрозионных исследований выступает также оценка эрозионной опасности почв [4]. Интенсивность водной эрозии оценивается величиной потенциального смыва, под которым понимается количественная характеристика потерь почвы в тоннах на гектар в условиях чистого пара за год (или другой период). Для оценки используются различные зависимости. Эрозию от стока дождевых и талых вод в практике научных исследований принято оценивать отдельно.

Широкое распространение получили универсальное уравнение потери почвы (USLE) [5, 6] и его аналог, например, пересмотренное универсальное уравнение потери почвы (RUSLE) [7] и «китайское» уравнение потери почвы (CSLE) [8]. Необходимо отметить,

что моделирование как метод исследования широко применяется в эрозиоведении [9].

Широкое распространение в практике оценки потерь почвы от эрозии получили методики с использованием геоинформационных систем. Несомненным их преимуществом является возможность использовать большой массив атрибутивной информации, ее автоматической обработки для территорий разной площади. В тоже время отсутствие унифицированных подходов затрудняет сравнение результатов разных авторов.

Отсутствием достаточных достоверных данных наблюдений за эрозией почв на пашне также препятствует верификации результатов геоинформационного моделирования. Проблема особенно остро стоит в последние годы в связи с отсутствием непрерывных данных о реальном смыве почв пашни от талых и дождевых вод. Пробелы в рядах наблюдений за смывом почвы и стоком на стоковых площадках приводят к тому, что обширные территории страны становятся гидрологически неизученными для современных природных условий.

Материалы и методы исследований. Для научно-технического поиска по проблематике статьи использовались базы данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), Google Scholar, Scopus и фонды научно-технической библиотеки ФГБНУ ВНИИ «Радуга», отвечающих цели настоящей работы. Глубина поиска составила 46 лет (1978–2024 гг.).

Результаты и обсуждение. Суммарный потенциальный годовой смыв почвы A :

$$A = A_d + A_c,$$

где A_d и A_c – потери почвы соответственно от стока дождевых и талых вод, т/га в год.

Потери почвы от стока талых вод [10]:

$$A_c = f(\Pi, h, L, i, C),$$

где Π – смываемость почвы; h – средний слой стока за период снеготаяния, мм; L – длина склона, м; i – уклон склона, тангенс угла наклона; C – почвозащитный коэффициент растительности и севооборота.

Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы от стока дождевых вод RUSLE имеет вид:

$$A_d = RKLSCP,$$

где A_d – среднееголетние потери почвы с единицы площади; R – среднееголетнее значение фактора эродирующей способности дождей; K – фактор эродируемости почвы; L и S – безразмерные факторы геометрии склона (соответственно длины и уклона); C – фактор растительности и севооборота (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1); P – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий (безразмерный, изменяющийся от 0 до 1).

Необходимо отметить, что применение эмпирических зависимостей ограничено тем, что для их разработки требуется большое количество данных наблюдений. Об этой проблеме почвоведения также указано в исследовании [11].

В рассмотренных выше зависимостях влияние рельефа на интенсивность эрозии почвы оценивается с помощью безразмерного топографического фактора LS . Этот параметр учитывает влияние длины склона L и его градиент (уклон) S . Использование этого пара-

метра в разные годы описано во многих работах, например, в [12, 13]. Взаимное влияние длины и уклона склона выражают единым топографическим фактором LS , который согласно ГОСТ 17.4.4.03–86 вычисляют по формуле:

$$LS = L^{0,5}(0,0011S^2 + 0,0078 + 0,0111).$$

В зарубежной литературе наиболее часто встречается зависимость:

$$LS = (n + 1)(A_s / 22,13)^n (\sin \beta / 0,0896)^m,$$

где n и m – эмпирические коэффициенты, равные соответственно 0,4 и 1,3; A_s – площадь территории водосбора; β – угол уклона поверхности склона.

Эрозионный потенциал дождевых осадков (фактор эродирующей способности дождей или R -фактор) определяется как сумма эрозионной активности отдельных дождей, выпавших за определенный период времени (месяц, год). В моделях USLE/RUSLE R -фактор оценивается как произведение кинетической энергии дождя E и его максимальной 30-минутной интенсивности I_{30} [14]:

$$R = \sum(EI_{30}).$$

В России применение уравнений USLE/RUSLE ограничено из-за отсутствия этих данных о распределении ливневых осадков по территории страны. На практике исследователи используют различные зависимости для вычисления R -фактора осадков максимальной 30-минутной интенсивности (R_{30}), например в [15, 16] указана зависимость:

$$R_{30} = 3,19e^{0,006O},$$

где O – среднееголетняя сумма слоя суточных осадков более 10 мм в теплое время года (теплое время года определяется по моменту времени, когда среднесуточная температура воздуха выше 0 °С).

Фактор эродируемости почвы K зависит от гранулометрического состава почвы и содержания органического вещества [17]. Фактор эффективности противоэрозионных мероприятий P оценивают по ГОСТ 17.4.4.03–86.

Фактор растительности и севооборота C может быть рассчитан на основе данных дистанционного зондирования Земли или по известным данным о выращиваемой культуре. Разные авторы предлагают разные методы оценки этого параметра. Например, в [18, 19] предлагаются значения C : пшеница – 0,2, кукуруза – 0,38, соя – 0,32, овощи – 0,25 и др.

Заключение. В связи с отсутствием достаточных достоверных данных наблюдений за эрозией почв на пашне геоинформационное моделирование является удобным инструментом оперативного мониторинга эрозии. Несмотря на сложность в верификации модельных данных с натурными, результаты геоинформационного моделирования могут являться важным маркером необходимости обследования почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lal P., Pimentel D. Soil erosion: A carbon sink or source? // Science. 2008. Vol. 319 (5866). P. 1040–1041.
2. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской части России // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104. EDN CCRHJE.

3. Karydas C.G., Panagos P., Gitas I.Z. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics // *Int. J. Digital Earth*. 2014. № 3(7). P. 229–250. DOI: 10.1080/17538947.2012.671380.
4. Лазовик Г.С., Топаз А.А. Оценка эрозионной опасности почвы ее картографирование с использованием ГИС-технологий // *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2021. № 2. С 18–31. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-18-31
5. Gaatib R., Larabi A. Integrated Evaluation of Soil Erosion Hazard and Risk Management in the Oued Beht Watershed Using Remote Sensing and GIS Techniques: Impacts on El Kansra Dam Siltation (Morocco) // *Journal of Geographic Information System*. 2024. Vol. 6. P. 677–689. DOI: 10.4236/jgis.2014.66056.
6. Telles T.S., Fatima M., Dechen S.C.F. The costs of soil erosion // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011. Vol. 35(2). P. 287–298. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200001.
7. An integrated modeling approach for estimating monthly global rainfall erosivity / Fenta A.A., Tsunekawa A., Haregeweyn N. [et al.] // *Sci Rep*. 2024. Vol. 14, 8167. DOI: 10.1038/s41598-024-59019-1.
8. Liu B.Y., Guo S.Y., Li Z.G. Water erosion sampling survey in China // *Soil and Water Conservation in China*. 2013. Vol. 10. P. 26–34.
9. Зверьков М.С. Картографирование территории по LS-фактору эрозии с использованием геоинформационной системы и цифровой модели рельефа // *Экология и строительство*. 2024. № 4. С. 30–37. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-004.
10. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской части России // *Почвоведение*. 2019. № 12. С. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104.
11. Сухановский Ю.П. Модель дождевой эрозии почв // *Почвоведение*. 2010. № 9. С. 1114–1125.
12. Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes / Liu H. Fohrer N. [et al.] // *Catena*. 2009. DOI: 10.1016/j.catena.2009.02.001.
13. Schmidt S., Tresch S., Meusburger K. Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands // *MethodsX*. 2019. DOI: 10.1016/j.mex.2019.01.004.
14. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // *Agricultural handbook*. 1978. № 537. 65 p.
15. Канатьева Н.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф. Современные изменения климатических факторов эрозии в Северном Приволжье // *Эрозия почв и русловые процессы*. 2010. № 17. С. 14–28.
16. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D. et al. Review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a View to Increasing Its Global Applicability and Improving Soil Loss Estimates // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2018. № 22.
17. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D. et al. Review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a View to Increasing Its Global Applicability and Improving Soil Loss Estimates // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2018. № 22.
18. Цыпленков А.С., Кукулина Л.В. Пространственно-временная изменчивость водной эрозии почв на территории Крымского полуострова // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2024. № 3. С. 125–138.
19. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale / Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. // *Land Use Policy*. 2015, Vol. 48, P. 38–50. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.021.
3. Karydas C.G., Panagos P., Gitas I.Z. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics // *Int. J. Digital Earth*. 2014. № 3(7). P. 229–250. DOI: 10.1080/17538947.2012.671380.
4. Lazovik G.S., Topaz A.A. Otsenka erozionnoi opasnosti pochvi ee kartografirovaniye s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii // *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya*. 2021. № 2. P. 18–31. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-2-18-31.
5. Gaatib R., Larabi A. Integrated Evaluation of Soil Erosion Hazard and Risk Management in the Oued Beht Watershed Using Remote Sensing and GIS Techniques: Impacts on El Kansra Dam Siltation (Morocco) // *Journal of Geographic Information System*. 2024. Vol. 6. P. 677–689. DOI: 10.4236/jgis.2014.66056.
6. Telles T.S., Fatima M., Dechen S.C.F. The costs of soil erosion // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011. Vol. 35(2). P. 287–298. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200001.
7. An integrated modeling approach for estimating monthly global rainfall erosivity / Fenta A.A., Tsunekawa A., Haregeweyn N. [et al.] // *Sci Rep*. 2024. Vol. 14, 8167. DOI: 10.1038/s41598-024-59019-1.
8. Liu B.Y., Guo S.Y., Li Z.G. Water erosion sampling survey in China // *Soil and Water Conservation in China*. 2013. Vol. 10. P. 26–34.
9. Zver'kov M.S. Kartografirovaniye territorii po LS-faktoru erozii s ispol'zovaniem geoinformatsionnoi sistemy i tsifrovoi modeli rel'efa // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2024. № 4. S. 30–37. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-004.
10. Mal'tsev K.A., Ermolaev O.P. Potentsial'nye erozionnyye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh evropeiskoi chasti Rossii // *Pochvovedenie*. 2019. № 12. S. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104.
11. Sukhanovskii Yu.P. Model' dozhdevoi erozii pochv // *Pochvovedenie*. 2010. № 9. S. 1114–1125.
12. Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes / Liu H. Fohrer N. [et al.] // *Catena*. 2009. DOI: 10.1016/j.catena.2009.02.001.
13. Schmidt S., Tresch S., Meusburger K. Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands // *MethodsX*. 2019. DOI: 10.1016/j.mex.2019.01.004.
14. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // *Agricultural handbook*. 1978. № 537. 65 p.
15. Kanat'eva N.P., Krasnov S.F., Litvin L.F. Sovremennyye izmeneniya klimaticheskikh faktorov erozii v Severnom Privolzh'e // *Eroziya pochv i ruslovye protsessy*. 2010. № 17. S. 14–28.
16. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D. et al. Review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a View to Increasing Its Global Applicability and Improving Soil Loss Estimates // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2018. № 22.
17. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D. et al. Review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a View to Increasing Its Global Applicability and Improving Soil Loss Estimates // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2018. № 22.
18. Tsyplenkov A.S., Kuksina L.V. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' vodnoi erozii pochv na territorii Krymskogo poluostrova // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2024. № 3. S. 125–138.
19. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale / Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. // *Land Use Policy*. 2015, Vol. 48, P. 38–50. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.05.021.

REFERENCES

1. Lal P., Pimentel D. Soil erosion: A carbon sink or source? // *Science*. 2008. Vol. 319 (5866). P. 1040–1041.
2. Mal'tsev K.A., Ermolaev O.P. Potentsial'nye erozionnyye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh evropeiskoi chasti Rossii // *Pochvovedenie*. 2019. № 12. S. 1502–1512. DOI: 10.1134/S0032180X19120104. EDN CCRHJE.

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Россия, Московская обл., п. Радужный).