

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЗМА ПРИВОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ РАССАДНЫХ ТЕПЛИЦ

А.В. ГРУШИН, С.А. ГЖИБОВСКИЙ, А.В. КОЛОМЕЕЦ

Ключевые слова: механизм привода, вычисления, расчет показателей, автоматизация.

Keywords: drive mechanism, calculations, performance calculation, automation.

Аннотация. В статье рассматриваются способы расчета основных показателей приводного механизма автоматизированной установки микродождевания рассадных культур, выращиваемых по кассетной технологии в теплицах. Показывается актуальность предварительного расчета показателей на стадии проектирования, с целью правильного подбора оборудования для конструирования изделия. С помощью теоретического метода расчета определено, что мощность двигателя привода механизма передвижения тележек дождевальной установки должна быть не менее 0,5 кВт. Число оборотов двигателя должно быть в пределах 993 об/мин. Для обеспечения равномерного движения тележек установки необходимо, чтобы работа движущих сил была равна работе сил сопротивления. Для надежности эксплуатации при перемещении исполнительных тележек дождевальной установки из ряда предлагаемых мотор-редукторов выбран одноступенчатый червячный мотор-редуктор серии 7МЧ-М60. Приведенные расчетные данные позволяют обеспечить уверенность надежности работы привода тележек на стадии проектирования конструкции установки автоматизированного микродождевания кассетной рассады в теплицах.

Abstract. This article examines methods for calculating the key performance indicators of an automated micro-sprinkler irrigation system for seedlings grown using cassette technology in greenhouses. It also demonstrates the importance of preliminary calculations at the design stage to ensure proper equipment selection for product construction. Using a theoretical calculation method, it was determined that the motor power of the sprinkler trolley drive mechanism should be at least 0.5 kW. The motor speed should be within 993 rpm. To ensure uniform movement of the trolleys, the work done by the driving forces must be equal to the work done by the resistance forces. To ensure reliable operation when moving the sprinkler trolleys, a single-stage worm geared motor of the 7MCh-M60 series was selected from a range of available geared motors. The presented calculation data allows us to confidently confirm the reliability of the trolley drive during the design stage of the automated micro-sprinkler irrigation system for cassette seedlings in greenhouses.

Введение. Среднедушевое потребление овощей в России составляет 104 кг в год, что на 35% меньше, чем рекомендованная Минздравом России норма потребления. Компенсировать недостачу овощной продукции в межсезонный период необходимо за счет развития собственного производства овощей защищенного грунта. Данный сегмент активно стремится к полному импортозамещению. По итогам 2024 г. валовый сбор в зимних теплицах составил 1,63 млн т овощей при внутренней потребности в 2 млн т. Площадь зимних теплиц, находящихся в собственности сельскохозяйственных организаций, КФХ и ИП, выросла до 3350 га, а средняя урожайность достигла 48,7 кг/м².

В целом по итогам 2024 г. самообеспеченность томатами и огурцами выросла до 79,8% [1].

Прогнозы развития тепличного хозяйства в России:

- к 2026 г. ожидается ввод более 3,4 тыс. га новых теплиц, что увеличит производство до 1,7 млн т овощей;
- цифровизация и автоматизация процессов приведут к снижению себестоимости на 15...20% уже к 2030 г.;

- импортозамещение — доля российских томатов на рынке стабильно растет, а новые гибриды и технологии позволяют снижать зависимость от зарубежных поставщиков.

Тепличные хозяйства наиболее автоматизированы и имеют доступ к современным инновационным технологиям. Уровень импортозамещения во многих сферах тепличного сектора продолжает расти. В последнее время быстрыми темпами развивается сектор тепличного выращивания рассады капусты, салатов и зеленных культур с использованием автоматизированных установок для полива. Механизм их работы мало изучен.

Цель. Обеспечение уверенности соответствия реализации требованиям к значениям показателей надежности привода установки автоматизированного микродождевания кассетной рассады в теплицах, основанных на вычислениях.

Результаты и их обсуждение. Объектом исследования являются элементы проектируемого привода автоматизированной установки микродождевания теплиц типа проекта «Импотэк» туннельного типа с прямой стенкой габаритами 50×9,6×4,7 м и промежуточными арками через каждые 2 м, высотой нижнего пояса труб арок 2,7 м с диаметром 32 мм. Установка предназначена для дождевания в автоматическом режиме в движении по подвесной рельсовой системе, по которой посредством тросовой системы с мотор-редуктором перемещаются поливная тележка с дождеобразующими устройствами и тележка петлеобразователя питающего шланга [2].

Для определения способности конструкции привода отвечать поставленным требованиям перемещения технологического оборудования дождевальной установки необходимо провести расчеты к требованиям показателей приводного механизма.

Для взаимосвязанного перемещения тележек используется единая тросовая система, кинематическая схема которой показана на рисунке. При этом поливная тележка движется по отношению к тележке для поворота шланга в два раза быстрее. Это обусловлено тем, что поливная тележка 4 перемещается по всей длине теплицы, а тележка со шлангом 3 только до половины теплицы.

Расчеты определения усилий на перемещение составных частей конструкции, подтверждающие работоспособность и надежность поливной установки производятся согласно приведенной схеме по аналогу для расчета крановой тележки и механизма подъема груза.

Исходные данные для расчета:

- Масса тележки перемещения шланга P_1 — 50 кг;
- масса тележки поливной P_2 — 96,5 кг.

- Масса шланга полиэтиленового ПЭ 40×3 мм $L=50$ м с водой – $P_3=63$ кг, в т. ч. шланг – 18 кг, вода – 45 кг.

- Масса каната (троса) диаметром 4 мм длиной 200 м – $P_4=13$ кг.

- Диаметр колес тележек $D_1=65$ мм.

- Диаметр ролика поддержки троса и шланга $D_2=20$ мм.

- Диаметр приводного шкива $D_3=200$ мм.

- Передаточное число мотор-редуктора $i=40$.

- Скорость перемещения тележки поливной – 0,26 м/с.

- Сопротивление образованию петли шланга $F_{пет}=32$ кг (экспериментальные данные).

Модель расчета базируется на расчетах механизмов крановых машин [3–6] и включает определение необходимой мощности двигателя мотор-редуктора и частоты его вращения. Для этого в первую очередь необходимо установить сумму всех сопротивлений составляющих механизма привода.

Общее сопротивление F передвижению тележек, троса и шланга от статических нагрузок равно сумме сопротивлений:

$$F = F_{тп} + F_c,$$

где $F_{тп}$ – сопротивление тележки поливной; F_c – суммарное сопротивление через полиспасть.

Сопротивление трения при движении тележки по прямому рельсовому пути вычисляется:

$$F = k_p P g \frac{fd_b + 2\mu}{D_1},$$

где k_p – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление от трения реборд колес и торцов ступиц колеса, принимаем равным 2,5; P – масса тележки, кг; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с; f – коэффициент трения подшипника скольжения, принимаем равным 0,3; $d_b=0,02$ м – диаметр вала колеса; $\mu=0,0003$ м – коэффициент трения качения колес по рельсам; D_1 – диаметр колеса тележки, м.

Сопротивление перемещению тележки шланга $F_{тш}$:

$$F_{тш} = 2,5 \cdot 50 \cdot 9,81(0,3 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,0003) / 0,065 = 124,51 \text{ Н.}$$

Сопротивление перемещению тележки поливной $F_{тп}$:

$$F_{тп} = 2,5 \cdot 96,5 \cdot 9,81(0,3 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,0003) / 0,065 = 240,31 \text{ Н.}$$

Сопротивление перемещению троса F_t :

$$F_t = P_4 f g,$$

где P_4 – масса троса; f – коэффициент трения подшипника скольжения (сухое трение), равный 0,3.

Тогда F_t равно

$$F_t = 13 \cdot 0,3 \cdot 9,81 = 38,26 \text{ Н.}$$

Сопротивление перемещения шланга с водой $F_{ш}$:

$$F_{ш} = P_3 f g,$$

где P_3 – масса шланга с водой; f – коэффициент трения подшипника скольжения (сухое трение), равный 0,3.

Тогда сопротивление шланга с водой:

$$F_{ш} = 63 \cdot 0,3 \cdot 9,81 = 185,41 \text{ Н.}$$

Сопротивление образованию петли (изгиба) шланга $F_{изг}$:

$$F_{изг} = F_{пет} g = 32 \cdot 9,81 = 313,92 \text{ Н.}$$

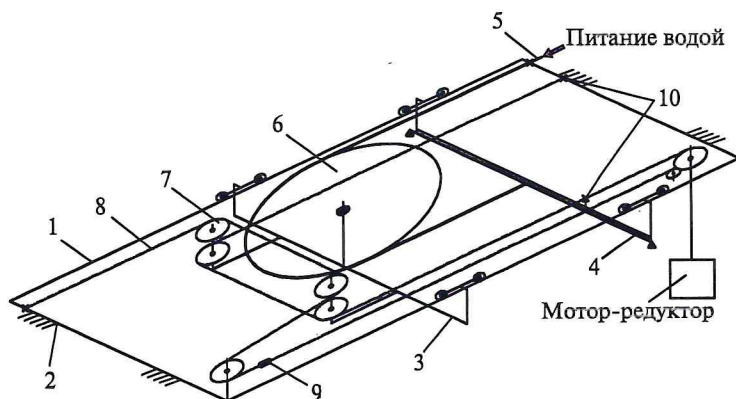


Схема кинематическая функциональная привода системы:

1 – направляющая; 2 – подвес; 3 – тележка перемещения шланга; 4 – тележка поливная; 5 – шланг; 6 – ролик поворотный; 7 – ролик тросовой системы; 8 – трос; 9 – бобышка или упор для рычага отключения движения; 10 – места крепления троса и шланга

Усилие в канате, набегающем на приводной шкив от сопротивления передвижению тележки поливной $F_{тп} = 240,31$ Н.

Поскольку в конструкции имеется полиспасть и обводные блоки суммарное усилие F_c , Н, от перемещения тележки шланга, троса, шланга с водой и сопротивления образованию петли рассчитывается:

$$F_c = \frac{F_{тш} + F_t + F_{ш} + F_{изг}}{Z_{п} U_{п} \eta},$$

где $Z_{п}$ – число полиспадов в системе – 1; $U_{п}=2$ – кратность полиспада; η – кпд общий, $\eta = \eta_{п} \eta_{обв}$, где $\eta_{п}=0,94$ – кпд полиспада; $\eta_{обв}=0,74$ – кпд обводных блоков.
 $\eta = 0,94 \cdot 0,74 = 0,7$.

Тогда

$$F_c = (124,51 + 38,26 + 185,41 + 313,92) / (1 \cdot 2 \cdot 0,7) = 472,93 \text{ Н.}$$

Общее сопротивление

$$F = 240,31 + 472,93 = 713,24 \text{ Н.}$$

Статическая мощность двигателя привода, кВт:

$$P_c = \frac{F v}{10^3 \eta},$$

где $\eta=0,74$ – кпд редуктора.

$$P_c = (713,24 \cdot 0,26) / (1000 \cdot 0,74) = 0,25 \text{ кВт.}$$

Так как в момент пуска двигателя потребляемая мощность из-за нагрузки страгивания тележек возрастает вдвое, то необходимо предусмотреть двигатель для комплекта мощностью не менее 0,5 кВт.

Определяем число оборотов двигателя при перемещении тележек с максимальной заданной скоростью, об/мин:

$$n_{дв} = \frac{V_{пер} 60}{L_{шк}} i,$$

где $V_{пер}=0,26$ м/с; $L_{шк}$ – длина окружности шкива: $L_{шк} = D_{шк} \pi = 0,2 \cdot 3,14 = 0,628$ м.

При передаточном числе редуктора $i=40$ необходимое число оборотов двигателя:

$$n_{дв} = (0,26 \cdot 60) / 0,628 \cdot 40 = 993 \text{ об/мин.}$$

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, kolomeec.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 раздельно.

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,