

Научная статья

УДК 631.352-231.311

DOI 10.48012/1817-5457\_2024\_3\_138-143

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ К ОБОСНОВАНИЮ ДЛИНЫ ШАТУНА АКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА СЕГМЕНТНО-ПАЛЬЦЕВОЙ КОСИЛКИ

Первушин Владимир Федорович✉, Абдуллин Фаниль Мансурович, Ипатов Алексей Геннадьевич, Салимзянов Марат Зуфарович, Костин Александр Владимирович

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

✉pervushin54@mail.ru

**Аннотация.** Выполнен анализ работы дезаксиального кривошипно-шатунного механизма привода ножа сегментно-пальцевой косилки серийного производства при скашивании естественных трав на склонах со сложным и изменяющимся рельефом поля. Отмечены основные недостатки дезаксиального кривошипно-шатунного механизма привода ножа, вызванные его динамической неуравновешенностью. Для устранения недостатков предложена экспериментальная косилка с аксиальным расположением кривошипно-шатунного механизма на пальцевом брусе режущего аппарата, позволяющая переводить пальцевый брус в транспортное положение в рабочем режиме режущего аппарата при объезде препятствий в виде кустарников, деревьев или грубых неровностей. По результатам экспериментальных исследований установлено, что режущий аппарат в процессе копирования рельефа поля изменяет угол наклона  $\beta$  относительно горизонта в пределах  $\pm 15^\circ$ . При этом величина дезаксиала  $h$  изменяется от 0,281 до 0,492 м. Установлено, что изменение величины дезаксиала влечет за собой изменение хода, скорости и ускорения ножа. Используя аналитический метод кинематического исследования кривошипно-шатунных механизмов по Артоболовскому в программе Excel, с исходными данными радиуса кривошипа 38,1 мм и частоты его вращения 1000 об/мин, получили следующие графические зависимости, характеризующие изменение ускорения ножа за один оборот кривошипа при длине шатуна от 0,08 до 0,46 м. При уменьшении длины шатуна менее 0,16 м в положении кривошипа  $\pi$  возникает скачкообразное и неравномерное изменение ускорения ножа, которое приводит к повышению нагрузки в шарнирах шатуна и негативно влияет на работу всего кривошипно-шатунного механизма. При увеличении длины шатуна более 0,16 м явление колебаний величины ускорения сглаживается.

**Ключевые слова:** сегментно-пальцевая косилка, дезаксиал, кривошипно-шатунный механизм, режущий аппарат.

**Для цитирования:** Теоретические исследования к обоснованию длины шатуна аксиального кривошипно-шатунного механизма сегментно-пальцевой косилки / В. Ф. Первушин, Ф. М. Абдуллин, А. Г. Ипатов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 138-143. [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_138-143](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_138-143).

**Актуальность.** Основными неотъемлемыми преимуществами косилок сегментно-пальцевого типа являются простота конструкции, низкая себестоимость, небольшая масса конструкции и, как следствие, широкий выбор тракторов для агрегатирования от 0,6 до 1,4 тягового класса. Все это делает ее более доступной для приобретения в личные подсобные хозяйства населения. При этом, обладая существенными преимуществами, сегментно-пальцевые косилки практикуемых ныне конструкций имеют один значительный недостаток в конструкции механизма привода режущего аппарата.

Привод режущего аппарата косилок сегментно-пальцевого типа (КС-Ф-2,1, КС-Ф-

2,1Б-4, КПО-2,1) осуществляется кривошипно-шатунным механизмом, устроенным следующим образом (рис. 1). На конце вала 2, вращающемся в опоре 1, закрепленной к раме 3, установлен эксцентрик 4 с запрессованным в него пальцем 5. На палец подвижно закреплена головка шатуна 6, связанная с головкой ножа 9 посредством шарнирного соединения 8. При вращении эксцентрика 4 шатун 7 передает возвратно-поступательное движение ножу 10 режущего аппарата.

Как показано на рисунке 1, кривошипно-шатунный механизм привода устроен таким образом, что шатун совершает плоскопараллельное движение в вертикальной плоскости,

вызывающее появление сил инерций шатуна как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Хотя эксцентрик и имеет небольшой противовес, инерционные силы ножа и шатуна не сглаживаются в процессе работы.

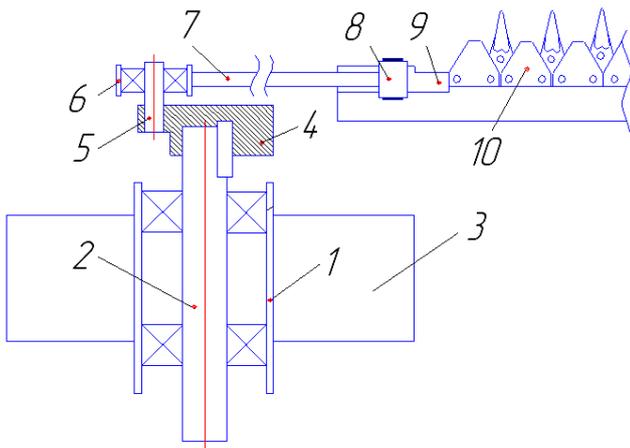


Рисунок 1 – Кривошипно-шатунный механизм косилки КС-Ф-2,1

Следует отметить следующие основные недостатки в механизме привода ножа в косилках сегментно-пальцевой конструкции:

1. Работоспособность косилки возможна только при горизонтальном положении режущего аппарата или близко к горизонтальному положению. Чем больше угол расположения пальцевого бруса к горизонту (при работе на склонах), тем больше величина дезаксиала, соответственно повышаются силы трения, действующие по направляющим головкам ножа. Таким образом, дезаксиал в конструкции сегментно-пальцевых косилок оказывает негативное влияние на работу косилки.

Шатун, имея большую длину, совершает плоскопараллельное движение в вертикальной плоскости, вызывая тем самым образование вертикальных и горизонтальных сил инерций, негативно действующих на головку и направляющие головки ножа, и создавая большую вибрацию косилки. На преодоление силы инерции и силы трения затрачивается на 300...400 % больше энергии, чем необходимо для среза растений [1–3, 7, 8].

2. Косилка имеет сложную конструкцию корпуса, различные тяги. Чугунная конструкция корпуса не поддается надежному ремонту. Деформация тяг приводит к неправильному движению шатуна, следовательно, большому износу движущихся частей и разболтанной работе всей косилки.

Потери энергии на преодоление сил инерций, вызванных движением ножа и шатуна,

зависят от конструктивного исполнения кривошипно-шатунного механизма. Применение бездеаксиального (аксиального) кривошипно-шатунного механизма (без смещения оси вращения кривошипа от плоскости движения ножа) позволяет сократить размеры шатуна и максимально эффективно производить уравнивание ножа и шатуна посредством установки противовеса строго противоположно пальцу кривошипа [4–6, 12].

**Цель исследований:** обоснование длины шатуна режущего аппарата с аксиальным расположением кривошипно-шатунного механизма на пальцевом брус режущего аппарата.

**Задачи исследований:** определить характер изменения ускорения ножа режущего аппарата за один оборот кривошипа в зависимости от длины шатуна при его аксиальном расположении на пальцевом брус режущего аппарата.

**Материал и методы исследований.** В серийных сегментно-пальцевых косилках для преобразования вращения кривошипа в возвратно-поступательное движение ножа применяются главным образом кривошипно-шатунные механизмы (КШМ) дезаксиального типа. При этом дезаксиал  $h$  и длина шатуна  $L$  по отношению к радиусу кривошипа  $r$  составляют соответственно  $h = (7...8)r = 0,266...0,304$  м и  $L = (24...25)r = 0,912...0,950$  м,  $\alpha$  – угол наклона шатуна  $16^\circ$  (рис. 2) [9–11].

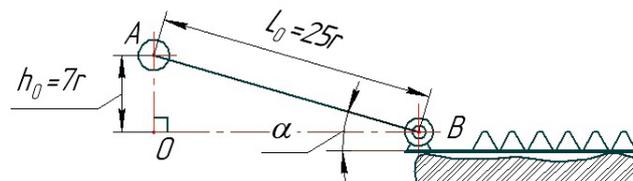


Рисунок 2 – Схема конструкции дезаксиального КШМ косилки

Работа кривошипно-шатунных механизмов дезаксиального типа сопровождается потерями энергии на преодоление силы инерции ножа и шатуна, а также на преодоление силы трения от действия шатуна и силы тяжести ножа (рис. 2).

Характерной особенностью этих косилок является простота конструкции. Режущий аппарат приводится в действие кривошипно-шатунным механизмом, который конструктивно выполнен с наличием дезаксиала  $\zeta$ , т.е. со смещением оси вращения кривошипа относительно плоскости движения ножа (рис. 3).

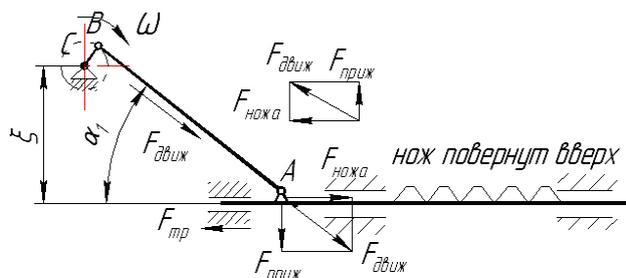


Рисунок 3 – Схема работы кривошипно-шатунных механизмов серийных косилок

Применение бездеаксиального (аксиально-го) кривошипно-шатунного механизма (рис. 4), то есть без смещения оси вращения кривошипа от плоскости движения ножа, позволяет:

- 1) укоротить длину шатуна  $L$ , следовательно, уменьшить его массу и инерционные силы;
- 2) уменьшить угол направленности шатуна к плоскости движения ножа, следовательно, снизить силы трения в направляющих головки ножа от действия шатуна;
- 3) более эффективно уравновесить нож и шатун посредством противовеса  $m$  с расположением его строго противоположно пальцу кривошипа.

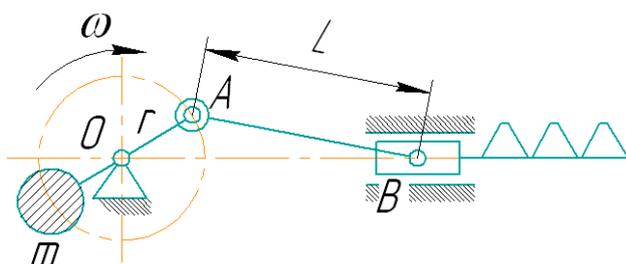


Рисунок 4 – Схема аксиального кривошипно-шатунного механизма без отклонения оси вращения кривошипа от плоскости движения ножа

Сила инерции  $F_A^u$  определяется массой кривошипа, шатуна и ножа режущего аппарата и принимает максимальное значение в крайних (мертвых) положениях ножа, она может быть выражена:

$$F_A^u = m_A \times a_A + m_{AB} \times a_{AB} + m_B \times a_B,$$

где  $m_A, m_{AB}, m_B$  – масса кривошипа, шатуна и ножа режущего аппарата соответственно;

$a_A, a_{AB}, a_B$  – ускорение кривошипа, шатуна и ножа режущего аппарата соответственно.

**Результаты исследований.** Крайним положениям ножа для аксиального привода со-

ответствуют углы поворота кривошипа на угол  $\pi$  и  $2\pi$ . Значение ускорения ножа в положении кривошипа  $2\pi$  больше значения ускорения в положении кривошипа  $\pi$ , однако при увеличении длины шатуна величина ускорения ножа в положениях кривошипа  $\pi$  и  $2\pi$  снижается и выравнивается с величиной ускорения ножа в положениях кривошипа  $\pi$  (рис. 4).

При уменьшении длины шатуна менее 0,16 м в положении кривошипа  $\pi$  возникает скачкообразное и неравномерное изменение ускорения ножа. Это приводит к переменной нагрузке в шарнирах шатуна и негативно сказывается на работе всего механизма. При увеличении длины шатуна более 0,16 м явление колебаний величины ускорения сглаживается.

С другой стороны, достижение равномерно-го изменения ускорения ножа в крайних его положениях путем увеличения длины шатуна влечет за собой неизбежное увеличение габаритов косилки и металлоемкости привода и, как следствие, инерционных сил, действующих на наиболее нагруженный узел кривошипно-шатунного механизма – шарнир шатуна А.

Для вычисления инерционных сил, действующих на шарнир шатуна А, с помощью метода замещающих точек по Артоболовскому [3] получены силы инерции  $F_A^u$  (табл. 1), приложенные к шарниру А в положении кривошипа  $2\pi$  при изменении длины шатуна  $L$  от 16 до 46 см с интервалом в 5 см, и следующие графические зависимости характера изменения ускорения ножа за один оборот кривошипа при длине шатуна от 0,08 до 0,46 м (рис. 5).

Таблица 1 – Значения сил инерции, приложенных к шарниру А, при различной длине шатуна

Длина шатуна, см	Ускорение ножа, м/с <sup>2</sup> (в положении кривошипа 0 или 2π)	Масса шатуна, кг	Сила инерции $F_A^u$ на шарнире А, Н
16	515	0,5008	1487,623
21	492	0,6573	1553,072
26	477	0,8138	1618,176
31	467	0,9703	1683,358
36	461	1,1268	1749,229
41	455	1,2833	1814,16
46	451	1,4398	1879,593

На основании анализа процесса изменения ускорения ножа и силы инерции в зависимости от длины шатуна определена длина шатуна аксиального кривошипно-шатунного меха-

низма сегментно-пальцевой косилки, с отсутствием явления колебаний ускорения ножа в крайнем его положении, снижающим инерционные силы на элементах привода, а также обеспечивающим малые габариты и металлоемкость механизма привода в целом.

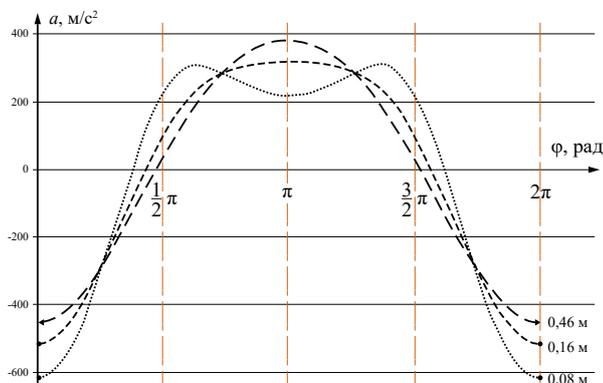


Рисунок 5 – Характер изменения ускорения ножа за один оборот кривошипа в зависимости от длины шатуна от 8 до 46 см

**Вывод.** Применение бездеаксиального (аксиального) КШМ позволяет:

- 1) уменьшить длину шатуна, а следовательно, и его массу;
- 2) более эффективно уравновесить нож и шатун относительно оси вращения кривошипа;
- 3) придать компактность приводу ножа косилки;
- 4) принять оптимальную длину шатуна для данной конструкции косилки 0,16 м.

### Список источников

1. Алдошин Н. В., Чайка В. П., Лылин Н. А. Перспективы развития конструкций режущих аппаратов // Чтения академика В. Н. Болтинского (115 лет со дня рождения): сборник статей: семинар (Москва. 22–25 января 2019 г.); под ред. М. Н. Ерохина и др. Москва: Мегapolis, 2019. С. 49–56.
2. Апокин Н. П. Анализ сил сопротивления движению ножа сегментно-пальцевого режущего аппарата с различными приводными механизмами // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. 2006. Т. 48. С. 17–20.
3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Наука, 1988. 636 с.
4. Классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин и их траектории движения / В. Ф. Первушин, А. Г. Левшин, М. З. Салимзянов [и др.] // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 57–64. DOI 10.26897/2687-1149-2023-3-57-64. EDN DMNGXA.
5. Первушин В. Ф., Дубовцев С. А. Влияние изменения величины дезаксиала на качественные

и энергетические показатели режущего аппарата косилки // Инновационный потенциал сельскохозяйственной науки XXI века: вклад молодых ученых-исследователей: материалы Всероссийской научно-практической конференции: сборник статей, Ижевск, 24–27 октября 2017 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017. С. 246–249. EDN NTNZNHC.

6. Первушин В. Ф., Иванов А. Г., Хузяхметов И. И. Грохот с изменяемым законом движения решет // Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Леонида Михайловича Максимова, Ижевск, 14–15 декабря 2022 г. Ижевск: УдГАУ, 2022. С. 109–116. EDN PAZUXZ.

7. Сегментно-пальцевая косилка с бездеаксиальным кривошипно-шатунным механизмом / В. Ф. Первушин, М. З. Салимзянов, Р. Р. Шакиров [и др.] // Сельский механизатор. 2023. № 11. С. 12–13. DOI 10.47336/0131-7393-2023-11-12-13. EDN WUNGEA.

8. Теоретические исследования процесса скашивания трав сегментно-пальцевой косилкой / В. Ф. Первушин, М. З. Салимзянов, Н. Г. Касимов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(67). С. 72–79. DOI 10.48012/1817-5457\_2021\_3\_72. EDN XKLFWU.

9. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil / M. N. Kalimullin, M. Z. Salimzyanov, V. F. Pervushin [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”, Kazan, 26–28 мая 2022 года. Vol. 52. Kazan: EDP Sciences, 2022. P. 00056. EDN UDWMKX.

10. Kemper S., Lang T., Frerichs L. The overlaid cut in a disc mower-results from field tests and simulation. Landtechnik. 2014; 69(4): 1V1–1V5.

11. Pirchio M. et al. Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn. Agronomy. 2018; 8(2): 15.

12. Theoretical prerequisites for substantiating the parameters of a rotary ripper for interrow potato cultivation / V. F. Pervushin, M. Z. Salimzyanov, A. G. Ivanov [et al.] // E3S Web of Conferences, Bishkek, 21 ноября 2022 года. Vol. 380. Bishkek: EDP Sciences, 2023. P. 01003. DOI 10.1051/e3sconf/202338001003. EDN OURUNB.

### References

1. Aldoshin N. V., Chajka V. P., Lylin N. A. Perspektivy razvitiya konstrukcij rezhushchih apparatov // Chteniya akademika V. N. Boltinskogo (115 let so dnya rozhdeniya): sbornik statej: seminar (Moskva. 22–25 yanvarya 2019 g.); pod red. M. N. Erohina i dr. Moskva: Megapolis, 2019. S. 49–56.
2. Apokin N. P. Analiz sil soprotivleniya dvizheniyu nozha segmentno-pal'cevogo rezhushchego apparata

s различными приводными механизмами // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. 2006. Т. 48. С. 17–20.

3. Artobolevskij I. I. Teoriya mekhanizmov i mashin. 4-e izd., pererab. i dop. Moskva: Nauka, 1988. 636 s.

4. Klassifikatsiya rotatsionnyh rabochih organov sel'skohozyajstvennyh mashin i ih traektorii dvizheniya / V. F. Pervushin, A. G. Levshin, M. Z. Salimzyanov [i dr.] // Agroi zheneriya. 2023. T. 25, № 3. S. 57–64. DOI 10.26897/2687-1149-2023-3-57-64. EDN DMNGXA.

5. Pervushin V. F., Dubovcev S. A. Vliyaniye izmeneniya velichiny dezaksiala na kachestvennye i energeticheskie pokazateli rezhushchego apparata kosilki // Innovatsionnyy potentsial sel'skohozyajstvennoy nauki XXI veka: vklad molodyh uchenykh-issledovatelej: materialy Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: sbornik statej, Izhevsk, 24–27 oktyabrya 2017 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2017. S. 246–249. EDN NTNZHC.

6. Pervushin V. F., Ivanov A. G., Huzyahmetov I. I. Grohot s izmenyaemym zakonom dvizheniya reshet // Innovatsionnoye razvitiye sovremennogo agropromyshlennogo kompleksa Rossii: materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Leonida Mihajlovicha Maksimova, Izhevsk, 14–15 dekabrya 2022 g. Izhevsk: UdGAU, 2022. S. 109–116. EDN PAZUXZ.

7. Segmentno-pal'cevaya kosilka s bezdeksial'nym krivoshipno-shatunnym mekhanizmom / V. F. Per-

vushin, M. Z. Salimzyanov, R. R. Shakirov [i dr.] // Sel'skij mekhanizator. 2023. № 11. S. 12–13. DOI 10.47336/0131-7393-2023-11-12-13. EDN WUHGEA.

8. Teoreticheskie issledovaniya processa skashivaniya trav segmentno-pal'cevoj kosilkoj / V. F. Pervushin, M. Z. Salimzyanov, N. G. Kasimov [i dr.] // Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2021. № 3(67). S. 72–79. DOI 10.48012/1817-5457\_2021\_3\_72. EDN XKLFWU.

9. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil / M. N. Kalimullin, M. Z. Salimzyanov, V. F. Pervushin [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources”, Kazan, 26–28 maya 2022 goda. Vol. 52. Kazan: EDP Sciences, 2022. P. 00056. EDN UDWMKX.

10. Kemper S., Lang T., Frerichs L. The overlaid cut in a disc mower-results from field tests and simulation. Landtechnik. 2014; 69(4): 1V1–1V5.

11. Pirchio M. et al. Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn. Agronomy. 2018; 8(2): 15.

12. Theoretical prerequisites for substantiating the parameters of a rotary ripper for interrow potato cultivation / V. F. Pervushin, M. Z. Salimzyanov, A. G. Ivanov [et al.] // E3S Web of Conferences, Bishkek, 21 noyabrya 2022 goda. Vol. 380. Bishkek: EDP Sciences, 2023. P. 01003. DOI 10.1051/e3sconf/202338001003. EDN OURUNB.

### Сведения об авторах:

**В. Ф. Первушин** <sup>✉</sup>, доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>;

**Ф. М. Абдуллин**, соискатель;

**А. Г. Ипатов**, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>;

**М. З. Салимзянов**, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>;

**А. В. Костин**, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0589-3448>

Удмуртский ГАУ, ул. Студенческая, 9, Ижевск, Россия, 426069

<sup>✉</sup>pervushin54@mail.ru

Original article

## THEORETICAL STUDIES FOR SUBSTANTIATION OF THE CONNECTING ROD LENGTH OF THE AXIAL CRANK MECHANISM OF THE SEGMENT-FINGER MOWER

**Vladimir F. Pervushin** <sup>✉</sup>, **Fanil M. Abdullin**, **Alexey G. Ipatov**, **Marat Z. Salimzyanov**, **Alexander V. Kostin**

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

<sup>✉</sup>pervushin54@mail.ru

**Abstract.** *The article analyzes the operation of an eccentric crank mechanism for driving a knife of a mass-produced segment-finger mower when mowing natural grasses on slopes with complex and changing terrain of the field. The main disadvantages of the eccentric crank mechanism of the knife drive resulting from its dynamic*

imbalance were noted. To eliminate the disadvantages, an experimental mower with an axial arrangement of the crank mechanism on the finger bar of the cutting device was proposed, which allowed the finger bar to be transferred to the transport position in the operating mode of the cutting device, when bypassing obstacles in the form of shrubs, trees or rough irregularities. According to the results of experimental studies, it has been established that the cutting device in the process of copying the field relief changes the angle of inclination  $\beta$  relative to the horizon within  $\pm 15^\circ$ . In this case, the value of the deaxial  $h$  varies from 0.281 m to 0.492 m. It is established that a change in the magnitude of the deaxial involves a change in the stroke, speed and acceleration of the knife. Using the analytical method of kinematic investigation of crank-rod mechanisms according to Artobolevsky in Excel, with the initial data of the crank radius of 38.1 mm and its rotation frequency of 1000 rpm, the following graphical dependencies were obtained characterizing the change in the acceleration of the knife in one revolution of the crank with a connecting rod length from 0.08 m to 0.46 m. When the connecting rod length decreases to less than 0.16 m in the crank position  $\pi$ , an abrupt and uneven change in the acceleration of the knife occurs. Such a change in the knife acceleration leads to an increase in the load in the connecting rod joints and affects negatively the operation of the entire crank mechanism. With an increase in the connecting rod length of more than 0.16 m, the phenomenon of fluctuations in the acceleration value is smoothed out.

**Key words:** segment-finger mower, deaxial, crank mechanism, cutting device.

**For citation:** Pervushin V. F., Abdullin F. M., Ipatov A. G., Salimzyanov M. Z., Kostin A. V. Theoretical studies for substantiation of the connecting rod length of the axial crank mechanism of the segment-finger mower. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 138-143. (In Russ.). [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_138-143](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_138-143).

#### Authors:

**V. F. Pervushin** , Doctor of Technical Sciences, Professor,  
<https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>;

**F. M. Abdullin**, Applicant;

**A. G. Ipatov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
<https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>;

**M. Z. Salimzyanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
<https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>;

**A. V. Kostin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
<https://orcid.org/0000-0002-0589-3448>

Udmurt State Agricultural University, 9 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

pervushin54@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024; одобрена после рецензирования 11.07.2024;  
принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 11.07.2024; accepted for publication 06.09.2024.