

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.3.06.001.66

В.С. Красовских, В.В. Щербинин, В.В. Лакшинский
V.S. Krasovskikh, V.V. Shcherbinin, V.V. Lakshinskiy

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ДИСКОВЫМИ СОШНИКАМИ

THE IMPROVEMENT OF MULTIPURPOSE COMBINED TILLAGE SEEDING UNIT WITH HORIZONTAL DISK COULTERS

Ключевые слова: почвообрабатывающий посевной комплекс, горизонтальные вращающиеся дисковые сошники, бесступенчатое изменение ширины захвата, тяговое сопротивление, экономическая эффективность.

Для совершенствования существующих почвообрабатывающих посевных комплексов с горизонтальными вращающимися сошниками предложена новая компоновка, предусматривающая установку стоек сошников с наклоном в продольной и поперечной плоскостях, при этом каждый последующий дисковый сошник частично перекрывает предыдущий, с зазором между ними. Кроме того, новая схема позволяет бесступенчато изменять ширину захвата агрегата путем поворота балок с сошниками относительно оси, закрепленной на раме. По мере продвижения агрегата обрабатываемый слой почвы давит на рабочую поверхность диска. За счет возникновения результирующей силы резания и силы трения диски правой части будут вращаться по часовой стрелке, а левой – против. Поверхность каждой рабочей части вращающихся сошников будет иметь небольшую относительную скорость перемещения к обрабатываемому слою почвы, что позволит существенно снизить затраты энергии на трение о них. Предложена методика расчёта тягового сопротивления предлагаемого агрегата и

оценена экономическая эффективность его применения.

Keywords: combined tillage seeding unit, horizontal rotating disk coulters, continuously variable width, draft resistance, economic efficiency.

To improve the existing combined tillage seeding unit with horizontal rotating coulters, a new arrangement is proposed; this involves the installation of tines inclined in the longitudinal and transverse planes; each following disk coulters partially overlaps the previous one with a gap between them. In addition, the new arrangement enables to continuously change the widths of the machine by turning the beams with the coulters relating to the axis attached to the frame. As the unit moves, the tilled soil layer puts pressure on the working surface of the disk. Due to the resultant cutting force and friction force, the disks of the right part would rotate clockwise, and those of the left part – counterclockwise. The surface of each working portion of rotating coulters will have a small relative velocity of the soil layer being tilled; this will significantly reduce the power consumption caused by friction. The procedure of calculation of the traction resistance of the proposed unit has been developed, and the economic effectiveness of its use has been evaluated.

Красовских Виталий Степанович, д.т.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: krasovskix36@mail.ru.

Щербинин Владимир Владимирович, к.т.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: traktory101@mail.ru.

Лакшинский Владислав Витальевич, аспирант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: lakschinsky.vlad@yandex.ru.

Krasovskikh Vitaliy Stepanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. E-mail: krasovskix36@mail.ru.

Shcherbinin Vladimir Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. E-mail: traktory101@mail.ru.

Lakshinskiy Vladislav Vitalyevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University. E-mail: lakschinsky.vlad@yandex.ru.

На сегодняшний день выпускается широкий ассортимент почвообрабатывающих посевных комплексов (ППК), предназначенных для реализации технологий почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия.

Впервые в Алтайском крае был спроектирован и изготовлен блочно-модульный ППК, оборудованный вращающимися горизонтальными дисковыми сошниками, сотрудниками кафедры «Тракторы и автомобили» Алтайского ГАУ и испытан на полях племсовхоза «Чистюньский» в 1996 г. Исследования показали, что их применение при сплошной обработке почвы по стерневому фону и сплошном посеве существенно улучшило качество посева и позволило повысить урожайность пшеницы на 30% в сравнении с сеялками СЗП-3,6, осуществляющих посев по традиционной технологии [1].

Это послужило основой для серийного производства блочно-модульных ППК с горизонтальными дисковыми сошниками, таких как ЭРА-П и СКСС-2,5. К недостаткам всех применяемых ППК следует отнести постоянство ширины захвата одной машины, повышенную неравномерность обработанной поверхности, сложность конструкции, большие энергозатраты. Ширину можно изменять только кратно рабочей ширине одного модуля путем изменения их количества.

Для устранения указанных недостатков предлагается дисковые сошники, установленные на полых вращающихся стойках 2 (семяпроводах), разместить на брусках 3, закрепленных на раме 5 ППК. Сошники 1 установлены с наклоном в продольной и поперечной плоскостях, при этом каждый последующий дисковый сошник частично перекрывает предыдущий, с зазором между ними. Бруски 3 установлены на раме 5 так, что позволяют бесступенчато изменять ширину захвата агрегата путем их поворота относительно оси 4, закрепленной на раме (рис. 1, 2 а) [2].

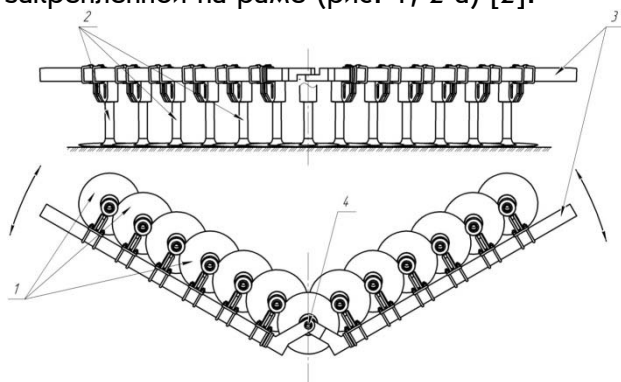


Рис. 1. Принципиальная схема расположения горизонтальных дисковых сошников на брусках рамы: 1 – горизонтальный дисковый сошник; 2 – вращающаяся стойка сошника; 3 – брус поворотный; 4 – ось вращения брусков

По мере продвижения агрегата обрабатываемый слой почвы давит на рабочую поверхность диска. За счет возникновения результирующей силы резания и силы трения диски правой части будут вращаться по часовой стрелке, а левой – против. Поверхность каждой рабочей части вращающихся сошников будет иметь небольшую относительную скорость перемещения к обрабатываемому слою почвы, что позволит существенно снизить затраты энергии на трение о них [2].

Теоретический расчет удельного тягового сопротивления данного агрегата заключается в следующем:

1. Результирующая нормальная сила давления почвы на рабочую поверхность, Н:

$$P_n = \cos \alpha (G + P_j), \quad (1)$$

где G – вес почвы на рабочей поверхности, Н;

α – угол атаки сошника, определяемый из выражения: $\sin \alpha = \frac{h}{2r}$;

h – высота подъема пласта почвы, м;

r – радиус диска сошника, м;

P_j – сила инерции, действующая со стороны почвы при движении на заданную высоту, Н;

$$P_j = mj, \quad (2)$$

где m – масса почвы, передвигаемой на высоту h , кг;

$$m = \gamma_n \cdot V_n = \gamma_n \cdot F \cdot l, \quad (3)$$

где γ_n – удельная плотность почвы, кг/м³;

V_n – объем почвы, приходящийся на дисковый сошник, м³;

F – площадь рабочей поверхности дискового сошника, м²;

l – глубина обработки почвы, м.

Время, необходимое для перемещения почвы по поверхности диска сошника, с:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2r}{v}, \quad (4)$$

где $s = 2r$ – путь перемещения почвы, соответствующий размеру диска сошника, м;

v – поступательная скорость агрегата, м/с.

Ускорение пласта почвы при движении её по поверхности сошника, м/с²:

$$j = \frac{2h}{t^2}. \quad (5)$$

2. Сила трения почвы о рабочую поверхность, Н:

$$P_f = f P_n, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения почвы о металл, принимаем $f = 0,45$ (данный коэффициент варьируется от 0,25 до 0,9) [3].

3. Сила трения лезвия сошника при резании почвы её кромкой, Н:

$$P_\phi = \phi N_\phi, \quad (7)$$

где φ – коэффициент трения почвы о лезвие сошника, $\varphi \approx f = 0,45$.

4. Суммарная сила сопротивления сошника будет равна, Н:

$$P = P_f + N_p \cos \alpha,$$

где N_p – нормальная сила резания, действующая на кромку сошника, Н;

α – угол действия N_p , по отношению к направлению движения.

5. Удельное тяговое сопротивление предлагаемой машины, Н/м:

$$k = \frac{P_f + N_p \cos \alpha}{B_{pc}}, \quad (8)$$

где B_{pc} – рабочая ширина захвата сошника, м.

На основании исследований [4] установлено, что удельное сопротивление почвы для стрелчатых лап в Алтайском крае можно определить из выражения:

$$k = k_0 [1 + \varepsilon_0 (V^2 - V_0^2)], \quad (9)$$

где k_0 – удельное тяговое сопротивление агрегата, соответствующее эталонной (постоянной) скорости;

ε_0 – коэффициент пропорциональности, c^2/m^2 ;

V_0 – эталонная (постоянная) скорость движения агрегата, м/с.

У предлагаемого агрегата с вращающимися дисками при рабочей скорости движения $V = 2,22$ в/с сила сопротивления в 1,33 раза, т.е. на 26%, меньше, чем у подобного агрегата со стрелчатыми лапами.

Ближайшим аналогом предлагаемого комплекса ППК является сеялка с горизонтальными дисковыми сошниками, установленными по общепринятой схеме на СКСС-2,5, в сравнении с которой проводился расчет технико-экономических показателей. Сравнимые машины агрегируются с трактором МТЗ-1221 (МТЗ-1221 + СКСС-2,5 (рис. 2 б) и МТЗ-1221 + ППК с сошниками, установленными с перекрытием). Схема предлагаемого ППК в одном из вариантов компоновок представлена на рисунке 2 а.

Для агрегатирования с тракторами тяговых классов 4, 5, 6 предусмотрена широкозахватная многосекционная схема компоновки комбинированного комплекса, позволяющая также бесступенчато изменять ширину захвата [5].

С помощью математической модели «почва – рабочие органы и движитель машины – движитель тягового транспортного средства – трансмиссия – двигатель» были просчитаны основные показатели сравниваемых агрегатов (табл. 1) и удельные непроизводительные затраты энергии (табл. 2, рис. 3) [6].

Расчет экономической эффективности результатов исследования основан на сравнении технико-экономических показателей почвообрабатывающих посевных машинно-тракторных агрегатов на базе трактора МТЗ-1221 + СКСС-2,5 и МТЗ-1221 + «предлагаемая машина» и проведен путем сравнения его удельных совокупных затрат средств (методика сравнительного анализа) с затратами при использовании базового варианта (табл. 3) [7].

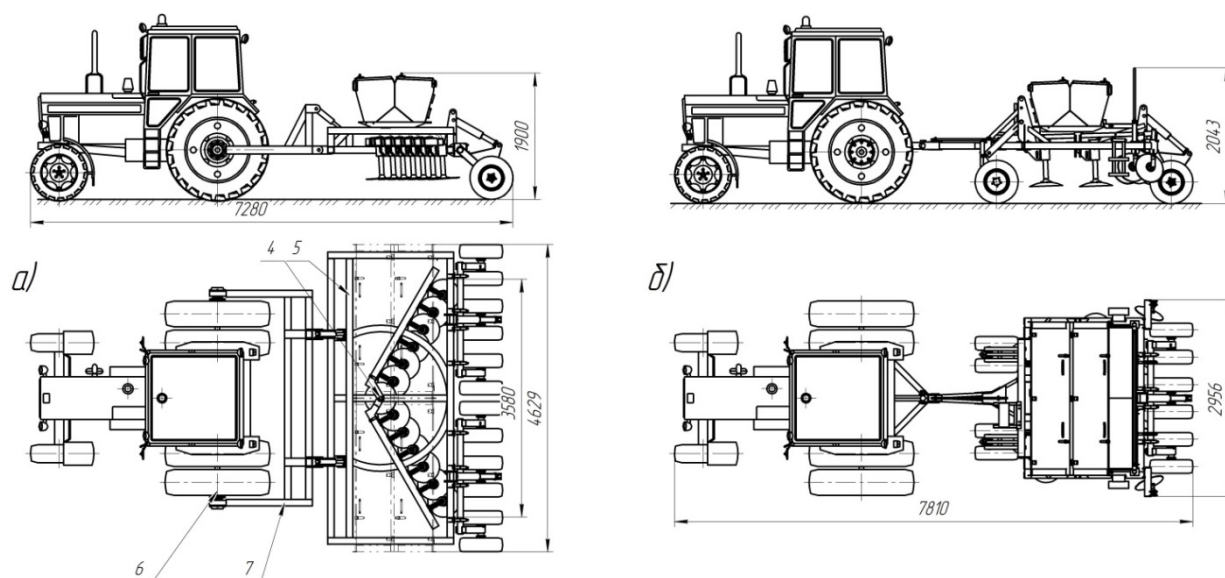


Рис. 2. Принципиальная схема агрегатирования ППК с трактором:

а – предлагаемая; б – с СКСС-2,5;

4 – ось вращения брусков; 5 – рама; 6 – ось колеса трактора; 7 – продольная тяга рамы

Таблица 1

Основные показатели посевного агрегата в составе трактора МТЗ-1221 + ПК «СКСС-2,5» и МТЗ-1221 + Предлагаемая машина

№ варианта	B , м	$C_{\text{сш}}$, кН	$M(\bar{P}_{\text{ср}})$, кН	$\varphi_{\text{ср}}$	δ	$\frac{M(\bar{P})}{M} = \frac{C}{\frac{P_{\text{ср}}}{\psi}}$	$\frac{W}{M^2} = \frac{C}{\left(\frac{P_{\text{ср}}}{\psi}\right)^2}$	$\frac{\mathcal{E}}{\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}}$	$\frac{W}{W^2}$
1	2,5	58,4	12,5	0,222	0,08	3,33 (12)	8,33 (2,98)	10,4	1
2	3,7	78,4	17,5	0,230	0,08	3,33 (12)	12,32 (4,40)	7,01	1,48

Таблица 2

Затраты мощности на перекачивание трактора « N_f », буксование движителей « N_b », сопротивление машины « N_m » агрегата в целом и в соответствии с ними удельные затраты энергии на единицу ширины захвата « \mathcal{E} »

№ варианта	На перекачивание		На буксование		На тяговое сопротивление машины		На тяговое сопротивление агрегата
	N_f , кВт	$\frac{\mathcal{E}_f}{\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}}$	N_b , кВт	$\frac{\mathcal{E}_b}{\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}}$	N_m , кВт	$\frac{\mathcal{E}_m}{\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}}$	$\frac{\mathcal{E}}{\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}}$
1	22,80	2,74	6,76	0,81	41,63	5,0	8,55
2	22,23	1,80	6,99	0,57	58,28	4,73	7,1

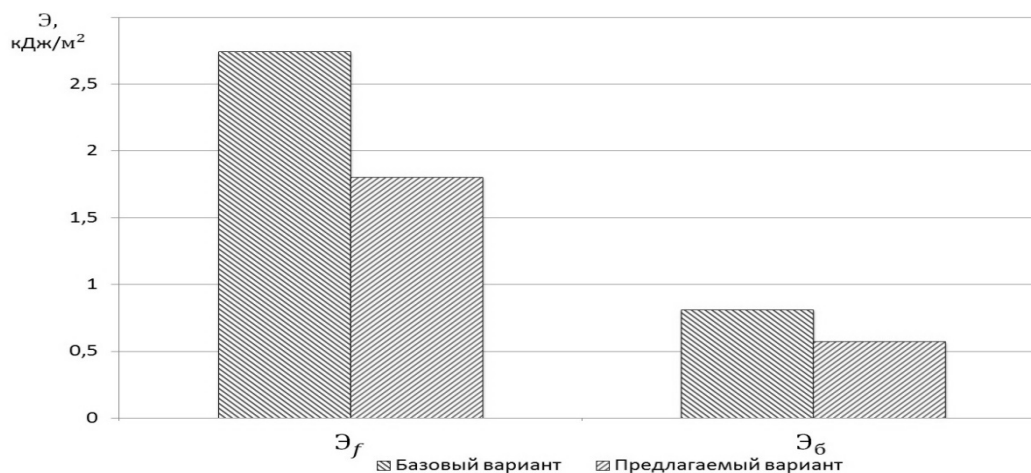


Рис. 3. Удельные непроизводительные затраты энергии на перекачивание трактора « \mathcal{E}_f » и буксование движителей « \mathcal{E}_b »

Заключение

На основании теоретических исследований было установлено, что при агрегатировании с трактором МТЗ-1221 предложенная компоновка рабочих органов и полунавесной вариант соединения с ППК существенно снизит удельное тяговое сопротивление комплекса, а за счет частичного переноса веса машины на ведущие колеса улучшит его сцепные качества. Это позволит увеличить ширину захвата агрегата с 2,5 до 3,7 м, повысить производительность до 30%, снизить число проходов агрегата по полю до 48%, уменьшить

негативное воздействие ходовой системы на почву, повысить урожайность возделываемых культур.

На основе сравнительного анализа экономических показателей почвообрабатывающих посевных агрегатов можно сделать заключение о целесообразности создания и применения агрегатов на основе предлагаемого варианта.

Для подтверждения результатов теоретических исследований необходимы создание опытного образца и проведение лабораторных и полевых испытаний.

Результаты сравнительной оценки базового и предлагаемого варианта агрегатов

Показатели и элементы затрат	Посевной агрегат МТЗ-1221 +	
	СКСС-2,5	предлагаемая машина
Рабочая ширина захвата агрегата, м	2,5	3,7
Производительность агрегата за 1 ч сменного времени $M_{\text{СМ}}$, га/ч	2,98	4,40
Снижение эксплуатационных затрат при нормативной годовой загрузке, %	-	15
Эксплуатационные затраты $M(C_{\text{Э}})$, руб/га, в т.ч.:	497	422,60
- заработная плата $M(C_{\text{ЗП}})$	43,62	29,55
- отчисления на амортизацию $M(C_{\text{АМ}})$	146,16	155,40
- отчисления на техническое обслуживание $M(C_{\text{ТО}})$	103,35	99,62
- топливо-смазочные материалы $M(C_{\text{ТМ}})$	203,84	138,04
Затраты, связанные с потерями урожая из-за уплотнения почвы движителями агрегата $M(C_{\text{У}})$, руб/га	800	540,5
Годовая экономия за счет снижения потерь урожая из-за уплотнения почвы движителями агрегата $\Delta_{\text{ТМ}}$, руб.	-	296 868
Совокупные затраты $M(C_{\text{С}}) = M(C_{\text{Э}})$, руб/га	497	422,60
Годовая экономия удельных эксплуатационных затрат $\Delta_{\text{ТМ}}$, руб.	-	85 114

Библиографический список

1. Красовских В.С., Соколов В.В. и др. Теория и расчет машинно-тракторных агрегатов при возделывании зерновых культур: монография. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015. – 184 с.
2. Пат. 2552082 Российская Федерация, С1 МПК А01В49/06. Дисковое орудие для обработки почвы и посева / Красовских В.С., Красовских Е.В.; заявитель и патентообладатель В.С. Красовских, Е.В. Красовских. – № 2013156145/13; заявл. 17.12.2013; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16.
3. Математические модели процесса взаимодействия контактного слоя почвы с нестабильной поверхностью и твердости деталей почвообрабатывающих рабочих органов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/97/21904/>.
4. Бережнов Н.Н. Обоснование рациональной компоновки и режимов работы энергонасыщенных почвообрабатывающих посевных комплексов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Барнаул, 2007. – 22 с.
5. Пат. 2554404 Российская Федерация, С1 МПК А01В49/06. Комбинированный агрегат для обработки почвы и посева (варианты) / Красовских В.С., Красовских Е.В., Лакшинский В.В.; заявитель и патентообладатель В.С. Красовских, Е.В. Красовских. – № 2013156208/13; заявл. 17.12.2013; опубл. 27.06.2015, Бюл. № 18.
6. Красовских В.С. Повышение эффективности функционирования тяговых агрегатов за счёт оптимизации параметров и эксплуатационных режимов работы в степных и лесостепных районах Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – СПб., 1991. – 37 с.

7. Абрамов А.Т. Экономическое обоснование инженерных решений в дипломных проектах: методические рекомендации. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2002. – 68 с.

References

1. Krasovskikh V.S., Sokolov V.V., i dr. Teoriya i raschet mashinno-traktornykh agregatov pri vzdelyvanii zernovykh kul'tur: monografiya. – Barnaul: Izd-vo RIO Altaiskogo GAU, 2015. – 184 s.
2. Pat. 2552082 Rossiiskaya Federatsiya, S1 MPK A01B49/06. Diskovoe orudie dlya obrabotki pochvy i poseva / Krasovskikh V.S., Krasovskikh E.V.; zayavitel' i patentoobladatel' V.S. Krasovskikh, E.V. Krasovskikh – № 2013156145/13; zayavl. 17.12.2013; opubl. 10.06.2015, Byul. № 16.
3. Matematicheskie modeli protsessa vzaimodeistviya kontaktnogo sloya pochvy s nestabil'noi poverkhnosti i tverdosti detalei pochvoobratyvyayushchikh rabochikh organov. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.moluch.ru/archive/97/21904/>.
4. Berezhnov N.N. Obosnovanie ratsional'noi komponovki i rezhimov raboty energonasyshchennykh pochvoobratyvyayushchikh posevnykh kompleksov: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Barnaul, 2007. – 22 s.
5. Pat. 2554404 Rossiiskaya Federatsiya, S1 MPK A01B49/06. Kombinirovannyi agregat dlya obrabotki pochvy i poseva (varianty) / Krasovskikh V.S., Krasovskikh E.V., Lakshinskii V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' V.S. Krasovskikh, E.V. Krasovskikh – № 2013156208/13; zayavl. 17.12.2013; opubl. 27.06.2015, Byul. № 18.
6. Krasovskikh V.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya tyagovykh agregatov za schet optimizatsii parametrov i eksplu-

atatsionnykh rezhimov raboty v stepnykh i lesostepnykh raionakh Zapadnoi Sibiri: avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk. – SPb., 1991. – 37 с.

7. Abramov A.T. Ekonomicheskoe obosnovanie inzhenernykh reshenii v diplomnykh proektakh: metodicheskie rekomendatsii. – Bar-naul: Izd-vo AGAU, 2002. – 68 s.



УДК 621.3.066.6 А.А. Болтенков, Е.А. Сарсенбаев, М.В. Селивёрстов, В.П. Шерышев
A.A. Boltenkov, Ye.A. Sarsenbayev, M.V. Seliverstov, V.P. Sheryshev

РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ НАГРЕВА СИММЕТРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПАРЫ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛА КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ

THE CALCULATION OF HEATING-UP TIME OF ELECTROCONTACT SYMMETRICAL PAIR TO RECRYSTALLIZATION TEMPERATURE OF CONTACT PIECES' MATERIAL

Ключевые слова: математическая модель, электроконтактный нагрев, контакт-деталь, время нагрева, температура рекристаллизации, прогнозирование теплового состояния.

С помощью математического моделирования процесса электроконтактного нагрева при резко переменной нагрузке показана возможность определения времени достижения контактной поверхностью электрического контактного соединения температуры рекристаллизации материала одной из контакт-деталей симметричной в тепловом отношении контактной пары. В материалах контакт-деталей выделяется составной стержень, тепловыми потерями с боковой поверхности которого можно пренебречь. Исходная математическая модель теплового процесса в одном контактном элементе (контакт-детали) представляет собой смешанную краевую задачу теплопроводности. На доступном для прямых измерений торце стержня задаётся измеренная температура, на контактном торце – удельная мощность, выделенная на переходном контактном сопротивлении. Осуществляется переход от исходной математической модели к краевой задаче с адиабатическим условием на открытом торце стержня, справедливой при действии резко переменной нагрузки на соответствующем промежутке времени. Получена и уточнена с помощью метода наименьших квадратов и априори известного точного аналитического решения упрощённой модельной задачи приближённая расчётная формула для определения температуры контактной поверхности. Получена расчётная формула для определения времени достижения контактной поверхностью контакт-деталей температуры рекристаллизации материала. Показана возможность применения полученной формулы к решению за-

дачи прогнозирования теплового состояния электроконтактной системы, используемой при реализации технологического процесса восстановления деталей почвообрабатывающих машин методом электроконтактного термомеханического деформирования.

Keywords: mathematical model, electrocontact heating, contact piece, heating-up time, recrystallization temperature, thermal state prediction.

By means of mathematical modeling of electrocontact heating at abruptly variable load, the possibility to determine the time required to reach the recrystallization temperature of the material of one of the contact pieces in a thermally symmetrical contact pair is shown. There is a composite rod in the material of the contact pieces; the heat losses from the lateral surface of this rod may be neglected. The original mathematical model of the thermal process in one contact element (contact piece) is a mixed boundary value problem of heat conduction. The measured temperature is reached at the rod end accessible for direct measurements. At the contact rod end, the specific power released at the transitional contact resistor is reached. The transition from the initial mathematical model to the boundary value problem with adiabatic condition at the open end of the rod is carried out; the condition is true at the action of abruptly variable load in the relevant time interval. Simplified approximate calculation equation for determining the temperature of the contact surface is obtained and verified by using the least squares method and a priori known exact analytical solutions of the model problem. The calculation equation to determine the time of reaching the recrystallization temperature of the material of contact pieces is obtained. The possibility of using the ob-