УДК 631.532.2+631.331.072.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВАЛЬЦА КАТКА-ЛОЖЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА

СИБИРЁВ Алексей Викторович, *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ*
АКСЕНОВ Александр Геннадьевич, *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ*
ДОРОХОВ Алексей Семенович, *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ*

Теоретически исследован технологический процесс работы цилиндрического вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука. Определены технологические и конструктивные параметры цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, оказывающие лимитирующее влияние на процесс работы машины для уборки лука, к числу которых следует отнести: диаметр, ширину и частоту вращения цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, тяговое усилие, площадь контакта и давление цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву.

Введение. Качественные показатели уборки определяются тем, насколько качественно выполнены предыдущие технологические операции [5]. При уборке лука очень важно поддерживать почву во взрыхленном состоянии в связи с тем, что применяемые на сепарации щелевые рабочие органы не способны отделить почвенные примеси от луковиц, так как они имеют небольшие размеры и при сепарации от почвенных примесей они трудноотделимы [4, 8–12].

Для интенсификации процесса уборки лука, а именно при подборе луковиц из вал-ков, с целью исключения захвата приемно-подкапывающей частью уборочной машины совместно с луковицами почвенных комков и снижения поступления количества посту-пления почвенных комков на сепарирующие рабочие органы предлагается каток-ложеобразователь в составе машины для первой фазы уборки лука (рис. 1).

Каток-ложеобразователь машины для уборки лука осуществляет подготовку ложа для укладки луковиц в валок, способствующего повышению очистки луковиц при подборе их из валков от трудноотделимых почвенных примесей, соизмеримых с луковицами [6, 7].

Следовательно, компоновка рабочих органов и геометрическая форма профиля рабочей поверхности вальцов катка-ложеобразователя являются значимыми параметрами, оказывающими влияние на качество работы.

Каток-ложеобразователь лукоуборочной машины работает следующим образом (рис. 2).

Спиральный валец катка-ложеобразователя, состоящий из барабана 1 диаметром и спирали 2, описываемой поверхность барабана 1 диаметром вращается по ходу движения лукоуборочной машины с угловой скоростью и спиралью 2 внедряется на глубину в предварительно подкопанный и взрыхленный лемехами лукоуборочной машины почвенный пласт земли сверху вниз.

Цель исследования – обоснование конструктивных и технологических параметров цилиндрического вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука.

Методика исследований. При работе катка-ложеобразователя экспериментальной лукоуборочной машины цилиндрический валец после прохода спирального вальца катка-ложеобразователя должен образовать уплотненное ложе путем смятия почвы.

Для этого необходимо, чтобы цилиндрический валец перемещался в почве на определенной глубине $h_{см}$, перекатывался по ней, а не сгруживал ее перед собой. Это будет достигнуто при достаточном коэффициенте трения почвы о поверхность вальца.

Следовательно, для качественной работы цилиндрического вальца катка-ложеобразователя необходимо защемление почвенных комков (рис. 3), т.е. должно соблюдаться ус-

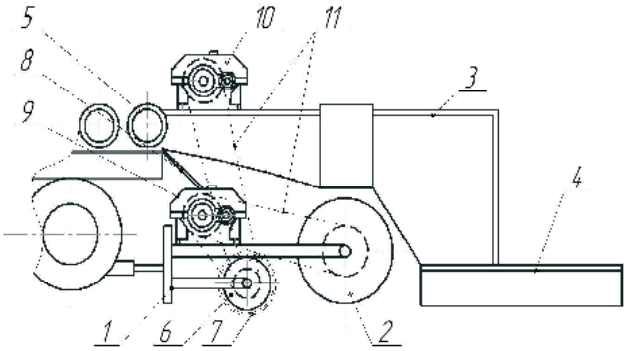

Рис. 1. Схема катка-ложеобразователя лукоуборочной машины: 1 – рама; 2 – валец цилиндрический; 3 – лоток сужающий; 4 – образователь валка; 5 – элеватор сепарирующий; 6 – валец спиральный; 7 – спираль; 8 – лоток схода примесей; 9, 10 – редуктор; 11 – передача цепная

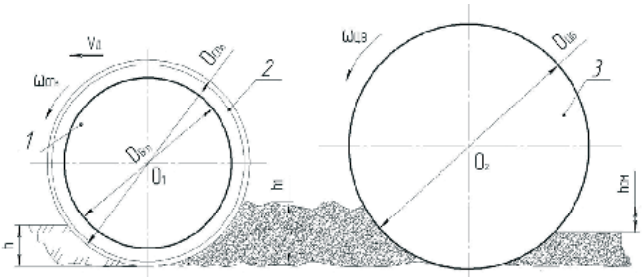

Рис. 2. Взаимодействие вальцов катка-ложеобразователя с почвой: 1 – барабан спирального вальца; 2 – спираль вальца; 3 – валец цилиндрический

ловие, определяемое выражением (1) [2]:

$$\gamma \geq \varphi_1 + \varphi_2, \qquad (1)$$

где φ_1 – угол трения почвы о валец, град; угол внутреннего трения (угол трения комка о почву), град; φ_2 – угол защемления почвенных комков, град.

Из рис. 3 следует, что высота смятия взрыхленного слоя почвы:

$$KL = h_{см} + d_к + d_к \cos\gamma, \qquad (2)$$

где $d_к$ –диаметр почвенного комка, м.

Также

$$KL = D_{цв} - D_{цв} \cos\gamma, \qquad (3)$$

где $D_{цв}$ – диаметр цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, м.

Приравняв выражения (2) и (3), определим диаметр цилиндрического вальца катка-ложеобразователя:

$$D_{цв} = \frac{h_{см} + d_к(1 + \cos\gamma)}{(1 - \cos\gamma)}. \qquad (4)$$

Ширина $B_{цв}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя определяется ши-риной $S_к$ сужающих щитков, на которую будет

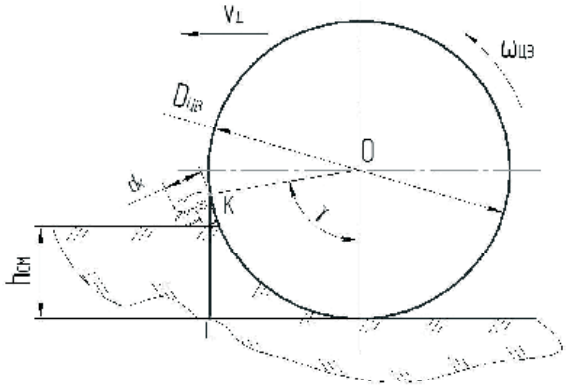

Рис. 3. Схема к определению диаметра цилиндрического вальца катка-ложеобразователя

укладываться валок лука.

Ширина дна образованного ложа должна быть достаточной для укладки валка луковиц, поданных сепарирующим рабочим органом лукоуборочной машины и предвари-тельно усеченным по ширине сужающими щитками.

Для этого необходимо чтобы ширина $B_{цв}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразо-вателя была больше максимальной ширины укладываемого валка:

$$B_{цв} \geq S_к. \qquad (5)$$

Известно, что при движении вальца по полю он сминает почву на некоторую вели-чину $h_{см}$, подвергая почву деформации сжа-тия [2].

Некоторые исследователи определяют за-висимость между напряжением сжатия почвы и нагрузкой на валец следующим образом [2]:

$$\sigma = q h_{см}, \qquad (6)$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3; $h_{см}$ – величина смятия почвы, м.

По результатам исследований Ю.И. Куз-нецова известно, что скорость $\upsilon_{цв}$ воздейст-вия цилиндрического вальца на почву [3]:

$$\upsilon_{цв} = 2\upsilon_д \sqrt{h_{см}/D_{цв}}. \qquad (7)$$

Линейная скорость $\upsilon_д$ цилиндрического вальца определяется выражением:

$$\upsilon_д = \omega_{цв} R_{цв}. \qquad (8)$$

Приравняв выражения (7) и (8), опре-делим частоту вращения цилиндрическо-го вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука-севка:

$$n_{цв} = 60\upsilon_д \pi R_{цв} \sqrt{h_{см}/D_{цв}}. \qquad (9)$$

С целью исключения раскатывания луковиц по поверхности поля величина $h_{см}$ смятия почвенного слоя под воздействием цилиндрического вальца, согласно схемы, изображенной на рис. 4 должна быть больше высоты $H_в$ валка лука-севка и подчи-няться условию:

$$h_{см} \geq H_в. \qquad (10)$$

Выражение (9) с учетом формулы (10) запишется в следующем виде:

$$n_{цв} = 60\upsilon_д \pi R_{цв}\sqrt{H_в / D_{цв}}. \qquad (11)$$

Исходя из известной величины плотности образованного ложа и высоты валка лука-севка, определим величину усадки почвы образованного ложа.

Давление $p_{цв}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву зависит от его массы $m_{цв}$, диаметра $D_{цв}$ и ширины захвата $B_{цв}$, а также от величины тягового усилия $T_{цв}$ (рис. 5).

Для определения искомого давления, оказываемого катком на почву, определим равнодействующую $R_{цв}$ сил веса $G_{цв}$ и тягового усилия $T_{цв}$ цилиндрического вальца:

$$R_{цв} = \sqrt{G^2_{цв} + T^2_{цв}}. \qquad (12)$$

Давление цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву определяют следующим образом [20]:

$$p_{цв} = \frac{\sqrt{G^2_{цв} + T^2_{цв}}}{F_{кп}}, \qquad (13)$$

где $F_{кп}$ – площадь контакта цилиндрического вальца с почвой, м^2.

Тяговое усилие $T_{цв}$ цилиндрического вальца находят по известной формуле [2]:

$$T_{цв} = 0{,}86\sqrt[s]{\frac{G^4_{цв}}{qB_{цв}D_{цв}}}, \qquad (14)$$

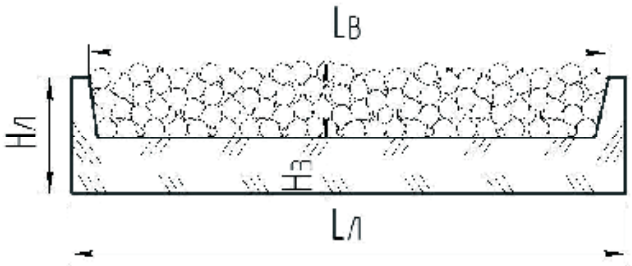

Рис. 4. Форма поверхности образованного ложа

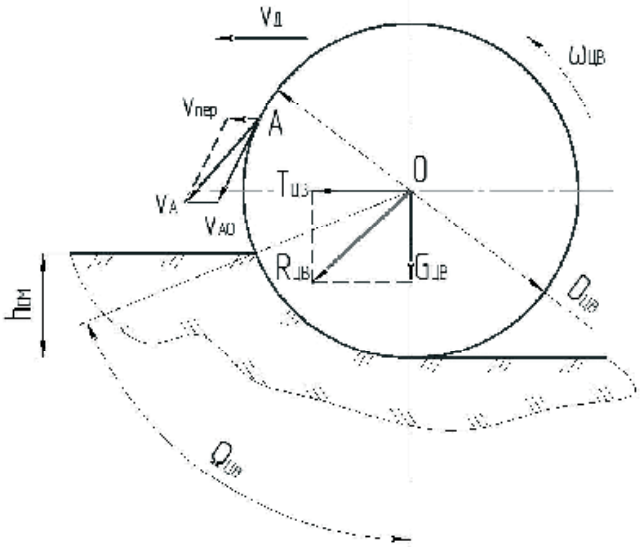

Рис. 5. К определению давления цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м^3.

Однако, учитывая тот факт, что цилиндрический валец катка-ложеобразователя лукоуборочной машины является активным, следовательно, время и интенсивность воздействия его на почву увеличиваются, то формула, определяющая тяговое сопротивление вальца, должна учитывать скорость движения и частоту вращения (см. рис. 5):

$$T_{цв} = 0{,}86\sqrt[s]{\frac{G^4_{цв}}{qB_{цв}D_{цв}}} + \frac{\upsilon_A}{gf}, \qquad (15)$$

где υ_A – абсолютная скорость точки B цилиндрического вальца, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; f – коэффициент сопротивления перекатыванию, учитывающий сопротивления, связанные с деформированием почвы.

Абсолютную скорость т. A обода цилиндрического вальца определим по теореме о сложении скоростей [1]:

$$\upsilon_A = \sqrt{\upsilon^2_{пер} + \upsilon^2_{AO} + 2\upsilon^2_{пер}\upsilon^2_{AO}\cos\alpha}, \qquad (16)$$

где $\upsilon_{пер}$ – переносная скорость т. A, м/с; υ_{AO} – относительная скорость т. А, м/с; α – угол между векторами $\upsilon_{пер}$ и υ_{AO}, град.

Относительная скорость υ_{AO} т. A:

$$\upsilon_{AO} = \omega_{цв}R_{цв}, \qquad (17)$$

где $\omega_{цв}$ – угловая скорость цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, рад/с.

$$\omega_{ЦВ} = \frac{\pi n_{ЦВ}}{30}, \quad (18)$$

где $n_{ЦВ}$ – частота вращения цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, мин$^{-1}$.

Переносная скорость $\upsilon_{ПЕР}$ т. *А*:

$$\upsilon_{ПЕР} = \upsilon_{Д}, \quad (19)$$

где $\upsilon_{Д}$ – поступательная скорость движения лукоуборочной машины, м/с.

С учетом выражений (17), (18) и (19), абсолютная скорость т. *А* обода цилиндрического вальца:

$$\upsilon_{A} = \sqrt{\upsilon_{Д}^2 + \left(\frac{\pi n_{ЦВ}}{30} R_{ЦВ}\right)^2 + 2\upsilon_{Д}^2 \left(\frac{\pi n_{ЦВ}}{30} R_{ЦВ}\right)^2 \cos\alpha}. \quad (20)$$

Таким образом, выражение (17) с учетом (22) примет следующий вид:

$$T_{ЦВ} = 0{,}86^{g} \sqrt{\frac{G^4_{ЦВ}}{q B_{ЦВ} D_{ЦВ}}} + \frac{\sqrt{\upsilon_{Д}^2 + \left(\frac{\pi n_{ЦВ}}{30} R_{ЦВ}\right)^2 + 2\upsilon_{Д}^2 \left(\frac{\pi n_{ЦВ}}{30} R_{ЦВ}\right)^2 \cos\alpha}}{g \cdot f}. \quad (21)$$

Площадь $F_{КП}$ контакта цилиндрического вальца с почвой определяют по формуле

$$F_{КП} = \frac{F_{П} \Omega_{ЦВ}}{360}, \quad (22)$$

где $F_{П}$ – площадь поверхности цилиндрического вальца, м^2; $\Omega_{ЦВ}$ – угол контакта цилиндрического вальца с почвой, град.

Площадь $F_{П}$ поверхности цилиндрического вальца определяется по выражению

$$F_{П} = L_{ЦВр} B_{ЦВ}, \quad (23)$$

где $L_{ЦВр}$ – длина развертки цилиндрического вальца, м.

$$L_{ЦВр} = 2\pi R_{ЦВ}. \quad (24)$$

Площадь $F_{КП}$ контакта цилиндрического вальца, определяемая по формуле (22) с учетом выражений (23) и (24):

$$F_{КП} = \frac{\pi R_{ЦВ} B_{ЦВ} \Omega_{ЦВ}}{180}. \quad (25)$$

Давление $p_{ЦВ}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву с учетом выражений (23) и (27):

$$p_{ЦВ} = \frac{\sqrt{G^2_{ЦВ} + T^2_{ЦВ}}}{F_{КП}}. \quad (26)$$

Заключение. При проведении теоретических исследований по обоснованию конструктивных и технологических параметров цилиндрического вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука рассчитаны:

диаметр $D_{ЦВ}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя (4);

ширина $B_{ЦВ}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя, определяемая шириной $S_{К}$ сужающих щитков, на которую будет укладываться валок лука (5);

частота $n_{ЦВ}$ вращения цилиндрического вальца катка-ложеобразователя машины для уборки лука-севка (11);

тяговое усилие $T_{ЦВ}$ цилиндрического вальца (21);

площадь $F_{КП}$ контакта цилиндрического вальца с почвой (25);

давление $p_{ЦВ}$ цилиндрического вальца катка-ложеобразователя на почву (26).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С.* Теоретическая механика в примерах и задачах. в 3 т. Т.2. Динамика. – М.: Наука, 1985. – 560 с.

2. *Зыкин Е.С.* Разработка и обоснование технологии и средств механизации гребневого возделывания пропашных культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Е.С. Зыкин. – Ульяновск, 2017. – 637 с.

3. *Кузнецов Ю.И.* Элементы теории рабочих органов для разрушения почвенных глыб // НТБ ВИМ. – М.: ВИМ, 1982. – Вып. 50.

4. *Ларюшин А.М.* Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.М. Ларюшин. – Пенза, 2010. – 426 с.

5. Машинная технология производства лука / Я.П. Лобачевский [и др.]. – М., 2016. – 168 с.

6. Патент № 2601060 Россия, МПК A01 C11/02. Каток-ложеобразователь лукоуборочной машины / А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв, С.Б. Прямов, М.А. Мосяков, № 2601060; заявл. 13.10.2015; опубл. 27.10.2016, Бюл. № 11.

7. Патент № 2585481 Россия, МПК A01 D17/00. Машина для уборки лука-севка / А.Г. Аксенов, С.А. Прямов, А.В. Сибирёв, № 2585481; заявл. 24.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.

8. Полевые исследования катка-ложеобразователя машины для уборки лука / А.В. Сибирёв [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 8. – С. 15–21.

9. *Протасов А.А.* Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 /

А.А. Протасов. – Саратов, 2005. – 355 с.

10. *Рейнгарт Э.С.* Обоснование параметров и разработка машин для уборки корнеплодов и лука: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Э.С. Рейнгарт. – М., 1995. – 38 с.

11. *Сибирёв А.В.,* Аксенов А.Г., Дорохов А.С. Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 3. – С. 20–24.

12. *Сорокин А.А.* Теория и расчет картофелеуборочных машин. – М., 2006. – 159 с.

Сибирёв Алексей Викторович, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.*

Аксенов Александр Геннадьевич *канд. техн. наук, зав. отделом технологий и машин в овощеводстве Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.*

Дорохов Алексей Семенович, *д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия.*

109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5. Тел.: (499) 174-89-11.

Ключевые слова: *конструктивные параметры; технологические параметры; лук; диаметр вальца; ширина вальца; плотность почвы.*

RESULTS OF THEORETICAL RESEARCHES OF THE CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE CYLINDRICAL ROLLER OF ONIONS HARVESTING MACHINE

Sibiriev Aleksey Viktorovich, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Technology and Machines in Vegetable Farming, Agroengineering Center VIM, Russia.*

Aksenov Alexander Gennadievich, *Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technology and Machines in Vegetable Farming Agroengineering Center VIM, Russia.*

Dorokhov Alexei Semenovich, *Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Agroengineering Center VIM, Russia.*

Keywords: *constructive parameters; technological parameters; onion; roll diameter; roll width, soil density.*

The technological process of operation of a cylindrical bad-shaping roller of onion harvesting machine has been theoretically studied. The technological and design parameters of the cylindrical bad-shaping roller have been determined. They have a limiting effect on the operation of the machine for onion harvesting. They are diameter, width and rotational speed of the cylindrical bad-shaping roller, traction force, contact area and pressure of the cylindrical bad-shaping roller on the soil.

УДК 696.2

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОВЫХ СЕТЯХ

СОЛОВЬЕВА Елена Борисовна, *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

В работе рассмотрены различные колебания давления газа у потребителей, которые зависят от величины расчетного перепада и степени его использования на пути движения газа от точки питания до газоиспользующей установки.

Введение. При сжигании газовоздушной смеси при стехиометрическом составе возникает ряд трудностей, связанных с устойчивостью процесса горения. Нарушение устойчивости горения может произойти в случае проскока или отрыва пламени. Угроза проскока или отрыва пламени возникает при увеличении доли первичного воздуха в газовоздушной смеси и приближении ее по составу к стехиометрической. Наиболее устойчивым является диффузионное горение, когда весь необходимый для него воздух поступает непосредственно в зону горения. Возможные пределы устойчивой работы газогорелочных устройств широки. Диффузия вторичного воздуха к потоку газа не зависит от скорости потока. С увеличением доли первичного воздуха пределы устойчивого процесса горения сокращается и при подачи смеси стехиометрического состава они сужаются на столько, что малешее нарушение нагрузки горелки приводит либо к отрыву, либо проскоку пламени [1, 2].

Чтобы обеспечить устойчивый процесс горения, необходимо поддерживать скорость входа газовоздушной смеси в определенном