

УДК 631.3-181.4

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАСЧЕТА ОБЩЕЙ ДИНАМИКИ АГРЕГАТА НА БАЗЕ ОДНООСНОГО МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ТЯГОВОГО ТИПА

М.А. Прищепов,

профессор каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

Ан.А. Сильченко,

*консультант отдела науки главного управления образования, науки и кадров
Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, канд. техн. наук, доцент*

Ю.Н. Силкович,

профессор каф. цифровых систем и технологий Института бизнеса БГУ, канд. техн. наук, доцент

Ал.А. Сильченко,

*науч. сотр. сектора государственной регистрации НИОК(Т)Р отдела научно-методического обеспечения
реестров научно-технической деятельности ГУ «Белорусский институт системного анализа и
информационного обеспечения научно-технической сферы», магистр техники и технологии*

В статье рассмотрены результаты исследований общей динамики тягового агрегата на базе одноосного мобильного энергетического средства. Проведен анализ влияния параметров балластирования и тяговой нагрузки на реакцию колеса и опорной пяты плуга, коэффициент распределения веса, силу трения пяты плуга, усилие на рукоятках управления. Разработано программное средство в системе MATLAB, которое позволяет моделировать влияние различных параметров агрегата при их изменении на общую динамику.

Ключевые слова: общая динамика, одноосное мобильное энергетическое средство, тяговая нагрузка, программное средство, балластный груз, опорная пята плуга, усилия на рукоятках управления.

The article deals with the research of general dynamics of a traction unit based on a single-axis mobile power vehicle. The influence analysis of neutralizing and traction load parameters to the reaction of wheel, the reaction of a plough support feet, weight distribution coefficient, plough feet parasitic friction, control lever force has been carried out. Software tool in MATLAB system that allows simulating the influence of various parameters of the unit under their changes on the overall dynamics has been developed.

Keywords: overall dynamics, single-axis mobile power vehicle, traction load, software tool, balance weight, plough support feet, control lever force.

Введение

Теоретические основы общей динамики тракторов в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) изложены в работах Чудакова Д.А., Гуськова В.В., Скотникова В.А., Горина Г.С. и других исследователей [1-4].

В настоящей работе рассмотрена общая динамика тягового одноосного мобильного энергетического средства (ОМЭС) в составе агрегата с плугом ПЛ-1 к мотоблоку МТЗ-08(09) (сельхозорудие).

ОМЭС – одноосное мобильное энергетическое средство малой механизации для приусадебных и тепличных хозяйств, применяемое на мобильных и стационарных процессах растениеводства, животноводства и коммунально-бытовой сферы [5-17].

В статье представлены модели и программные средства, позволяющие анализировать влияние различных параметров тягового агрегата и тяговой нагрузки при их изменении на общую динамику тягового агрегата на базе ОМЭС.

Под тяговым агрегатом в общем случае понимаем совокупность ОМЭС с сельхозорудием (плугом) на задней навеске.

Цель исследований – установить, как с ростом внешних сил и моментов, действующих на рабочий орган (РО) плуга, изменяются нормальные реакции опорной поверхности на колесах ОМЭС и опорной пяте сельхозорудия.

Основная часть

Принимаем, что ОМЭС тягового типа жестко соединен с сельхозорудием, т.е. является составной частью агрегата. Обычно сельхозорудия, агрегатируемые с ОМЭС, не имеют опорных колес. Вес сельхозорудия воспринимается опорной пятой полевой доски плуга. К последней приложим реакцию U_n .

При неустановившемся движении (ускоренном или замедленном) на тяговый агрегат действуют следующие силы [4] (рис. 1):

$$R_x \operatorname{tg} \theta = G_n + R_y,$$

где R_y – результирующая всех вертикальных реакций почвы, действующих на РО сельхозорудия.

У агрегатов на базе ОМЭС реакция R_y положительная, т.е. направлена вниз с целью догрузки колес. В тяговом агрегате с классической схемой агрегатирования сельхозорудия при основной почвообработке РО «засасывается» в почву.

Величину нормальной реакции почвы ΔY_n , действующей на полевую доску РО сельхозорудия найдем из уравнения моментов относительно его мгновенного центра вращения O_k . Последний находится в геометрическом центре оси ведущего колеса ОМЭС.

$$R_{pez} \cdot m = Y_n \cdot l_n, \quad (1)$$

где m и l_n – соответственно плечи сил R_{pez} и ΔY_n относительно мгновенного центра вращения навесного сельхозорудия.

Отсюда:

$$Y_n = R_{pez} \cdot m / l_n, \quad (2)$$

Произведение $R_{pez} \cdot m$ Чудаков Д.А. называл [2] заглубляющим моментом. Устойчивая работа возможна в том случае, если заглубляющий момент имеет положительное значение.

Чем больше расстояние l_n от РО орудия до центра O_k , тем меньше реакция Y_n .

Вектор результирующей реакции почвы, действующей на РО сельхозорудия в продольно-вертикальной плоскости, определяем по формуле:

$$\bar{R}_{pez} = \bar{R}_x + \bar{R}_x \operatorname{tg} \theta + \bar{G}_n, \quad (3)$$

где

$$R_x \cdot \operatorname{tg} \theta = R_y + G_n.$$

Далее определим нормальные реакции почвы на колеса ОМЭС и РО сельхозорудия.

Примем, что ОМЭС в составе агрегата с плугом работает на горизонтальном участке и скорость агрегата – установившаяся.

Из рисунка 1 следует

$$\Sigma X = 0: \text{ и } X_k = R_x + \Delta R_x.$$

$$\Sigma Y = 0: \text{ и } G + G_{\bar{o}} + G_{\bar{o}k} + R_x \operatorname{tg} \theta - Y_k - Y_n \pm \pm Y_{pyk} = 0,$$

$$\Sigma M_{O_k} = 0. G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}} + G \cdot a - X_k \cdot r_{\bar{o}} - Y_k \cdot a_k - - R_x \operatorname{tg} \theta a_n + (R_x + \Delta R_x)(r_{\bar{o}} + h_r) + Y_n \cdot l_n + + Y_{pyk} a_{pyk} = 0,$$

При этом

$$M_k = (X_k + P_f) r_{\bar{o}},$$

$$(-Y_k \cdot a_k) = M_f.$$

В статике в рабочем положении нормальные реакции на колесах ОМЭС тягового типа и полевой доске плуга равны весу агрегата

$$Y_n + Y_k^{cm} = G + G_n + G_{\bar{o}} + G_{\bar{o}k} \quad (4)$$

Далее введем понятие «паразитной» силы. Под «паразитной» силой понимается сила трения полевой доски сельхозорудия, возникающая при перераспределении части веса с одноосного ОМЭС на РО сельхозорудия.

С учетом коэффициента трения μ определим силы трения в контакте полевой доски плуга с почвой в продольно-вертикальной плоскости:

$$\Delta R_x = Y_n \cdot \mu, \quad (5)$$

Тогда, изменение нормальной реакции почвы на РО навесного орудия:

$$Y_n = (R_x \cdot \operatorname{tg} \theta a_n - G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}} - G \cdot a - R_x \cdot (r_{\bar{o}} + h_r) - Y_{pyk} \cdot a_{pyk} + M_k) / (l_n + \mu \cdot (r_{\bar{o}} + h_r)) \quad (6)$$

Для того чтобы обеспечить положительный заглубляющий момент, $R_{pez} \cdot m$ необходимо выдержать соотношение:

$$\operatorname{tg} \theta > r_{\bar{o}} / a_n \quad (7)$$

Нормальная реакция, действующая на колеса ОМЭС тягового типа равна:

$$Y_k = G + G_{\bar{o}} + G_n + R_x \cdot \operatorname{tg} \theta - Y_n \pm Y_{pyk} \quad (8)$$

Обычно [2] коэффициент нагрузки передних и задних колес трактора равен соответственно

$$\lambda_n = Y_n / G, \quad \lambda_k = Y_k / G.$$

Распределение нормальных реакций между колесами ОМЭС и РО сельхозорудия будем характеризовать аналогичным коэффициентом λ . Из рисунка 1 следует

$$G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}} + G \cdot a - G_n \cdot a_n \pm Y_{pyk} \cdot a_{pyk} = 0.$$

Если $Y_{pyk} = 0$, через коэффициент распределения нормальной нагрузки обозначим выражение

$$\lambda = (G \cdot a + G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}}) / (G_n \cdot a_n) = M_{onp} / M_{cm}, \quad (9)$$

где M_{onp} – опрокидывающий момент,

$$M_{onp} = G \cdot a + G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}};$$

M_{cm} – стабилизирующий момент, $M_{cm} = G_n \cdot a_n$.

Тогда

$$G_n \cdot a_n \cdot (1 - \lambda) = Y_{pyk} \cdot a_{pyk}.$$

Общий вес МТА равен

$$G + G_{\bar{o}} + G_n = G_{общ}, \quad (10)$$

Отсюда следует:

если $\lambda = 0$, (при $a = 0, a_{\bar{o}} = 0$), $G_n \cdot a_n = Y_{pyk} \cdot a_{pyk}$,

если $\lambda = 1$, (при $G \cdot a + G_{\bar{o}} \cdot a_{\bar{o}} = G_n \cdot a_n$), $Y_{pyk} = 0$,

если $\lambda > 1$, $Y_{pyk} < 0$,

если $\lambda < 1$, $Y_{pyk} > 0$.

Реакции ΔY_n и Y_k разгружают колеса ОМЭС тягового типа. Поэтому вес балластных грузов у тягового ОМЭС $G_{\bar{o}} = 0,51$ кН, вес ОМЭС $G = 1,4$ кН.

Согласно ГОСТ 21753-78 «Система человек-машина. Рычаги управления. Общие эргономические требования», усилие, прилагаемое к рукояткам управления одноосного ОМЭС, не должно превышать $Y_{pyk} = 45$ Н.

Для работы с тяговым усилием $P_{кр} = 1$ кН, масса ОМЭС тягового типа должна составить $m = 180...190$ кг. Неудовлетворительные энергетические показатели связаны с разгрузкой колес ОМЭС и большой догрузкой сельхозорудия Y_n в процессе выполнения тяговых процессов.

Одним из недостатков, характерных современным тяговым ОМЭС, является большая масса, а, следовательно, стоимость.

В транспортном положении ОМЭС тягового типа опрокидывающий момент силы веса G_H уравновешивается моментом сил веса ОМЭС, балластных грузов и усилием на рукоятке. При этом агрегат наклонен к горизонту под углом δ (рис. 2, 3)

$$\delta = \arctg \frac{h_\delta}{a_H}$$

Сумма моментов сил относительно точки K в этом случае

$$G_\delta \cdot \cos \delta \cdot (a_\delta - a_\delta) + G_\delta \cdot \sin \delta \times (h_\delta - h_\delta) + G \cdot \cos \delta \cdot (a - a_\delta) + G \cdot \sin \delta \times (h - h_\delta) - G_{\delta K} \cdot \cos \delta \cdot a_\delta + G_{\delta K} \cdot \sin \delta \times (r_\delta - h_\delta) - G_H \cdot \cos \delta \cdot (a_H + a_\delta) - G_H \times \sin \delta \cdot (h_H + h_\delta) + Y_{рук0} \cdot \cos \delta \times$$

$$\times (a_{рук} + a_\delta) - Y_{рук0} \cdot \sin \delta \cdot (h_{рук} - h_\delta) = 0;$$

$$a_\delta = r_\delta \cdot \sin \delta + a_k \cdot \cos \delta$$

$$h_\delta = r_\delta \cdot (1 - \cos \delta) + a_k \cdot \sin \delta$$

Отсюда находим необходимое усилие на рукоятке:

$$Y_{рук0} = (G_\delta \cdot \cos \delta \cdot (a_\delta - a_\delta) + G_\delta \times \sin \delta \cdot (h_\delta - h_\delta) + G \cdot \cos \delta \cdot (a - a_\delta) + G \cdot \sin \delta \cdot (h - h_\delta) - G_{\delta K} \cdot \cos \delta \cdot a_\delta + G_{\delta K} \cdot \sin \delta \cdot (r_\delta - h_\delta) - G_H \cdot \cos \delta \times (a_H + a_\delta) - G_H \cdot \sin \delta \cdot (h_H + h_\delta)) / ((\sin \delta \times (h_{рук} - h_\delta) - \cos \delta \cdot (a_{рук} + a_\delta)),$$

где r_δ - динамический радиус качения ведущих колес.

Расчетные параметры разработанного ОМЭС в составе агрегата с плугом приведены в таблице 1.

Для анализа влияния параметров агрегата и тяговой нагрузки на общую динамику тягового агрегата на базе ОМЭС с плугом разработано программное средство в системе MATLAB, которое позволяет моделировать влияние различных параметров агрегата при их изменении на общую динамику.

Проведен анализ влияния параметров балластирования (G_δ и a_δ , рис. 4) и нагрузки (R_x , θ , a_H , рис. 5, 6) на реакцию колеса Y_k , реакцию опорной пяты Y_H , коэффициент распределения веса λ_k , «паразитную» силу трения ΔR_x , усилие на рукоятке $Y_{рук0}$ в транспортном положении.

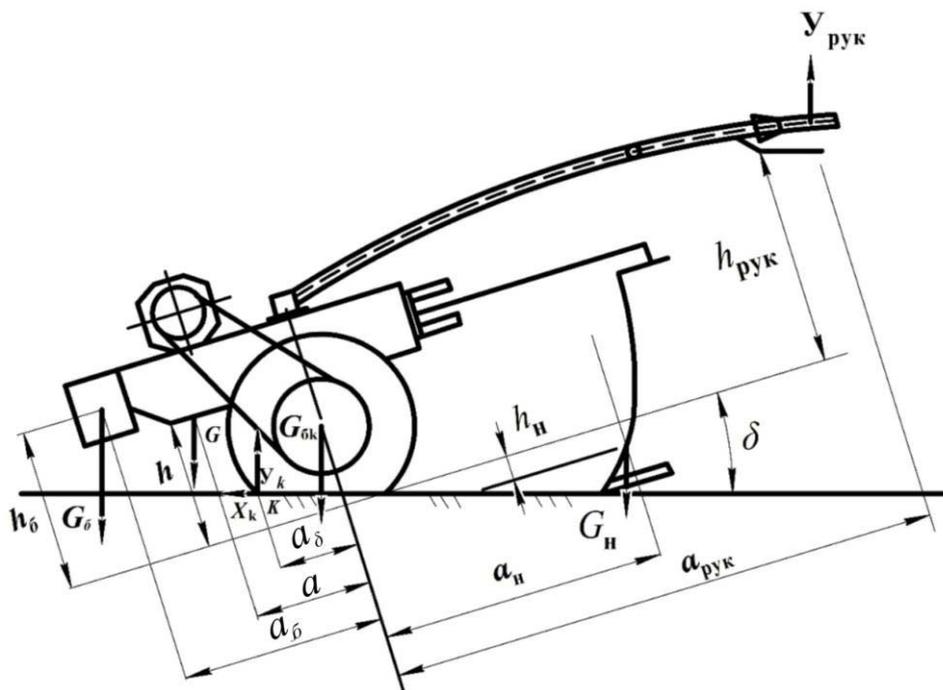


Рисунок 2. Расчетная схема агрегата в транспортном положении

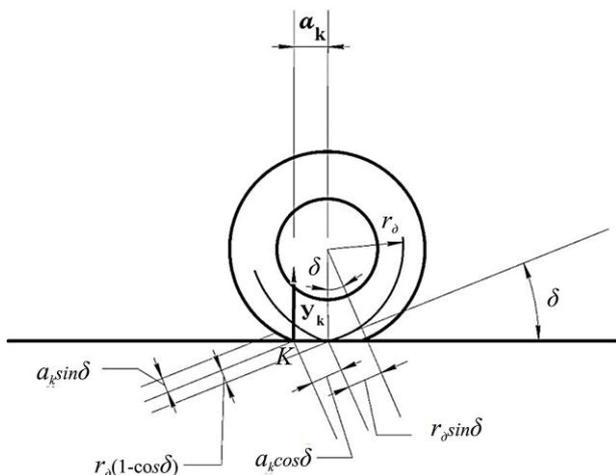


Рисунок 3. Взаимодействие колеса с почвой в транспортном положении

Таблица 1. Полученные значения параметров агрегата в составе ОМЭС и плуга ПЛ-1 в результате теоретических исследований

Параметры разработанного тягового агрегата	Значение
G , кН	1,4
G_H , кН	0,24
G_δ , кН	0,34
a , м	0,021
a_H , м	0,605
a_δ , м	0,54
$a_{рук}$, м	1,0
h , м	0,325
h_r , м	0,10
L , м	0,845
r_δ , м	0,300
θ , °	32

В тяговом агрегате в составе ОМЭС и плуга увеличение веса и выноса вперед по ходу движения балластных грузов (G_b и a_b , рис. 4):

- увеличивает догрузку ведущих колес, улучшая тягово-сцепные свойства агрегата;
- уменьшают нагрузку на опорную пятю плуга и «паразитную» силу;
- однако при этом абсолютное значение усилия на рукоятке возрастает до недопустимых значений (0,4 кН).

Влияние тяговой нагрузки (R_x , θ , a_n , рис. 5, 6) в агрегате проявляется следующим образом:

- увеличение тяговой нагрузки R_x и угла θ увеличивает догрузку ведущих колес, но нагрузка на опорную пятю и «паразитная» сила также увеличиваются. При этом влияние угла θ в диапазоне $30^\circ \dots 40^\circ$ оказывает меньшее влияние, чем изменение нагрузки. Увеличение расстояния a_n до сельхозорудия приводит к небольшому увеличению нагрузки на опорную пятю плуга и снижению нагрузки на ведущие колеса, но при этом существенно снижает абсолютное значение усилия на рукоятке в транспортном положении.

Заключение

1. Для работы с тяговым усилием $P_{кр} = 1$ кН масса ОМЭС тягового типа должна составить $m = 180 \dots 190$ кг. Неудовлетворительные энергетические показатели связаны с разгрузкой колес ОМЭС и большой догрузкой сельхозорудия U_n в процессе выполнения тяговых процессов.

2. Для анализа влияния параметров мини-агрегата и тяговой нагрузки на общую динамику тягового агрегата на базе ОМЭС с плугом разработано программное средство в системе MATLAB, который позволяет моделировать влияние различных параметров агрегата при их изменении на общую динамику. Проведен анализ влияния параметров балластирования и тяговой нагрузки на реакцию колеса Y_k , реакцию опорной пятю Y_n , коэффициент распределения веса $\lambda_{кс}$, «паразитную» силу трения ΔR_x , усилие на рукоятке $Y_{рук0}$ в транспортном положении.

3. Проведенные расчеты показали, что в тяговом агрегате увеличение веса и выноса вперед по ходу движения балластных грузов (G_b и a_b):

- увеличивает догрузку ведущих колес, улучшая тягово-сцепные свойства агрегата;
- уменьшают нагрузку на опорную пятю и «паразитную» силу;
- однако при этом абсолютное значение усилия на рукоятке возрастает до недопустимых значений (0,4 кН).

Влияние тяговой нагрузки в агрегате проявляется следующим образом:

- увеличение тяговой нагрузки R_x и угла θ увеличивает догрузку ведущих колес, но нагрузка на опорную пятю и «паразитная» сила также увеличиваются, при этом влияние угла θ в диапазоне $30^\circ \dots 40^\circ$ оказывает меньшее влияние, чем изменение нагрузки;
- увеличение расстояния a_n до сельхозорудия приводит к небольшому увеличению нагрузки на опорную пятю и снижению нагрузки на ведущие колеса, но при этом существенно снижает абсолютное значение усилия на рукоятке в транспортном положении.

4. В результате проведенного анализа видно, что с целью обеспечения требуемого усилия на рукоятке, необходимо балластировать агрегат в транспортном положении, что

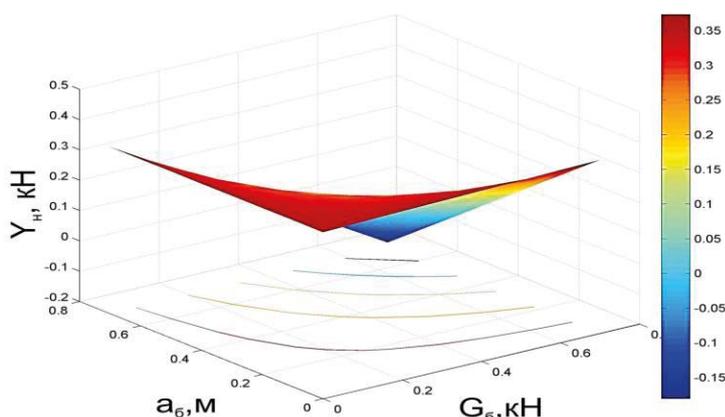


Рисунок 4. Влияние веса G_b и выноса a_b балластных грузов на нормальную реакцию опорной пятю Y_n в тяговом агрегате

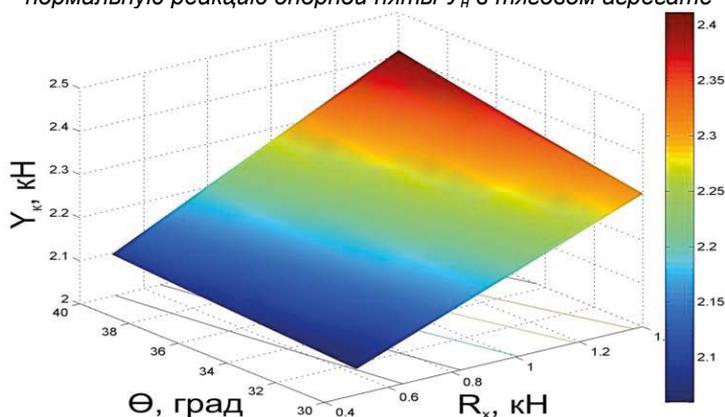


Рисунок 5. Влияние тяговой нагрузки R_x и угла θ на нормальную реакцию колеса Y_k в тяговом агрегате

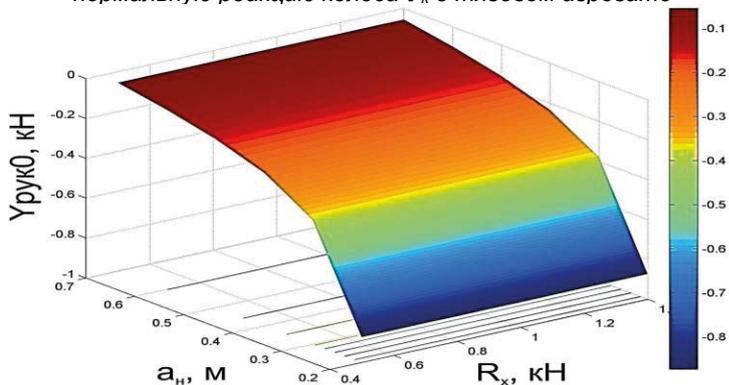


Рисунок 6. Влияние тяговой нагрузки R_x и расстояния a_n до сельхозорудия на усилие на рукоятке $Y_{рук0}$ в транспортном положении

бы обеспечить близкое к нулю усилие на рукоятке. В этом случае из приведенных графиков видно, что увеличение тяговой нагрузки R_x и расстояния a_n до сельхозорудия приводит к увеличению нагрузки на ведущие колеса и в значительно меньшей степени нагрузки на опорную пятю, при этом вес балластных грузов составляет 0,1...0,45 кН.

Таким образом, можно обеспечить улучшение тягово-сцепных свойств агрегата без увеличения «паразитной» силы. Окончательный же выбор параметров мини-агрегата на базе ОМЭС тягового типа можно произвести после проведения тягового расчета с целью обеспечения лучших тягово-энергетических показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников [и др.]; под общ. ред. В.А. Скотникова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
2. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1972. – 383 с.
3. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 326 с.
4. Гуськов, В.В. Тракторы. Теория / В.В. Гуськов. – Мн.: Выш. школа, 1977. – Ч. 2. – 384 с.
5. Программа развития и поддержки личных подсобных хозяйств граждан в 2011 – 2015 годах: пост. Совета Министров Республики Беларусь, 27 октября 2010 г., № 1578.
6. Залыгина, О.Г. Малая механизация в приусадебном и фермерском хозяйствах / Под ред. О.Г. Залыгина. – Киев: Урожай, 1996. – 368 с.

7. Беляков, В.А. Личное подсобное хозяйство при социализме / В.А. Беляков. – М.: Экономика, 1970. – 184 с.

8. Мини-тракторы / В.В. Бурков [и др.]; под общ. ред. В.В. Буркова. – Л.: Машиностроение: Ленинградское отд-ние, 1987. – 272 с.

9. Гурыков, М.В. Малогабаритная сельскохозяйственная техника: справочник / М.В. Гурыков, Н.Н. Поляков. – М.: Машиностроение, 1994. – 160 с.

10. Питерский, В.М. Приусадебная техника: обзор / В.М. Питерский. – М.: ВНИИ технической эстетики, 1976. – 31 с.

11. Сальникова, А.С. Конструкции мотоблоков / А.С. Сальникова, В.Г. Рославлев, В.П. Коберниченко. – М.: Тракторсельхозмаш, 1984. – Сер. № 4. – 28 с.

12. Энергетические средства малой механизации, мотоблоки зарубежных фирм: обзор / Р.И. Кардивадзе [и др.]. – М.: Тракторсельхозмаш, 1979. – Вып. 16. – 24 с.

13. Келлер, Н.Д. Состояние и тенденции развития конструкций средств малой механизации (зарубежный опыт): обзор / Н.Д. Келлер, Т.Т. Кусов. – М.: Тракторсельхозмаш, 1978. – Вып. 13. – 44 с.

14. Короткевич, А.В. Мотоблок в личном подсобном хозяйстве / А.В. Короткевич [и др.]. – Мн.: Урожай, 1987. – 127 с.

15. Теплицы и тепличные хозяйства: справочник / Г.Г. Шишко [и др.]; под ред. Г.Г. Шишко. – К: Урожай, 1993. – 424 с.

16. Механизация и автоматизация работ в защищенном грунте / В.Н. Судаченко [и др.]. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1982. – 223 с.

17. Яковлев, А.И. Конструкция и расчет электромотор-колес / А.И. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.04.2021

Микропроцессорная система кормления свиней

Предназначена для оперативного изменения доз кормления, контроля процесса кормления, учета расхода сухого и жидкого корма.

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс кормления свиней, повысить эффективность и снизить издержки производства свинины.

Основные технические данные

1. Полная совместимость с типовым технологическим оборудованием КПС-54, КПС-108.
2. Нормированное кормление, оперативное изменение норм кормления.
3. Расчет фактических объемов замеса и раздачи жидкого корма без остатков.
4. Сокращение времени кормления в 1,5...2 раза.
5. Значительно дешевле и лучше западных аналогов.

