УДК 631.17

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ

Панасюк А.Н., Орехов Г.И., Смолянинова Н.О.

ФГБНУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Благовещенск, e-mail: dal-agris@mail.ru

В статье разработаны методические основы и математическая модель оценки энергетической эффективности агрегатов, которые позволяют одновременно оценивать и оптимизировать энергетические затраты, как в агрегатах, так и в технологических процессах. При рассмотрении технологического модуля использовалась модель закрытой распределительной задачи линейного программирования. Определены направления повышения энергетической эффективности агрегатов за счет изменения конструктивно-режимных параметров. Объектом и предметом полевых и хозяйственных испытаний служили: технологические процессы возделывания и уборки картофеля, тяговый агрегат на полугусеничном ходу; тягово-приводной агрегат с роторным плугом; комбинированный агрегат с фронтальным гидронавесным устройством; на базе трактора класса 1,4; самоходный гусеничный копатель-погрузчик, транспортно-технологический агрегат с центробежными дебалансами; транспортный агрегат с ведущим мостом модернизированного прицепа 2ПТС-6; на базе трактора класса 1,4. Применение новых конструктивно-технологических схем агрегатов снижающих непроизводительные затраты энергии позволяют значительно сократить энергоемкость выращивания картофеля.

Ключевые слова: математическая модель, энергетические затраты, агрегат, технологические процессы

ENERGY MODELING OF UNITS IN TECHNOLOGY

Panasyuk A.N., Orekhov G.I., Smolyaninova N.O.

Far Eastern Research Institute of Agriculturai Mechanization and Electrification, Blagoveshchensk, e-mail: dal-agris@mail.ru

In article methodical bases are developed and a mathematical model of evaluation of efficiency of units, which can simultaneously evaluate and optimize the energy costs, both in units and in technological processes. When considering the process module, using the model of closed distribution of a linear programming problem. The directions of increasing the energy efficiency of the units due to the change of constructive-regime parameters. The object and subject field and farm trials were: technological processes of cultivation and harvesting of potatoes, traction unit, half-track course; a traction-drive unit with rotary plow; combined unit with a front hidromasexim device; on the basis of a class 1,4 tractor; self-propelled crawler digger-loader, transport and process units with centrifugal debalance; transport unit with ve-dwsim the bridge of the modernized trailer 2PTC-6; on the basis of a class 1,4 tractor. The use of new constructive-technological schemes of the units reduces non-productive expenditure of energy can significantly reduce the energy intensity of potato production.

Keywords: mathematical model, energy costs, aggregate, technological processes

Представим энергетическую модель агрегата в виде энергетических составляющих, количество которых определяется назначением агрегата:

$$E_Д = E_{TP} + E_{f(ЭМ)} + E_{f(TM)} + \\ + E_\delta + E_{BOM} + ... + E_{KP},$$

где $E_Д$ – энергия, развиваемая двигателем энергетического модуля; E_{TP} – затраты энергии на преодоление сопротивлений в трансмиссии и движителе; $E_{f(ЭМ)}$ – энергия, необходимая для самопередвижения энергетического модуля; $E_{f(TM)}$ – затраты энергии на перекатывание рабочей машины; E_δ – энергия, затрачиваемая на буксование; E_{BOM} – затраты энергии на привод рабочих органов от ВОМ; E_{KP} – затраты энергии на протаскивание рабочих органов.

Рассматривая технологический модуль как совокупность технологических операций, выполняемых определенным набором агрегатов для решения задачи оптимизации энергозатрат используем модель закрытой распределительной задачи линейного программирования [5]. Система уравнений (1) представляет собой удельные затраты энергии по агрегатам (A_i), , система уравнений (2), соответственно, затраты энергии по составляющим энергетической модели агрегатов (затраты энергии на самопередвижение, т.д. (M_i).

$$\left.\begin{aligned} &E_{П(11)} + E_{П(12)} + E_{П(13)} + \ldots + E_{П(1n)} = E_{П(A1)} \\ &E_{П(21)} + E_{П(22)} + E_{П(23)} + \ldots + E_{П(2n)} = E_{П(A2)} \\ &\ldots \\ &E_{П(m1)} + E_{П(m2)} + E_{П(m3)} + \ldots + E_{П(mn)} = E_{П(Am)} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}
&E_{П(11)}+E_{П(22)}+E_{П(31)}+\ldots+E_{П(m1)}=E_{П(M1)}\\
&E_{П(12)}+E_{П(22)}+E_{П(32)}+\ldots+E_{П(m1)}=E_{П(M2)}\\
&\ldots\\
&E_{n(k1n)}+E_{n(k2n)}+E_{n(k3n)}+\ldots+E_{n(kmm)}=E_{n(Mn)}
\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Формализуем модель в общепринятую систему, для этого представим системы (1) и (2) следующим образом:

$$E_{П(A)}=\frac{N_H\varepsilon_N}{П_o}=\frac{N_H\varepsilon_N}{B\upsilon}\Rightarrow E_{n(A)}\upsilon=\frac{N_H\varepsilon_N}{B},\ E_{n(A)}\upsilon_i=A_i\,; \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned}
&X_{11}+X_{12}+X_{13}+\ldots+X'_{1n}=A_1\\
&X'_{21}+X'_{22}+X'_{23}+\ldots+X'_{2n}=A_2\\
&\ldots\\
&X_{m1}+X'_{m2}+X'_{m3}+\ldots+X'_{mn}=A_m\\
&X_{11}+X_{21}+X'_{31}+\ldots+X'_{m1}=M_1\\
&X'_{12}+X'_{22}+X'_{32}+\ldots+X'_{m2}=M_2\\
&\ldots\\
&X_{1n}+X_{2n}+X_{3n}+\ldots+X_{mn}=M_n
\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

где $M_1+M_2+\ldots M_n=\sum_m A_j$.

Задача оптимизации энергозатрат сводится к отысканию решения при минимизации линейной функции

$$y=C_{11}X_{11}+C_{12}X_{12}+\ldots C_{\min}X_{\mathbf{min}}\rightarrow\min.$$

При этом, за критерий оптимизации принимаем минимальный погектарный расход топлива агрегатами: $G_{га(Ai)}\rightarrow\min$.

Переменные X_{ij} представляют собой удельные затраты мощности на единицу ширины захвата рабочей машины, Вт/м (в трансмиссии, приводе рабочих органов от ВОМ., и т.д.) для определённой удельной производительности агрегатов (м²/Дж.)[1] по видам работ. Коэффициенты C_{ij} – соответственно, доли удельного расхода топлива на единицу скорости. Решение задачи сводится к определению исходного опорного решения и последовательному выполнению итераций по приближению к оптимальному решению.

Элементарный подход к решению системы уравнений невозможен, так как, наряду с неизвестными X_{ij}, не определены и A_{ij}, M_{ij}, C_{ij}. Поэтому на первом этапе решения поставленной задачи формализуем эти показатели. Для определения A_i воспользуемся нормативными требованиями на затраты энергии для выполнения определенной технологической операции, рассчитываемыми на перспективные технологии. Тогда энергетическая составляющая на преодоление механических потерь в трансмиссии и движителе определяется из условия:

$$X_{i1}=A_i\left(1-\eta_{мi}\right)$$

и

$$M_{m1}=\sum_m A_i\left(1-\eta_{v(i)}\right), \quad (5)$$

где $\eta_{м(i)}$ – механический к.п.д.

$$\eta_м=\eta_{тр}\eta_л=\frac{\eta_{тяг}}{\eta_{дв}}. \quad (6)$$

Энергетическая составляющая на самопередвижение энергосредства:

$$X_{i2}=A_i\eta_{тягi}\left(\frac{1-\eta_{fi}}{\eta_{fi}}\right). \quad (7)$$

$$M_{m2}=\sum_m A_i\eta_{тягi}\left(\frac{1-\eta_{fi}}{\eta_{fi}}\right). \quad (8)$$

Энергетическая составляющая, затрачиваемая на буксование:

$$X_{i3} = A_i \eta_{мi}\left(1-\eta_{\delta i}\right) = A_i \frac{\eta_{тяг}}{\eta_{двi}}\left(1-\eta_{\delta i}\right). \quad (9)$$

$$M_{m3} = \sum_m A_i \frac{\eta_{тягi}}{\eta_{двi}}\left(1-\eta_{\delta i}\right) \quad (10)$$

Энергетическую составляющую на протаскивание технологического модуля делим на две составляющие:

а) затраты энергии на преодоление сопротивления качению технологического модуля;

б) затраты энергии на преодоление сопротивления рабочих органов технологического модуля

$$E_{f(TM)} + E_{R(TM)} = X_{iy} = A_i \eta_{тяг}. \quad (11)$$

где тяговый к.п.д. определяется, соответственно, для тягового и тягово-приводного агрегатов:

$$M_{my} = \sum_m A_i \eta_{тягi}. \quad (12)$$

Энергетическая составляющая на привод от ВОМ:

$$X_{i5} = A_i \xi_{BOM} \eta_{BOM}. \quad (13)$$

где

$$\eta_{BOM} = \frac{N_{BOM}}{N_{eBOM}}. \quad (14)$$

Тогда затраты энергии на контрпривод для выполнения технологического процесса:

$$M_{m5} = \sum_m A_i \xi_{BOMi} \eta_{BOMi}. \quad (15)$$

При переводе ТМ в движитель:

$$M_{m5} = \sum_m A_i \xi_{BOMi} \eta_{BOMi} \eta_{тягi}^{TM} \left(\frac{1-\eta_{fi}^{TM}}{\eta_{fi}^{TM}}\right). \quad (16)$$

Если от ВОМ совместный привод на движитель и на рабочие органы (контрпривод)

$$M_{m5} = \sum_m A_j \xi_{BOMi} \eta_{BOMi} \eta_{тягi}^{TM} \left[1-\eta_{тяг}^{TM}\left(\frac{1-\eta_{fi}^{TM}}{\eta_{fi}^{TM}}\right)\right]. \quad (17)$$

где $\eta_{тяг}^{TM}$, η_{fi}^{TM} – тяговый к.п.д. и к.п.д. сопротивления движению технологического модуля с движителем.

С правомерным допущением считаем, что затраты топлива прямо пропорциональны затратам энергии.

Если принять, что

$$C_{ij} = g_{e(i)} \frac{En_{(i)}}{A_{(i)}};$$

то

$$X_{ij} C_{ij} = En_{(ij)} v_i g_{e(i)} \frac{En_{(i)}}{A_i} = k_{ij} g_{e(i)} En_{(i)}; \text{ и } k_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\acute{I}j}};$$

Тогда решение целевой функции примет вид

$$y = 2,778\left[\begin{array}{l} g_{e1}\left(\frac{N_{11}}{N_{H1}} + \frac{N_{12}}{N_{H1}} + \frac{N_{13}}{N_{H1}} + \ldots.. + \frac{N_{1m}}{N_{H1}}\right) E_{n1} + \\ + g_{e2}\left(\frac{N_{21}}{N_{H2}} + \frac{N_{22}}{N_{H2}} + \frac{N_{23}}{N_{H2}} + \ldots.. + \frac{N_{2m}}{N_{H2}}\right) E_{n2} + \\ \ldots. + g_{en}\left(\frac{N_{n1}}{N_{Hn}} + \frac{N_{n2}}{N_{Hn}} + \frac{N_{n3}}{N_{Hn}} + \ldots.. + \frac{N_{nm}}{N_{Hn}}\right) E_{nn} \end{array}\right].$$

Или

$$y = \left[\begin{array}{l} G_{га1}\left(\frac{N_{11}}{N_{H1}} + \frac{N_{12}}{N_{H1}} + \frac{N_{13}}{N_{H1}} + \ldots.. + \frac{N_{1m}}{N_{H1}}\right) + G_{га2}\left(\frac{N_{21}}{N_{H2}} + \frac{N_{22}}{N_{H2}} + \frac{N_{23}}{N_{H2}} + \ldots.. + \frac{N_{2m}}{N_{H2}}\right) + \\ \ldots. + G_{гаn}\left(\frac{N_{n1}}{N_{HnHn}} + \frac{N_{n2}}{N_{Hn}} + \frac{N_{n3}}{N_{Hn}} + \ldots.. + \frac{N_{nm}}{N_{Hn}}\right) \end{array}\right] \quad (18)$$

То есть, в конечном итоге, задача сводится к оптимальному распределению мощности по составляющим энергетической модели агрегата, поиску конструктивно-режимных решений, снижающих непроизводительные затраты энергии (топлива)и максимальном ее использовании на выполнение полезной работы.

Умножим каждое уравнение системы (1) на выражение $\frac{B_i \upsilon_i}{M_{Ti}}$, в итоге получим уравнения вида:

$$Э = \frac{1}{M_T}\left(N_{i1} + N_{i2} + \ldots + N_{in}\right). \quad (19)$$

Представим удельные затраты мощности в виде

$$\frac{N_i}{M_i} = \gamma_i \upsilon_p,$$

где γ_i – удельный силовой параметр, Н/кг.

Тогда любое уравнение системы (1) примет вид

$$\gamma_{fi}\upsilon_p + \gamma_{тягi}\upsilon p + \gamma_{ВОМi}\upsilon p + \ldots + \gamma_{\delta i}\upsilon_p = Э_i \eta_{трi}; \quad (20)$$

Для прицепных агрегатов удельные затраты мощности на протаскивание технологического модуля:

$$Э_{тяг} = \gamma_{тяг}\upsilon_p; \quad (21)$$

$$\gamma_{тяг} = f_{рм}\lambda_{рм} + \gamma_{тяг(\upsilon)}, \quad (22)$$

где $$\lambda_{рм} = \frac{G_{рм}}{M_m};$$

$$\gamma_{тяг} = \frac{K_\upsilon B}{M_T} = \frac{P_{кр}}{M_T} = \frac{\varphi_{кр} G_T}{M_T}. \quad (23)$$

Для тягово-приводных агрегатов удельные затраты мощности на протаскивание рабочих органов:

$$Э_{тяг} = \gamma_{ВОМ}\upsilon_p$$

и $$\gamma_{ВОМ} = \frac{R_{ВОМ} B}{M_T}. \quad (24)$$

где $R_{ВОМ}$ – удельное тяговое сопротивление рабочих органов, приводимых от ВОМ, н/м.

Удельные потери мощности на буксование:

$$Э_\delta = \frac{P_к v_m \delta}{M_T} \quad (25)$$

Для полевых агрегатов удельная сила тяги представляет собой динамический фактор:

$$\gamma_Д = \frac{P_K - P_w}{M_T}. \quad (26)$$

для малых скоростей $P_w \approx 0$; и $\gamma_Д = \frac{P_{K(\varphi)}}{M_T}$.

Тогда

$$Э_\delta = \gamma_Д \upsilon_p \left(\frac{1}{\eta_\delta} - 1\right). \quad (27)$$

Но удельная сила тяги, развиваемая двигателем, реализуется движителем по условиям сцепления:

$$\gamma_Д = \gamma_\varphi = \varphi \lambda_k g. \quad (28)$$

Для того чтобы определиться с направлениями повышения энергетической эффективности агрегатов за счет изменения конструктивно-режимных параметров, преобразуем систему (2) в матричную форму: принимая, что первая задача сводится к системе линейных уравнений в виде

$$\gamma_{fi}\upsilon_{p1} + \gamma_{f2}\upsilon_{p2} + \ldots + \gamma_{fn}\upsilon_{pn} = \sum_{i=1}^{n} Э_i \eta_{трi}(1 - \eta_{fi})$$

$$\gamma_{тяг1}\upsilon_{p1} + \gamma_{тяг2}\upsilon_{p2} + \ldots + \gamma_{тяг.n}\upsilon_n = \sum_{i=1}^{n} Э_i \eta_{трi}\eta_{тягi}$$

$$\gamma_{ВОМ1}\upsilon_{p1} + \gamma_{ВОМ2}\upsilon_2 + \ldots + \gamma_{ВОМn}\upsilon_n = \sum_{i=1}^{n} Э_i \eta_{трi}\zeta\eta_{ВОМi}$$

...

$$\gamma_{\delta 1}\upsilon_{p1} + \gamma_{\delta 2}\upsilon_{p2} + \ldots + \gamma_{\delta i}\upsilon_n = \sum_{i=1}^{n} Э_i \eta_{трi}(1 - \eta_{\delta i}) \quad (29)$$

Выразим удельный силовой параметр γ_i через удельное тяговое сопротивление

$$\gamma_{тяг} = \frac{kB_\upsilon}{M_T}; \gamma_f = \frac{kB_\upsilon}{M_T}\frac{\lambda_к\,\varphi - \varphi_{кр}}{\varphi_{кр}}; \gamma_{BOM} = \frac{k_{\upsilon(BOM)}B}{M_T};\ \gamma_\delta^к = \frac{k_\upsilon B}{M_T}\frac{\lambda_к\,\varphi}{\varphi_{кр}}\left(\frac{1}{\eta_\delta} - 1\right);$$

$$\gamma_\delta^{гус} = \frac{k_\upsilon B}{M_T}\left(\frac{1}{\eta_\delta} - 1\right); \qquad (30)$$

Но $M_T = \frac{N_н}{Э}$; и $\frac{B\upsilon_p}{N_н\xi_N} = \Pi_N$ – удельная чистая производительность при рабочем ходе агрегата, м^2/Дж.

Тогда система (2) примет вид

$$\begin{pmatrix} \gamma^*_{f1} + \gamma^*_{f2} + \ldots + \gamma^*_{fm} \\ \gamma^*_{тяг1} + \gamma^*_{тяг2} + \ldots + \gamma^*_{тяг.m} \\ \ldots \\ \gamma^*_{BOM1} + \chi^*_{BOM2} + \ldots + \chi^*_{BOMm} \\ \gamma^*_{\delta1} + \gamma^*_{\delta2} + \ldots + \gamma^*_{\delta m} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} \Pi_{N1} \\ \Pi_{N2} \\ \ldots \\ \Pi_{N(n-1)} \\ \Pi_{Nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{m} Э_{m1} \\ \sum_{i=1}^{m} Э_{m2} \\ \sum_{i=1}^{m} Э_{m(n-1)} \\ \sum_{i=1}^{m} Э_{mn} \end{pmatrix}. \qquad (31)$$

Или

$$\begin{pmatrix} \alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \ldots + \alpha\gamma_{fm} \\ \beta_{тяг1} + \beta_{тяг2} + \ldots + \beta_{тяг.m} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \chi_{BOM1} + \chi_{BOM2} + \ldots + \chi_{BOMm} \\ \varepsilon_{\delta1} + \varepsilon_{\delta2} + \ldots + \varepsilon_{\delta m} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \ldots\ldots \\ X_{(n-1)} \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{m} Э^*_{m1} \\ \sum_{i=1}^{m} Э^*_{m2} \\ \sum_{i=1}^{m} Э^*_{m(n-1)} \\ \sum_{i=1}^{m} Э^*_{mn} \end{pmatrix}, \qquad (32)$$

где

$$\alpha = k_{\upsilon i}\frac{\lambda_к\ \varphi - \varphi_{кр}}{\varphi_{кр}}, \beta_{тяг} = k_{\upsilon i}, \chi_\delta^к = k_{\upsilon i}\frac{\lambda_к\,\varphi}{\phi_{кр}}\left(\frac{1}{\eta_\delta} - 1\right);$$

либо $\chi_\delta^{гус} = k_{\upsilon i}\left(\frac{1}{\eta_\delta} - 1\right), \chi_{BOM} = k_{\upsilon i(BOM)}\sum_{i=1}^{m} Э^*_{m1}$, на примере для

$$\alpha_{fim} \to \sum_{i=1}^{m} Э^*{}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Э_i\eta_{mpi}(1 - \eta_{fi})}{\sum_{i=1}^{n} Э_i}.$$

Решение системы позволяет определить удельную чистую производительность агрегатов при меняющихся конструктивно-режимных параметрах, задаваемых через безразмерные измерители: коэффициент сцепления φ; коэффициент использования веса $\varphi_{кр}$; коэффициент сопротивления качению *f*; коэффициент нагрузки колес $\lambda_к$; буксование δи др.

Разработаные методические основы и математическая модель оценки энергетической эффективности агрегатов позволяют одновременно оценивать и оптимизировать энергетические затраты, как в агрегатах, так и в технологических процессах. Объектом и предметом полевых и хозяйственных испытаний служили: технологические процессы возделывания и уборку картофеля, тяговый агрегат на полугусеничном ходу; тягово-приводной агрегат с роторным плугом; комбинированный агрегат с фронтальным гидронавесным устройством; на базе трактора класса 1,4; самоходный гусеничный копатель-погрузчик, транспортно-технологический агрегат с центробежными дебалансами; транспортный агрегат с ведущим мостом модернизированного прицепа 2ПТС-6; на базе трактора класса 1,4.

Например установка на трактор МТЗ-80 полугусеничного хода, (увеличение коэффициента сцепления), позволила использовать его в агрегате с дисковой бороной БДТ-3. Т.е. установка полугусеничного хода на колесный трактор 1,4 позволяет использовать его на работах следующего тягового класса. (увеличение коэффициента использования веса), [4] .При этом удельные затраты энергии на единицу производительности при рабочем ходе агрегата составили 7,64 кДж/м^2 (для агрегата ДТ-75–М+БДТ-3 – 7,79 кДж/м^2).

Рис. 1. Трактор класса 1,4 с опцией полугусеничного хода

Для снижения составляющей тягового сопротивления разработан роторный плуг с активными сферическими дисками (ПРН-2,4) [2;3] . За счет снижения затрат энергии на рабочий процесс с 12,57 кДж/м2 до 6,23 кДж/м2 в целом удельные затраты энергии на единицу наработки на вспашке уменьшились с 19,7 кДж/м2 (агрегат ДТ-75М+ПЛН5–35) до 9,38 кДж/м2 (агрегат МТЗ-80 + ПРН-2,4) т.е. в 2,1 раза. При этом расход топлива уменьшился в 1,79 раза, производительность в час основного времени увеличилась в 1,33 раза, рабочая скорость – в 1,53 раза.

Рис. 2. Трактор в агрегате с роторным плугом

В целом применение новых конструктивно-технологических схем агрегатов снижающих непроизводительные затраты энергии в позволили значительно сократить энергоемкость выращивания картофеля.

Рис. 3. Комбинированный агрегат на обработке посадок картофеля

В результате к.п.д. движителя тяговых агрегатов вырос в 1,23 раза (с 0,61 до 0,75), транспортных агрегатов – в 1,15 раза (с 0,61 до 0,70), производительность на операциях по обработке почвы увеличилась в 1,13–1,33, на транспортных работах – в 1,06 –1,16 раза.

Энергоемкость технологических модулей базовой и усовершенствованной технологий выращивания картофеля, МДж/т

Технологический модуль	Базовая технология	Усовершенствованная технология	Результат
Основная обработка почвы	38,5	18,4	-20,1
Предпосадочная обработка почвы	11,3	4,8	-6,5
Посадка и уход за растениями	70,2	65,5	-4,6
Уборка	110,7	86,4	-24,8
Итого	230,7	175,1	-56,6

Таким образом, определив, от каких факторов зависит γ_i, можно влиять на составляющие энергетической модели агрегатов и, решая совместно систему уравнений 1 и 2, добиться максимального использования энергии на полезную работу в технологических процессах.

Список литературы

1. Зангиев, А.А. К обоснованию критерия оптимизации при прогнозировании структуры МТП // Сб. науч. тр. МИИСП. – 1974. – Т. 11. – Вып. 2. – Ч. 1. – С. 115–119.

2. Орехов, Г.И. К разработке комбинированной почвообрабатывающей машины / Г.И. Орехов, А.Н. Панасюк, В.П. Мухин, М.И. Татаринов, А.Н. Демко // Технологии и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего Востока: сб. науч. тр. – Благовещенск: ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2010. – С. 277–282.

3. Панасюк, А.Н. Оптимальный режим работы роторного плуга / А.Н. Панасюк, Г.И. Орехов, А.Н. Демко // Сельский механизатор. – 2011. – №6. – С. 8–9.

4. Панасюк, А.Н. Адаптация полугусеничного движителя к условиям рабочего хода / В.И. Гоменюк, А.Н. Панасюк // Деп. рук. №5 ВС-2011. Деп. ЦииТЭН – Агропром ВНИИЭСХ РАСХН, 2011. – 6 с.

5. Солодовников, А.С. Введение в линейную алгебру и линейное программирование. – М.: Просвещение, 1968. – 18 .