

УДК 656.13

UDC 656.13

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ НАСТУПЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОТКАЗА
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

**MATHEMATICAL MODEL OF
PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE
ONSET OF TECHNOLOGICAL FAILURE OF
A POTATO HARVESTER**

Голиков Алексей Анатольевич
аспирант

Golikov Alexey Anatolevich
postgraduate student

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., доцент

Kostenko Mikhail Yurievich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Рембалович Георгий Константинович
к.т.н., доцент

Rembalovich George Konstantinovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор
*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Математическая модель, представленная в данной статье, предназначена для вероятностной оценки возможности наступления технологического отказа картофелеуборочной машины в зависимости от конкретных условий и режимов эксплуатации

The mathematical model presented in this article is designed to assess the probability of occurrence probability of technological failure potato harvester according to the specific conditions and usage

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ, СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, КЛУБЕНЬ, УРОЖАЙНОСТЬ, КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНАЯ МАШИНА, ВЕРОЯТНОСТЬ

Keywords: POTATO, SEPARATION DEVICES, TUBER, PRODUCTIVITY, POTATO HARVESTERS, PROBABILITY

При эксплуатации картофелеуборочной техники эффективность выполнения работ оценивается соответствием следующих основополагающих показателей агротехническим требованиям [1, 8, 9]:

- повреждение клубней по массе;
- потери клубней;
- чистота картофельного вороха.

Наступление технологического отказа рабочего органа или машины в целом характеризуется превышением хотя бы одного из вышеперечисленных показателей установленных границ АТТ.

Рассмотрим математическую модель вероятностной оценки наступления технологического отказа картофелеуборочной машины оснащенной усовершенствованным рабочим органом сепарации [2].

Для оценки вероятности появления технологического отказа

вследствие превышения предельно допустимого значения повреждений клубней по массе воспользуемся интегральной функцией Лапласа [2, 3, 5]:

$$P_1 = P_n(m_1, m_2) \approx \Phi\left(\frac{m_2 - n \cdot p(A)}{\sqrt{n \cdot p(A) \cdot q(A)}}\right) - \Phi\left(\frac{m_1 - n \cdot p(A)}{\sqrt{n \cdot p(A) \cdot q(A)}}\right), \quad (1)$$

где m_1 – нижняя граница повреждений клубней;

m_2 – верхняя граница повреждений клубней;

n – количество исследуемых клубней, шт.

$p(A)$ – вероятность повреждения клубня массой $m_{кл}$;

$$q(A) = 1 - p(A). \quad (2)$$

Количество исследованных клубней найдем из выражения:

$$n = \frac{m_{общ}}{m_{кл}}, \quad (3)$$

где $m_{общ}$ – исследуемое количество клубней, кг.

$m_{кл}$ – условно принятая масса клубня, кг.

Для определения возможности получения повреждения отдельного клубня воспользуемся формулой полной вероятности [3, 5, 7]:

$$p(A) = p(B_1) \cdot p_{p(B_1)}(A) + p(B_2) \cdot p_{p(B_2)}(A) + \dots + p(B_k) \cdot p_{p(B_k)}(A), \quad (4)$$

где $p(B_i)$ – вероятность появления клубня i -го диапазона;

$p_{p(B_i)}(A)$ – вероятность повреждения клубня i -го диапазона.

События B_i образуют полную группу, а их сумма вероятностей равна:

$$\sum_{i=1}^k p(B_i) = 1. \quad (5)$$

Конкретные значения B_i получаем в ходе проведения лабораторно-полевых исследований массовых характеристик конкретного сорта картофеля. Число k характеризует максимально возможное количество диапазонов варьирования массы клубня.

Примем значение вероятности повреждения клубня определенной

массы $p_{p(B_i)}(A)$ как вероятность превышения допустимой на него нагрузки [2, 7]:

$$p_{p(B_i)}(A) = \frac{\Delta N_i}{N_{\partial.i}} = \frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}}, \quad (6)$$

$N_{\partial.i}$ – допустимое значение нагрузки i -го диапазона, Н;

N_i – действующее значение нагрузки на клубень, Н.

Подставив выражения (2-6) в уравнение (1), получим:

$$P_1 = P_n(m_1, m_2) \approx \Phi \left(\frac{m_2 - \frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right)}{\sqrt{\frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right) \right)}} \right) - \quad (7)$$

$$+ \Phi \left(\frac{m_1 - \frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right)}{\sqrt{\frac{m_{\text{общ}}}{m_{\text{кл}}} \cdot \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^k p(B_i) \left(\frac{N_i - N_{\partial.i}}{N_{\partial.i}} \right) \right)}} \right)$$

Для окончательного определения вероятности P_1 воспользуемся таблицей значений интегральной функции Лапласа.

При определении вероятности превышения показателя «потери клубней» акцентируем внимание на сгруживание картофельного вороха с элеватора уборочной машины.

В этом случае необходимо определить, какое количество вороха подается каждую секунду на элеватор и его предельно-допустимую пропускную способность.

$$P_2 = \frac{\Delta W}{W_{\partial}} = \frac{W_1 - W_{\partial}}{W_{\partial}}, \quad (8)$$

где W_1 – подача клубнесодержащего вороха, м³/с;

W_{∂} – допустимое значение пропускной способности элеватора, м³/с.

Допустимое значение пропускной способности элеватора определяется из условия, что высота подаваемого вороха не должна

превышать размеры упругих элементов. В противном случае отдельные клубни беспрепятственно смогут попадать в пространство между ограничителями и рамой уборочной машины, что приведет к резкому повышению показателя повреждений продукции. С учетом сказанного:

$$W_0 = H_{эл} \cdot v_{эл} \cdot B_{эл} \quad (9)$$

где $v_{эл}$ – линейная скорость усовершенствованного элеватора, м/с;

$B_{эл}$ – расстояние между рядами упругих элементов (активная ширина сепаратора), м.

Между этапами подкопа и попадания на исследуемый элеватор ворох в процессе сепарации теряет часть своей массы за счет удаления примесей. Исходя из этого, в формулу объема подаваемого вороха добавится соответствующий коэффициент:

$$W_1 = \gamma \cdot W_0 \quad (10)$$

где γ – коэффициент изменения состава вороха.

Объем подкапываемого вороха за единицу времени (подача) найдем как:

$$W_0 = v_{маш} \cdot S_{гр} \cdot n_{гр} \quad (11)$$

где $v_{маш}$ – скорость картофелеуборочной машины, м/с;

$n_{гр}$ – количество убираемых рядков;

$S_{гр}$ – площадь профиля грядки, м².

$$S_{гр} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (\sin x + 1) dx \quad (12)$$

При переходе от безразмерных величин к реальным размерам получим:

$$S_{гр} = \frac{H_{гр}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} \left(\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1 \right) dx \quad (13)$$

где H_{ep} – высота грядки, м;

B – ширина грядки, м.

Окончательно получим подачу вороха равную:

$$W_0 = v_{max} \cdot \frac{H_{ep}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} \left(\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1 \right) dx \cdot n_{ep}. \quad (14)$$

Для определения коэффициента γ рассмотрим процесс изменения объема вороха при прохождении предшествующих рабочих органов. Получим следующую зависимость:

$$\gamma = \frac{V_1}{V_0}, \quad (15)$$

где V_1 – объем вороха после рабочего органа сепарации, м³;

V_0 – объем подкапываемого вороха, м³.

Объем подкапываемого вороха найдем как:

$$V_0 = \frac{H_{ep}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} \left(\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1 \right) dx \cdot n_{ep} \cdot l_{\partial}, \quad (16)$$

где l_{∂} – длина учетной делянки, м.

$$l_{\partial} = \frac{S_{\partial}}{B \cdot n_{ep}}. \quad (17)$$

где S_{∂} – площадь учетной делянки, м².

Объем подкапываемого вороха неоднороден и включает в себя почву, клубни, камни и т.д. Учитывая это, запишем формулу (16) следующим образом:

$$V_0 = V_{np} + V_{кл}, \quad (18)$$

где V_{np} – объем примесей в исследуемом ворохе, м³;

$V_{кл}$ – объем клубней в исследуемом ворохе, м³.

Преобразуем $V_{кл}$ как:

$$V_{кл} = \frac{Y \cdot S_{\delta}}{\rho} \quad (19)$$

где Y – урожайность картофеля, кг/м²;

ρ – удельный вес клубней, кг/м³.

Подставив выражения (16), (17) и (19) в (18), выразим V_{np} :

$$V_{np} = \frac{\frac{H_{сп}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_{\delta}}{B} - \frac{Y \cdot S_{\delta}}{\rho} \quad (20)$$

Объем вороха после рабочего органа сепарации снижается за счет частичного отделения примесей, а также потерь клубней и выглядит следующим образом:

$$V_1 = \kappa_1 \cdot V_{np} + \kappa_2 \cdot V_{кл}, \quad (21)$$

где κ_1 – коэффициент изменения объема примесей;

κ_2 – коэффициент изменения объема клубней.

Выражение (21) с учетом выражений (19) и (20) запишем как:

$$V_1 = \kappa_1 \cdot \left(\frac{\frac{H_{сп}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_{\delta}}{B} - \frac{Y \cdot S_{\delta}}{\rho} \right) + \kappa_2 \cdot \frac{Y \cdot S_{\delta}}{\rho} \quad (22)$$

Преобразуем выражение (15), принимая во внимание выражения (16), (17), (22) и получим:

$$\gamma = \frac{B \cdot \left(\kappa_1 \cdot \left(\frac{\frac{H_{ep}}{2} \int_{\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_\delta}{B} - \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right) + \kappa_2 \cdot \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right)}{\frac{H_{ep}}{2} \int_{\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_\delta} \quad (23)$$

Подставив в выражение (10), с учетом (14) и (23) получим:

$$W_1 = \frac{v_{маш} \cdot B \cdot n_{ep}}{S_\delta} \left(\kappa_1 \cdot \left(\frac{\frac{H_{ep}}{2} \int_{\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_\delta}{B} - \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right) + \kappa_2 \cdot \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right) \quad (24)$$

Окончательно получим, что вероятность превышения показателя «потери клубней» равна:

$$P_2 = \frac{v_{маш} \cdot B \cdot n_{ep}}{S_\delta \cdot H_{эл} \cdot v_{эл} \cdot B_{эл}} \left(\kappa_1 \cdot \left(\frac{\frac{H_{ep}}{2} \int_{\frac{B}{4}}^{\frac{3B}{4}} (\sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1) dx \cdot S_\delta}{B} - \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right) + \kappa_2 \cdot \frac{Y \cdot S_\delta}{\rho} \right) - 1 \quad (25)$$

Для выявления возможности появления технологического отказа вследствие превышения показателя «чистота картофельного вороха» необходимо определить сепарирующую способность рабочего органа. В этом случае воспользуемся экспериментально-аналитической методикой расчета, основанной на работах Н.В. Бышова, А.А. Сорокина, И.А. Успенского и др. [4]. Для этого рассмотрим изменение подачи примесей по длине сепаратора.

Количество примесей, просеиваемое на бесконечно малой длине элеватора, определяется как [4]:

$$d\Pi = dl \cdot B_{эл} \cdot q \quad (26)$$

q - интенсивность сепарации, кг/(м²с).

С другой стороны верно следующее равенство [4]:

$$d\Pi = -dQ, \quad (27)$$

где dQ - изменение подачи примесей по длине элеватора, кг/с.

Преобразовав выражение (26) с учетом (27), получим:

$$dQ = -dl \cdot B_{эл} \cdot q. \quad (28)$$

Зависимость интенсивности сепарации от подачи примесей характеризуется следующим уравнением [4]:

$$q = a \cdot Q^b. \quad (29)$$

где a - коэффициента линейности, зависящий от b , $\frac{кг^{1-b}}{м^2 с^{1-b}}$;

b - показатель степени. $b < 1$;

Q - подача примесей, кг/с.

Подставив в выражение (28) величину интенсивности сепарации (29), получим после преобразования следующее [4]:

$$\frac{dQ}{Q^b} = -a \cdot dl \cdot B_{эл}, \quad (30)$$

После интегрирования выражения (30) получаем:

$$\frac{-1}{(b-1)Q^{b-1}} = -a \cdot l \cdot B_{эл} + C, \quad (31)$$

где l – длина элеватора, м.

Постоянную интегрирования C определим исходя из условий, что $l_0 = 0$ и $Q_0 = Q_1$.

$$C = \frac{-1}{(b-1)Q^{b-1}} = \frac{Q_1^{1-b}}{1-b} \quad (32)$$

где Q_1 – подача примесей на исследуемый элеватор, кг/с.

Подачу примесей Q_1 найдем по аналогии с объемной подачей вороха W_1 , без учета массы клубней. Получим следующее выражение:

$$Q_1 = \frac{\rho_{np} \cdot V_{маи} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{эп} \cdot V_{np}}{S_{\delta}} \cdot V_{np} \cdot \quad (33)$$

где ρ_{np} - удельный вес примесей, кг/м³.

После подстановки постоянной интегрирования подачи примесей в выражение (31) и преобразования получим:

$$l = \frac{Q_1^{1-b} - Q^{1-b}}{(1-b) \cdot a \cdot B_{эл}}, \quad (34)$$

Выразим остаточную подачу примесей из выражения (34):

$$Q = \sqrt[1-b]{Q_1^{1-b} - l \cdot a \cdot B_{эл} \cdot (1-b)}. \quad (35)$$

Полноту сепарации определим с учетом (33) и (35):

$$\varepsilon = 1 - \frac{\sqrt[1-b]{\frac{\rho_{np} \cdot V_{маи} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{эп} \cdot V_{np}}{S_{\delta}} - l \cdot a \cdot B_{эл} \cdot (1-b)}}{\frac{\rho_{np} \cdot V_{маи} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{эп} \cdot V_{np}}{S_{\delta}}}. \quad (36)$$

Технологический отказ по показателю «чистота картофельного вороха» произойдет в случае, если ε будет лежать в интервале от 0 до 0.8 (согласно АТТ) [1, 4, 7]. Выразим вероятность наступления данного случая при помощи следующего выражения:

$$P_3(\varepsilon_0 < \chi < \varepsilon_1) = \int_a^{\beta} f(\chi) d\chi. \quad (37)$$

Подставив выражение (36) в (37), получим:

$$P_3 = \int_0^{0.8} \left(1 - \frac{\sqrt[1-b]{\frac{\rho_{np} \cdot V_{маи} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{эп} \cdot V_{np}}{S_{\delta}} - l \cdot a \cdot B_{эл} \cdot (1-b)}}{\frac{\rho_{np} \cdot V_{маи} \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot n_{эп} \cdot V_{np}}{S_{\delta}}} \right) d\chi. \quad (38)$$

Окончательно получим, что вероятность наступления технологического отказа рабочего органа сепарации характеризуется следующим уравнением [3, 5]:

$$\Pi = z_1 \cdot P_1 + z_2 \cdot P_2 + z_3 \cdot P_3.$$

где z_1, z_2, z_3 – коэффициенты значимости факторов.

Как видно из полученного уравнения вероятность технологического отказа усовершенствованного рабочего органа сепарации зависит от множества факторов. Одни учитывают конструктивные особенности машины (ширина и длина элеватора, его скорость и т.д.), другие характеризуют условия работы (ширина грядки, урожайность картофеля, плотность почвы и т.д.) а третьи носят вероятностный характер (скорость машины, подача вороха и др.).

Предложенная математическая модель вероятностной оценки позволяет спрогнозировать наступления технологического отказа усовершенствованного рабочего органа сепарации применительно к конкретным условиям и режимам работы картофелеуборочных машин в соответствии с агротехническими и эксплуатационно-технологическими требованиями [1, 8].

Список литературы

1. Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях Рязанской области / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 17. - С. 64-68.
2. Пат. 129345 Российская Федерация, МПК А01D17/00. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рембалович Г.К., Голиков А.А., Успенский И.А. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. - №2012133070/13; заявл. 01.08.2012; опубл. 27.06.2013, бюл. №18.
3. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – 9 издание, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2003. – 480 с.
4. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин: учебное пособие / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Сорокин [и др.]. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2005. – 282 с.
5. Случайные функции и процессы технической эксплуатации автомобилей: теория, примеры решения задач: учебное пособие / Е.А. Панкова, И.А. Успенский, И.А. Юхин [и др.]. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – 91 с.
6. Взаимосвязь характеристик повреждаемости клубней с параметрами технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе производства картофеля / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, А.А. Голиков [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №10(074). С. 596 – 606. Режим доступа:

<http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/53.pdf>.

7. Гмурман, В.Е. Руководство по решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман. – 9 издание, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2004. – 407 с.

8. Анализ современного уровня и обоснование эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, А.А. Голиков [и др.] // Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК: материалы научно-практической конференции. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. - С. 35-39.

9. Прогнозирование качества работы картофелеуборочной машины / М.Ю. Костенко, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин [и др.] // Сельский механизатор. – 2013. - №51. – С. 6-7.

References

1. Analiz jekspluatacionno-tehnologicheskikh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam i pokazatelej ih raboty v uslovijah Rjazanskoj oblasti / G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij, A.A. Golikov [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. - 2013. - № 17. - S. 64-68.

2. Pat. 129345 Rossijskaja Federacija, MPK A01D17/00. Separirujushhee ustrojstvo korneklubneuborochnoj mashiny / Rembalovich G.K., Golikov A.A., Uspenskij I.A. [i dr.]; patentoobladatel' FGBOU VPO RGATU. - №2012133070/13; zajavl. 01.08.2012; opubl. 27.06.2013, bjul. №18.

3. Gmurman, V.E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika / V.E. Gmurman. – 9 izdanie, stereotipnoe. – М.: Vysshaja shkola, 2003. – 480 s.

4. Principy i metody rascheta i proektirovanija rabochnih organov kartofeleuborochnyh mashin: uchebnoe posobie / N.V. Byshov, I.A. Uspenskij, A.A. Sorokin [i dr.]. – Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2005. –282 s.

5. Sluchajnye funkcii i processy tehnicheckoj jekspluatcii avtomobilej: teorija, primery reshenija zadach: uchebnoe posobie / E.A. Pankova, I.A. Uspenskij, I.A. Juhin [i dr.]. – Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2013. – 91 s.

6. Vzaimosvjaz' harakteristik povrezhdaemosti klubnej s parametrami tehnicheckogo sostojanija sel'skoho-zajstvennoj tehniky v processe proizvodstva kartofelja / G.K. Rembalovich, I.A. Uspenskij, A.A. Golikov [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2011. – №10(074). S. 596 – 606. Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/53.pdf>.

7. Gmurman, V.E. Rukovodstvo po resheniju zadach po teorii verojatnostej i matematicheskoi statistike / V.E. Gmurman. – 9 izdanie, stereotipnoe. – М.: Vysshaja shkola,

<http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/11.pdf>

2004. – 407 s.

8. Analiz sovremennogo urovnja i obosnovanie jekspluatacionno-tehnologicheskikh trebovanij k kartofeleuborochnym mashinam / I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich, A.A. Golikov [i dr.] // Innovacionnye napravlenija i metody realizacii nauchnyh issledovanij v APK: materialy nauchno-prakticheskoi konferencii. – Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2012. - S. 35-39.

9. Prognozirovanie kachestva raboty kartofeleuborochnoj mashiny / M.Ju. Kostenko, V.V. Terent'ev, A.V. Shemjakin [i dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2013. - №51. – S. 6-7.