

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И КАРТОФЕЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ТЕПЛОТУ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Дорохов Алексей Семенович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН

Аксенов Александр Геннадьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Машинные технологии в овощеводстве»

Сибирёв Алексей Викторович, доктор технических наук, старший научный сотрудник «Машинные технологии в овощеводстве»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

Тел. 8 (499)-174-89-11, e – mail: sibirev2011@yandex.ru

Ключевые слова: теоретические исследования, корнеплоды, картофель, отработавшие газы, система сепарации, конструктивные параметры

Совершенствование технологий и создание соответствующих технических средств возделывания всех видов сельскохозяйственной продукции является одним из энергонасыщенных сегментов производства. Кроме того, ввиду различия биологических особенностей сельскохозяйственных растений энергетические затраты на уборку культур с поверхностным и подземным плодоношением, основными представителями которых являются в большинстве своем овощные и некоторые виды технических культур, превалируют в пользу последних. Для повышения показателей качества уборки корнеплодов сахарной свеклы в условиях повышенной влажности предлагается использовать в конструкции комбайна сепарирующую систему, обеспечивающую энергетическую эффективность работы при возможности одновременного выполнения операций подкапывания, сепарации корнеплодов от почвенных и растительных примесей с одновременным обдуванием сепарирующей поверхности горячими выхлопными газами силовой установки уборочной машины. Целью исследования является теоретическое обоснование технологических и режимных параметров сепарирующей системы уборочных машин, использующих теплоту отработавших газов для повышения качества уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы. В качестве объекта исследований принят технологический процесс, осуществляемый сепарирующей системой уборочного комбайна, которая представлена очистительной звездой с установленными дефлекторами обдува рабочей поверхности сепаратора отработавшими газами силовой установки. Представлены закономерности, позволяющие определить конструктивные и технологические параметры предлагаемой сепарирующей системы. Результаты проведенных теоретических исследований свидетельствуют о перспективности дальнейших экспериментальных работ по совершенствованию отдельных элементов конструкции предлагаемой сепарирующей системы.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения стипендии Президента Российской Федерации молодыми учеными и аспирантами – СП-1004.2021.1.

Введение

Наиболее перспективное направление повышения сепарирующей способности щелевых устройств для очистки корнеплодов - совершенствование способа обдува сепарирующей поверхности горячими выхлопными газами энергетической установки уборочной машины, о чем свидетельствуют результаты проведенных в 2020 году в ООО «Красная Горка» Пензенской области поисковых исследований [1].

Выбор данного способа обусловлен результатами расчета теплового баланса двигателя самоходного свеклоуборочного комбайна, которые свидетельствуют о том, что потери теплоты с отработавшими газами составляют 51960 Дж/с, что эквивалентно эффективной ра-

боте теплоты, которая составляет 50900 Дж/с, а в процентном выражении – это 29,8 % и 29,2 % соответственно [2].

Таким образом, потери теплоты Q_{Γ} с отработавшими газами превышают количество теплоты Q_{Δ} , эквивалентной эффективной работе, следовательно, необходимо обеспечить эффективное использование теплоты, выделяемой в атмосферу.

Материалы и методы исследований

Исходя из выше представленных предпосылок, сформулирована научная гипотеза: повысить энергетическую эффективность при уборке корнеклубнеплодов в условиях повышенной влажности почвы возможно при одновременном выполнении операций подкапыва-

ния корнеплодов и клубней, их очистки от механических примесей при использовании теплоты выхлопных газов двигателя уборочной машины.

Для подтверждения выше сформулированной научной гипотезы необходимо более тщательно рассмотреть потери теплоты Q_{Γ} , отводимой от двигателя с отработавшими газами.

Результаты исследований

Температура, сообщаемая сепарирующей звезде посредством передачи через систему воздухопроводов и дефлекторов от силовой установки,

$$t_2 = (Q_i + t_1). \quad (1)$$

где Q_i – теплота, эквивалентная эффективной работе, Дж/с; t_1 – температура выхлопных газов, °С.

Расстояние между сепарирующей звездой и дефлектором определяют, исходя из обеспечения полноты обдува и максимальной температуры рабочей поверхности в сечениях воздухопровода в области нахождения дефлекторов.

Для достижения требуемой температуры t_2 сепарирующей поверхности очистительной звезды необходимо, чтобы частота $\omega_{СП}$ вращения последней обеспечивала равномерный обдув рабочей поверхности при постоянной частоте вращения $n_{СУ}$ коленчатого вала двигателя силовой установки на номинальном режиме и максимальную передачу теплоты $Q_{\Gamma} = \max$ через систему выброса отработавших газов:

$$\omega_{СП} = \omega_{СУ} k_{\Pi}, \quad (2)$$

где $\omega_{СУ}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя силовой установки при номинальном режиме, мин⁻¹; k_{Π} – коэффициент передачи мощности, $k_{\Pi} = 0,006$.

В связи с тем, что скорость $v_{ЭЛ}$ элеватора, т.е. сепарирующей звезды

$$v_{ЭЛ} = \frac{\pi \omega_{СП}}{30} \cdot R_3, \quad (3)$$

где R_3 – радиус сепарирующей звезды, м,

то, согласно выражению (3) частота вращения сепарирующей звезды:

$$\omega_{СП} = \frac{30A v_{\kappa}}{\pi R_3}, \quad (4)$$

где A – коэффициент ($A = 1,3$); v_{κ} – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с.

Так как поток отработавших газов, воз-

действуя на рабочую поверхность сепарирующей звезды, обеспечивает ее нагрев, то для предупреждения налипания почвенного слоя вследствие его нагревания необходимо определить теплоемкость C_{Π} почвенного слоя при варьировании влажности W от 18 % до 30 % и установить соответствующую функциональную зависимость.

Теплота, которая поступает на поверхность почвы, перераспределяется между ее слоями, т.е. происходит теплообмен. Свойство почвы проводить теплоту – теплопроводность оценивают с помощью коэффициента теплопроводности. Применительно к нашему случаю теплопроводность почвы

$$\lambda_{\Pi} = \frac{|q|}{\text{grad } t'}, \quad (5)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²; $\text{grad } t'$ – градиент температуры, °С/м.

Для обеспечения возможности обдува теплыми отработавшими газами силовой установки уборочной машины необходимо, чтобы соблюдалось условие снижения влажности подаваемого почвенного слоя W_{Π} до влажности $W_{СХ}$ сходящего с сепарирующей поверхности слоя к моменту подачи товарной продукции корнеплодов и картофеля в накопительный бункер или съемный кузов транспортного средства, т.е.:

$$W_{\Pi} > W_{СХ}, \quad (6)$$

где W_{Π} – влажность почвенного слоя при подаче на поверхность сепарирующего устройства, %; $W_{СХ}$ – влажность почвенного слоя при сходе с поверхности сепарирующего устройства, %.

Сепарирующая поверхность современных машин для уборки корнеплодов и картофеля представлена щелевыми очистительными рабочими органами, основными из них являются прутковый элеватор и очистительная звезда. Поэтому площадь рабочей поверхности, которая подвергается обдуву отработавшими газами, составляет

$$S_{\text{пр.эл}} = L_{ЭЛ} B_{ЭЛ}, \quad (7)$$

где $L_{ЭЛ}$ – длина пруткового элеватора, м; $B_{ЭЛ}$ – ширина пруткового элеватора, м.

Площадь сепарирующей звезды

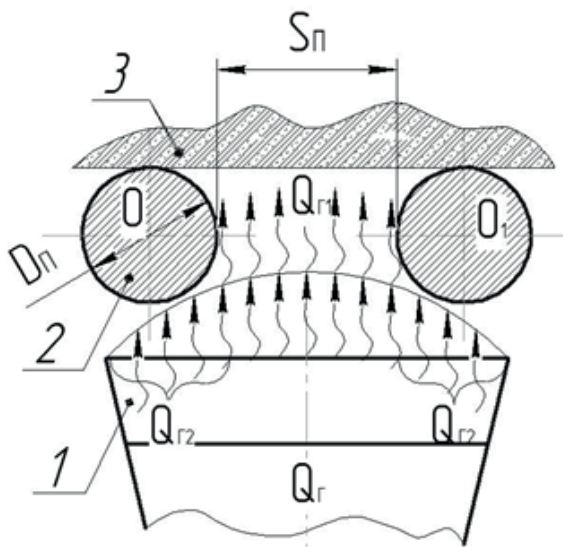


Рис. 1 – Распределение потоков отработавших газов на сепарирующей поверхности: 1 – выхлопные газы; 2 – прутки сепаратора; 3 – почвенные примеси

$$S_{\text{пр.зв}} = \pi R_3^2. \quad (8)$$

Однако следует отметить, что при обдуве сепарирующей поверхности отработавшими газами элементарный поток теплоты $\Delta Q_{\text{Г}}$ (рис.1) расходуется на нагревание прутков рабочей поверхности и нагревание почвенных примесей, т.е.:

$$\Delta Q_{\text{Г}} = \Delta Q_{\text{Г1}} + \Delta Q_{\text{Г2}}, \quad (9)$$

где $\Delta Q_{\text{Г1}}$ поток теплоты, нагревающий прутки сепарирующей поверхности, Дж/с; $\Delta Q_{\text{Г2}}$ поток теплоты, нагревающий почвенные примеси, Дж/с.

В связи с тем, что отличительной особенностью сепарирующих устройств уборочных машин [3, 4, 5], представленных прутковым элеватором и очистительной звездой, являются поступательное и вращательное движения соответственно [6, 7], следовательно, и зависимость распределения тепловых потоков будет различаться при изменении режимных параметров сепарирующих устройств [8, 9, 10, 11].

Принципиальным отличием при обосновании технологических параметров сепарирующей системы [12, 13], представленной очистительной звездой, в отличие от пруткового элеватора является ее вращение вокруг вертикальной оси и поступательное движение пруткового элеватора [14, 15].

Следовательно, обеспечение равномерного обдува рабочей поверхности очистительной звезды отработавшими газами обусловлено

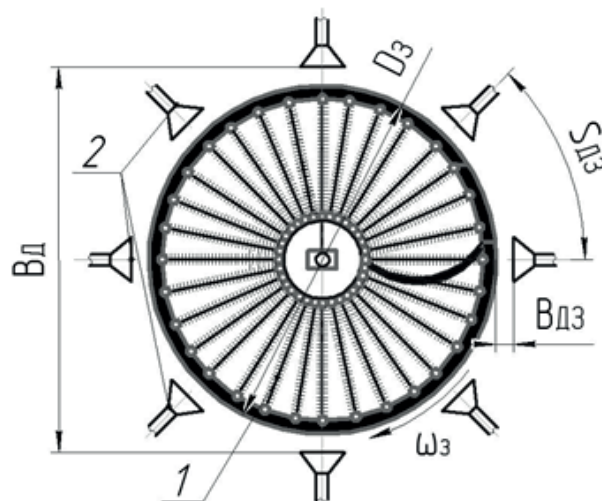


Рис. 2 – К обоснованию конструктивных и технологических параметров сепарирующей системы очистительной звезды: 1 – звезда очистительная; 2 – дефлекторы отработавших газов

диаметральным расположением дефлекторов 2 (рис. 2) с расстоянием между ними по окружности $S_{\text{дз}}$, расстоянием между противоположными дефлекторами $B_{\text{д}}$ и расстоянии между дефлекторами и очистительной звездой $B_{\text{дз}}$.

Необходимо отметить тот факт, что с целью равномерного обдува рабочей поверхности очистительной звезды количество дефлекторов определится по выражению:

$$n_3 = \frac{2\pi R_3}{B_{\text{эл}}}. \quad (10)$$

Зависимость для расчета теплового потока через цилиндрическую стенку имеет вид:

$$Q_{\text{Г}} = S_{\text{эл}} q_{\text{Г}} = 2B_{\text{эл}} \pi R_3 \lambda \left(\frac{dt}{dB_{\text{эл}}} \right). \quad (11)$$

Следовательно, для обеспечения подачи теплового потока отработавших газов с постоянным температурным полем $T = \text{const}$ необходимо и достаточно, чтобы расстояние $B_{\text{д}}$ сепарирующей системы

$$B_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{Г}}}{2\pi R_3 \lambda \left(\frac{dt}{dB_{\text{эл}}} \right)}. \quad (12)$$

Расстояние $S_{\text{дз}}$ между дефлекторами, согласно схеме, представленной на рисунке 2, определяют по выражению:

$$S_{\text{дз}} = \frac{2\pi R_3}{n_3}. \quad (13)$$

Расстояние $V_{ДЗ}$ между сепарирующей поверхностью и дефлекторами в случае использования в качестве сепарирующего устройства очистительной звезды определим по выражению:

$$V_{ДЗ} = V_{Д} - D_{З}, \quad (14)$$

где $D_{З}$ — диаметр сепарирующей звезды, м.

Частота вращения очистительной звезды с учетом выражений (7), (8) и (9)

$$\omega_{СП} = \frac{30A v_{К}}{\pi \sqrt{\frac{S_{ПР.ЗВ}}{\pi}}}. \quad (15)$$

Обсуждение

Для равномерного обдува рабочей поверхности пруткового элеватора необходимо обеспечить распределение отработавших газов по длине $L_{ЭЛ}$ сепарирующей поверхности с перекрытием тепловых потоков $Q_{Г}$.

Для этого следует создать условия для практической реализации оптимальных величин теоретически обоснованных параметров обеспечения подачи теплового потока отработавших газов с постоянным температурным полем $T = const$, а именно: расстояние между дефлекторами по окружности $S_{ДЗ} = 120...140$ мм; расстояние между дефлекторами и очистительной звездой $V_{ДЗ} = 100...160$ мм частоту вращения очистительной звезды $\omega_{СП} = 10...15$ мин⁻¹.

Для повышения качества выполнения технологического процесса уборки корнеплодов в условиях повышенной влажности почвы необходимы дополнительные экспериментальные исследования, результаты которых будут использованы при дальнейшем совершенствовании конструкции и технологического процесса работы сепарирующей системы уборочных машин.

Заключение

Теоретические исследования позволили выявить зависимости, с помощью которых можно определить площадь сепарирующей поверхности современных машин для уборки корнеклубнеплодов, использующих щелевые очистительные рабочие органы, основными из них являются прутковый элеватор и сепарирующая звезда.

Полученные теоретические зависимости дают возможность обосновать режимные и тех-

нологические параметры сепарирующей системы, использующей теплоту отработавших газов, в частности, расстояние между дефлекторами по окружности $S_{ДЗ} = 120...140$ мм; расстояние между дефлекторами и очистительной звездой $V_{ДЗ} = 100...160$ мм и частоту вращения очистительной звезды $\omega_{СП} = 10...15$ мин⁻¹.

Библиографический список

1. Теоретические предпосылки повышения сепарирующей системы машины для уборки корнеплодов тепловой энергией системы отработавших газов / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, А. В. Сибирёв, М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов // Вестник Казанского ГАУ. – 2021. – № 1 (61). – С. 71 – 77.
2. Колпаков, В. Е. Разработка методов и средств теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата : спец. 05.20.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колпаков Валерий Евгеньевич; Пензенский государственный аграрный университет. – Пенза, 2017. – 338 с.
3. Haverkort, A. J. Potato in progress (science meets practice) / A. J. Haverkort, P. C. Struik. - Edited by: The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2005. - 366 p.
4. Mayer, V. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading / V. Mayer, D. Vejchar, L. Pastorková // Research in Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 1. - P. 22 – 31.
5. Development of Potato Harvesting Model / Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). - 2017. - Vol. 4. - P. 1567 – 1570.
6. Farhadi, R. Design and construction of rotary potato grader / R. Farhadi, N. Sakenian, P. Azizi // Bulgarian Journal of Agricultural Science. - 2012. - Vol. 2. - P. 304 – 314.
7. Костенко, М. Ю. Вероятностная оценка сепарирующей способности элеватора картофелеуборочной машины / М. Ю. Костенко, Н. А. Костенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. - № 12. – С. 4.
8. Патент № 2754037 Российская Федерация, МПК А01 D33/08. Сепарирующая система с тепловой энергией очистки : № 2021101220 : заявл. 21.01.2021 : опубл. 25.08.2021/ Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. – Бюл. № 24.
9. Краснощеков, Н. В. Агроинженерная

стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации / Н. В. Краснощеков // Тракторы и сельхозмашины. - 2010. - № 8. - С. 5–7.

10. Камалетдинов, Р. Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование) / Р. Р. Камалетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – Т. 1, № 14. – С. 186 – 194.

11. Янгазов, Р. У. Повышение качества очистки корнеплодов сахарной свеклы разработкой и обоснованием конструктивных и режимных параметров транспортирующе-очистительного устройства комбайна : спец. 05.20.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Янгазов Рамиль Усманович; Пензенская ГСХА. – Пенза, 2011. – 139 с.

12. Hevko, R.B.. Development of design and investigation of operation processes of small-

scale root crop and potato harvesters / R.B. Hevko, I.G. Tkachenk., S.V. Synii // INMATEH-agricultural engineering. – 2016. – Vol. 49. – № 2. – PP. 53 – 60.

13. Алдошин, Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ / Н.В. Алдошин / Горячкинские чтения: Сборник докладов 1-й Международной научно-практической конференции. - Москва, 2013. - С. 6-13.

14. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А.Б. Калинин, В.А. Смелик, И.З. Теплинский, О.Н. Первухина // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2015. - № 39. - С. 315 – 319.

15. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield / R.E. Sojka, D.J. Horne, C.W. Ross, C.J. Baker // Soil and Tillage Research, 1997. - Issue number 40 (3-4). - PP. 25 – 144.

THEORETICAL RESEARCH ON HARVEST QUALITY IMPROVEMENT OF ROOT CROPS AND POTATOES WITH A SEPARATING SYSTEM USING THE HEAT OF EXHAUST GASES

Dorokhov A. S., Aksenov A. G., Sibirev A. V.
FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy dr., 5
Tel. 8 (499) -174-89-11
E-mail: sibirev2011@yandex.ru

Keywords: theoretical studies, root crops, potatoes, exhaust gases, separation system, design parameters

Improvement of technologies and development of appropriate technical means for cultivating all types of agricultural products is one of the energy-consuming segments of production. In addition, due to difference in biological characteristics of agricultural plants, energy costs for harvesting of surface and underground crops, the main representatives of which are mostly vegetable and some types of technical crops, prevail in favor of the latter. To improve the quality of sugar beet root harvesting in conditions of high moisture, it is proposed to use a separating system in the harvester design, which ensures energy efficiency of work with the possibility of simultaneous operations of digging, separating of root crops from soil and plant impurities and blowing of the separating surface with hot exhaust gases from the power plant of the harvesting machine. The aim of the study is to substantiate theoretically the technological and operational parameters of the separating system of harvesters using the heat of exhaust gases to improve the quality of root crop and potato harvesting in the conditions of high soil moisture. The object of the research is technological process carried out by the separating system of the harvester, which is represented by a cleaning star with installed deflectors for blowing on working surface of the separator with the exhaust gases of the power plant. Consistent patterns that allow to determine the design and technological parameters of the proposed separating system are presented. The results of the theoretical studies indicate the prospects for further experimental work to improve individual design elements of the proposed separating system.

Bibliography:

- 1. Theoretical prerequisites for increase of the separating system of a root crop harvesting machine by heat energy of the exhaust gas system / A. S. Dorokhov, A. G. Aksenov, A. V. Sibirev, M. A. Mosyakov, N. V. Sazonov // Vestnik of Kazan SAU. - 2021. - № 1 (61). - P. 71 - 77.*
- 2. Kolpakov, V. E. Development of methods and means of thermal control of power parameters of a mobile agricultural unit: spec. 05.20.01: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Kolpakov Valery Evgenievich; Penza State Agrarian University. - Penza, 2017. - 338 p.*
- 3. Haverkort, A. J. Potato in progress (science meets practice) / A. J. Haverkort, P. C. Struik. - Edited by: The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2005. - 366 p.*
- 4. Mayer, V. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading / V. Mayer, D. Vejchar, L. Pastorková // Research in Agricultural Engineering. - 2017. - Vol. 1. - P. 22 - 31.*
- 5. Development of Potato Harvesting Model / Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). - 2017. - Vol. 4. - P. 1567 - 1570.*
- 6. Farhadi, R. Design and construction of rotary potato grader / R. Farhadi, N. Sakenian, P. Azizi // Bulgarian Journal of Agricultural Science. - 2012. - Vol. 2. - P. 304 - 314.*
- 7. Kostenko, M. Yu. Probability assessment of the separating capacity of the potato harvester elevator / M. Yu. Kostenko, N. A. Kostenko // Mechanization and electrification of agriculture. - 2009. - № 12. - P. 4.*
- 8. Patent № 2754037 Russian Federation, IPC A01 D33/08. Separating system with thermal energy of cleaning : № 2021101220 : Appl. 21.01.2021: publ. 25.08.2021 / Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. – Bul. № 24.*
- 9. Krasnoshchekov, N.V. Agroengineering strategy: from mechanization of agriculture to its intellectualization / N.V. Krasnoshchekov // Tractors and agricultural machines. - 2010. - № 8. - P. 5–7.*
- 10. Kamaletdinov, R. R. Object-oriented simulation modeling in the environment of information theory (information modeling) / R. R. Kamaletdinov // Izvestia of the International Academy of Agricultural Education. - 2012. - V. 1, № 14. - P. 186 - 194.*
- 11. Yangazov, R. U. Improvement of the cleaning quality of sugar beet roots by developing and substantiating the design and regime parameters of the*

transporting and cleaning device of the harvester: spec. 05.20.01: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Yangazov Ramil Usmanovich; Penza State Agricultural Academy. - Penza, 2011. - 139 p.

12. Hevko, R.B. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters / R.B. Hevko, I.G. Tkachenk., S.V. Synii // INMATEH-agricultural engineering. - 2016. - Vol. 49. - № 2. - P. 53-60.

13. Aldoshin, N.V. Modeling the quality of mechanized work / N.V. Aldoshin / Goryachkin Readings: Collection of reports of the 1st International Scientific and Practical Conference. - Moscow, 2013. - P. 6-13.

14. Selection and substantiation of the parameters of ecological state of the agroecosystem for monitoring the technological processes of cultivating agricultural crops / A.B. Kalinin, V.A. Smelik, I.Z. Teplinskiy, O.N. Pervukhina // Izvestiya of St. Petersburg State Agrarian University. - 2015. - № 39. - P. 315 - 319.

15. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield / R.E. Sojka, D.J. Horne, C.W. Ross, C.J. Baker // Soil and Tillage Research, 1997. - Issue number 40 (3-4). - P. 25-144.