

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АГРЕГАТА

А. П. Зырянов, М. В. Пятаев, Н. В. Латыпова

Тенденция повышения производительности агрегатов, используемых в растениеводстве, главным образом за счет увеличения их ширины захвата и скорости движения, приводит к возрастанию эффективной мощности двигателей, величина которой на сегодняшний момент уже достигла 400...450 кВт и продолжает повышаться. Проведенные теоретические исследования позволили выявить зависимость сменной производительности агрегата от эффективной мощности его двигателя. Анализ показал, что увеличение эффективной мощности двигателя агрегата приводит к повышению его производительности. Однако ее изменение не прямо пропорционально, а имеет рост со снижающимся эффектом. Результаты расчетов показали, что увеличение эффективной мощности двигателя со 100 до 200 кВт повышает сменную производительность на 93 %, а при увеличении с 400 до 500 кВт приводит к приросту только на 20 %. В результате дифференцирования получена зависимость интенсивности прироста производительности агрегата (скорости изменения функции). Предложено понятие удельной сменной производительности агрегата, которая характеризует величину сменной производительности, приходящейся на единицу эффективной мощности двигателя агрегата (на 1 кВт) и выявлена ее зависимость от эксплуатационных факторов. Анализ показал, что с увеличением эффективной мощности двигателя удельная сменная производительность снижается более интенсивно с уменьшением величин таких показателей, как длина гона (в 1,1...2,8 раза), тягового КПД трактора (на 14...20 %), удельного сопротивления сельскохозяйственных машин (на 5...30 %). Проведенные теоретические исследования позволяют сделать вывод, что увеличение производительности агрегатов в растениеводстве за счет повышения эффективной мощности их двигателей в дальнейшем является неэффективным и требуется изыскание других решений для повышения эффективности использования технических средств в растениеводстве.

*Ключевые слова:* агрегат, производительность, мощность двигателя, зависимость.

Производительность агрегатов, используемых в растениеводстве, является одним из важнейших показателей оценки эффективности их применения. Также ее величина влияет на сроки выполнения работ в полеводстве, потребность в технике и механизаторах [1, 2]. Анализ развития технических средств показывает устойчивую тенденцию повышения производительности [3], главным образом за счет увеличения ширины захвата агрегата и рабочей скорости его движения при выполнении технологических операций [1]. Однако наряду с указанным положительным моментом происходит увеличение сопротивления сельскохозяйственных машин, для преодоления которого требуется повышение эффективной мощности двигателя трактора и, как следствие, — его эксплуатационной массы для реализации тягово-сцепных свойств движителей с почвой.

Это приводит к увеличению его непроизводительных затрат энергии [4, 5]. Поэтому **целью исследования** является определение влияния эффективной мощности двигателя на производительность агрегата.

### Материал и методы исследования

Сменная производительность посевных и почвообрабатывающих агрегатов, используемых в растениеводстве, определяется через энергетические показатели по следующей зависимости:

$$W_{\text{см}} = \frac{0,36 N_e \cdot \eta_{\text{т}} \cdot T_{\text{см}} \cdot \tau}{K_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где  $N_e$  — эффективная мощность двигателя трактора, кВт;



$\eta_T$  – тяговый коэффициент полезного действия трактора;

$T_{см}$  – продолжительность смены, ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$K_M$  – удельное сопротивление машины, кН/м.

Коэффициент использования времени смены выражается отношением суммарного времени выполнения агрегатом технологической операции (время основной работы)  $T_p$  ко всему времени смены  $T_{см}$ , то есть

$$\tau = \frac{T_p}{T_{см}}. \quad (2)$$

В соответствии с ГОСТ 24055-2016 время смены складывается из различных составляющих, которые можно сгруппировать и записать в следующем виде:

$$T_{см} = T_p + T_n + T_o, \quad (3)$$

где  $T_n$  – время, затрачиваемое на повороты агрегата, ч;

$T_o$  – остальные затраты времени, расходуемые на технологическое обслуживание агрегата, устранение отказов, холостые переезды и т. д., ч.

Время основной работы агрегата можно определить по выражению:

$$T_p = \frac{L_r \cdot n_r}{3600V_p}, \quad (4)$$

где  $L_r$  – длина гона, м;

$n_r$  – количество гонов, пройденных агрегатом за смену;

$V_p$  – рабочая скорость движения агрегата в загонке, м/с.

Суммарное время, затрачиваемое агрегатом на развороты за смену:

$$T_n = \frac{L_n \cdot n_n}{3600V_n}, \quad (5)$$

где  $L_n$  – расстояние, пройденное агрегатом при повороте, м;

$n_n$  – количество поворотов, совершаемых агрегатом за смену;

$V_n$  – скорость движения агрегата при повороте, м/с.

При грушевидном развороте агрегата в конце загонки пройденное расстояние равно

$$L_n = 3,5B_p + 2e, \quad (6)$$

где  $B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$e$  – длина выезда агрегата, м.

Рабочая ширина захвата агрегата, выраженная через его энергетические показатели, равна

$$B_p = \frac{N_e \cdot \eta_T}{K_M \cdot V_p}. \quad (7)$$

Количество поворотов и гонов, пройденных агрегатом за смену, одинаково и определяется как

$$\begin{aligned} n_n = n_r &= \frac{3600(T_{см} - T_o) \cdot (V_p \cdot V_n)}{L_r \cdot V_n + L_n \cdot V_p} = \\ &= \frac{3600(T_{см} (1 - \alpha)) \cdot (V_p \cdot V_n)}{L_r \cdot V_n + L_n \cdot V_p}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\alpha$  – доля времени смены, затрачиваемое на  $T_o$ .

Подставив выражения (2)...(8) в (1), после преобразования получим зависимость сменной производительности агрегата от эффективной мощности двигателя:

$$\begin{aligned} W_{см} &= \frac{0,36N_e \cdot \eta_T \cdot T_{см}}{K_M} \times \\ &\times \left[ 1 - \alpha - \frac{(1 - \alpha)(3,5N_e \cdot \eta_T + 2e \cdot K_M \cdot V_p)}{K_M \cdot (L_r \cdot V_n + 2e \cdot V_p) + 3,5N_e \cdot \eta_T} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Графическая интерпретация полученной зависимости (9) в общем виде представлена на рисунке 1.

Из полученной зависимости видно, что увеличение эффективной мощности двигателя агрегата приводит к повышению его производительности. Однако данная зависимость не прямо пропорциональна и интенсивность ее прироста различна. С возрастанием  $N_e$  приращение  $W_{см}$  снижается. На рисунке 1 наглядно видно, что при равном изменении эффективной мощности двигателя агрегата ( $\Delta N_{e1} = \Delta N_{e2}$ ) приращение его производительности при больших значениях  $N_e$  ниже ( $\Delta W_{см1} > \Delta W_{см2}$ ).

Для определения интенсивности прироста производительности агрегата (то есть скорости изменения функции) при увеличении эффективной мощности двигателя определим первую производную зависимости (9):

$$\frac{\partial W_{cm}}{\partial N_e} = \left( \frac{0,36 N_e \cdot \eta_T \cdot T_{cm}}{K_M} \times \left( 1 - \alpha - \frac{(1 - \alpha)(3,5 N_e \cdot \eta_T + 2e \cdot K_M \cdot V_p)}{K_M \cdot (L_T \cdot V_{II} + 2e \cdot V_p) + 3,5 N_e \cdot \eta_T} \right) \right)' \quad (10)$$

$$\Delta W_{cm} = \frac{0,36 \cdot \eta_T \cdot T_{cm}}{K_M} \times \left( 1 - \alpha - \frac{(1 - \alpha)(3,5 \cdot N_e \cdot \eta_T + 2e \cdot K_M \cdot V_p)}{3,5 \cdot N_e \cdot \eta_T + K_M (L_T \cdot V_{II} + 2e \cdot V_p)} \right) + N_e (1 - \alpha) \times \left( \frac{3,5 \cdot \eta_T (3,5 \cdot N_e \cdot \eta_T + K_M (L_T \cdot V_{II} + 2e \cdot V_p)) - 3,5 \cdot \eta_T (3,5 \cdot N_e \cdot \eta_T + 2e \cdot K_M \cdot V_p)}{(3,5 \cdot N_e \cdot \eta_T + K_M (L_T \cdot V_{II} + 2e \cdot V_p))^2} \right) \quad (11)$$

В результате дифференцирования после преобразования получим следующую зависимость в конечном виде:

С помощью выявленных зависимостей (9) и (11) рассчитаем сменную производительность агрегата и интенсивность ее изменения при раз-

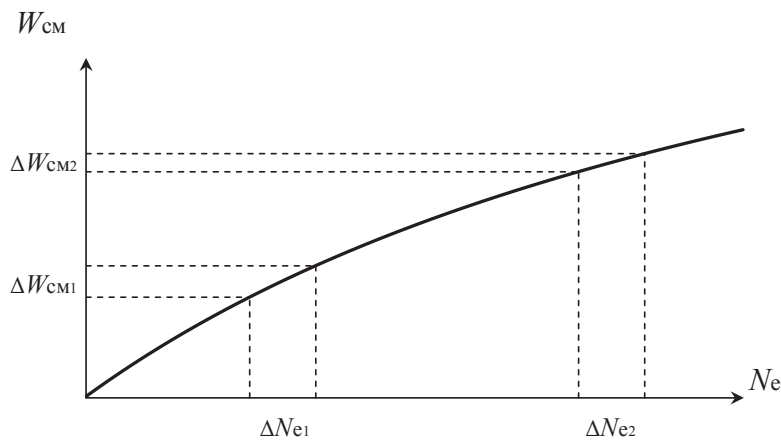


Рис. 1. Зависимость сменной производительности агрегата от эффективной мощности его двигателя

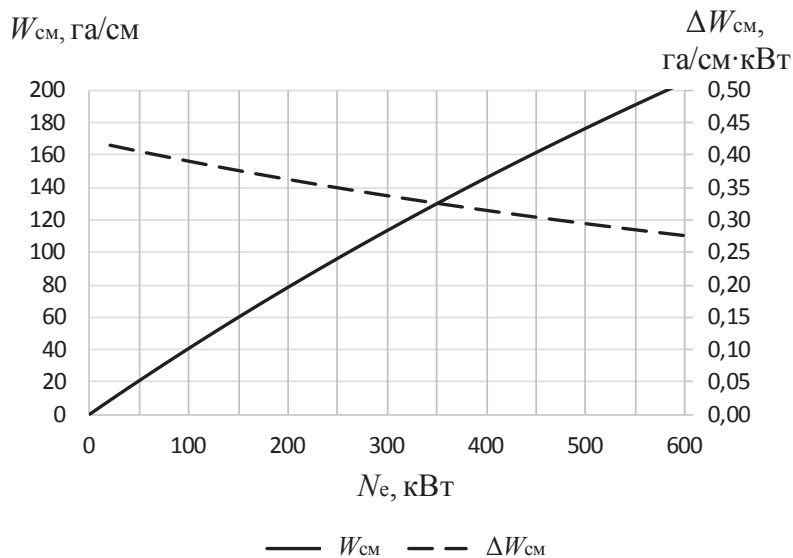


Рис. 2. Зависимости часовой производительности агрегата и интенсивности ее изменения от эффективной мощности двигателя



личной эффективной мощности двигателя. Исходные данные для расчета указаны в таблице 1.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

### Результаты и обсуждение

Результаты расчетов показывают, что с увеличением мощности двигателя агрегата его сменная производительность увеличивается. Однако если увеличение эффективной мощности двигателя со 100 до 200 кВт повышает сменную производительность на 93%  $((78 \text{ га/см} - 40 \text{ га/см}) \cdot 100/40 \text{ га/см})$ , то увеличение  $N_e$  с 400 до 500 кВт приводит к приросту  $W_{см}$  только на 20%  $((177 \text{ га/см} - 146 \text{ га/см}) \times 100/146 \text{ га/см})$ . То есть при повышении эффективной мощности двигателя эффект от прироста сменной производительности агрегата снижается. Скорость изменения функции сменной производительности  $(\Delta W_{см})$  наглядно показывает данный процесс (рис. 2).

Определим удельную сменную производительность агрегата, разделив выражение (9) на  $N_e$ :

$$W_{см y} = \frac{0,36 \xi_N \cdot \eta_T \cdot T_{см}}{K_M} \times \left[ 1 - \alpha - \frac{(1 - \alpha)(3,5 N_e^H \cdot \xi_N \cdot \eta_T + 2e \cdot K_M \cdot V_p)}{K_M \cdot (L_r \cdot V_p + 2e \cdot V_p) + 3,5 N_e^H \cdot \xi_N \cdot \eta_T} \right] \quad (12)$$

Полученная зависимость (12) показывает значение сменной производительности, приходящейся на единицу эффективной мощности двигателя агрегата (то есть какую величину сменной производительности образует 1 кВт  $N_e$ ).

Расчеты показывают, что с увеличением эффективной мощности двигателя удельная сменная производительность агрегата снижается (рис. 3). При этом на данный показатель оказывает влияние длина гона. Чем меньше ее величина, тем интенсивнее происходит снижение удельной сменной производительности. По сравнению с длиной гона  $L_r = 1000$  м удельная сменная производительность агрегата при  $L_r = 200$  м в 1,1...2,8 раза меньше.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

$L_r$ , м	$V_p$ , м/с	$T_{см}$ , ч	$\alpha$	$V_x$ , м/с	$\eta_T$	$K_M$ , кН/м	$e$ , м
1000	3,5	7	0,15	2	0,6	3	3

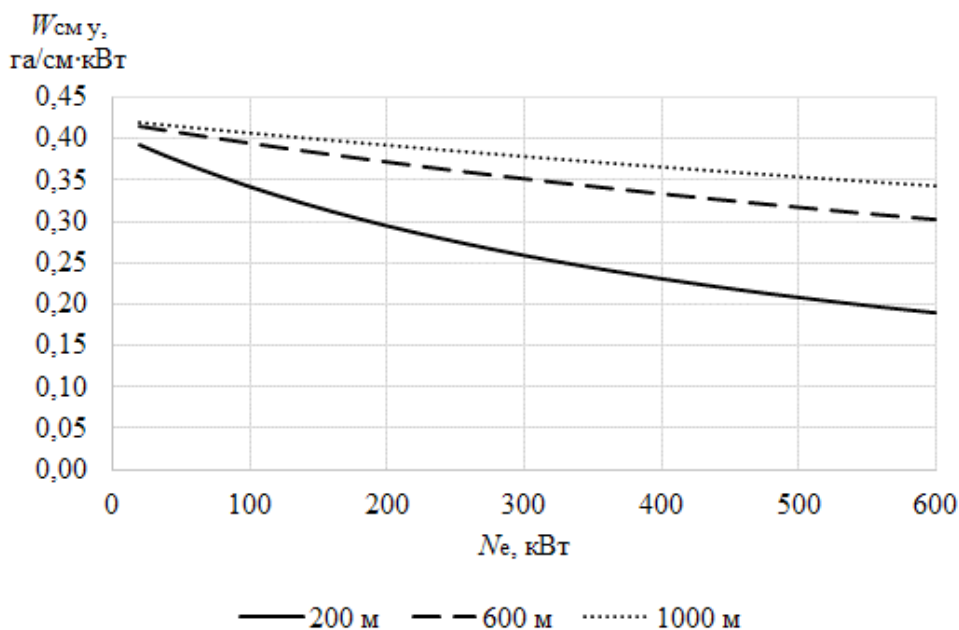


Рис. 3. Зависимость удельной сменной производительности агрегата от его номинальной эффективной мощности двигателя при различной длине гона

Снижение тягового КПД трактора также приводит к уменьшению удельной сменной производительности агрегата (рис. 4). При его снижении на каждые  $\Delta\eta = 0,1$  уменьшение  $W_{см\ у}$  происходит на 14...20%.

Наиболее существенное влияние на удельную сменную производительность агрегата оказывает удельное сопротивление сельскохозяйственной машины (рис. 5). С его увеличением происходит снижение удельной сменной производительности агрегата. При этом величина  $K_m$  по-разному влияет на изменение  $W_{см\ у}$ . Наиболее интенсивно ее снижение происхо-

дит при небольших удельных сопротивлениях сельскохозяйственных машин (0,5...2,0 кН/м). При более высоких значениях  $K_m$  (2...6 кН/м) удельная сменная производительность при увеличении мощности двигателя изменяется незначительно. То есть использование тракторов с невысокой мощностью двигателя в составе агрегата на малоэнергоёмких работах более эффективно по сравнению с применением тракторов с высокой мощностью двигателя при прочих равных условиях.

Рабочая скорость движения незначительно влияет на удельную сменную производитель-

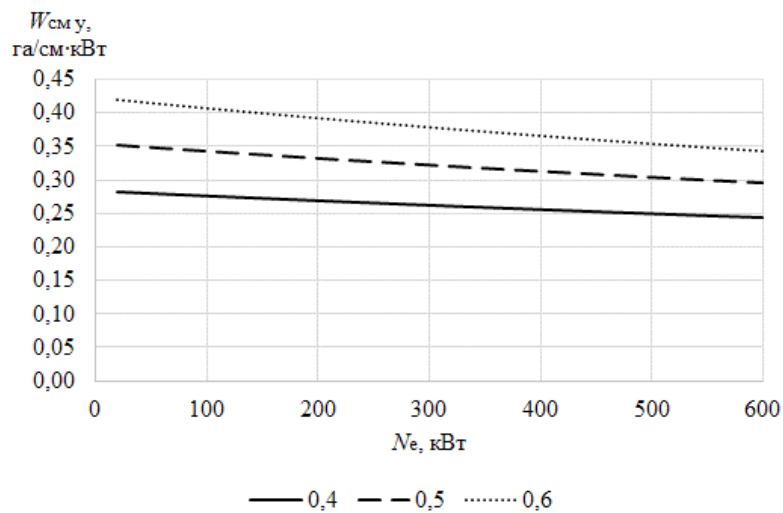


Рис. 4. Зависимость удельной сменной производительности агрегата от его номинальной эффективной мощности двигателя при различной величине тягового КПД

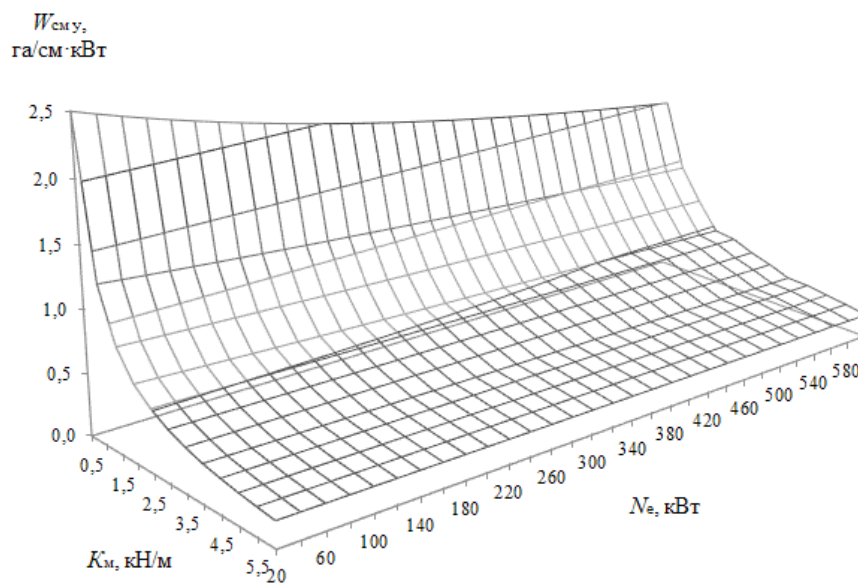


Рис. 5. Зависимость удельной сменной производительности агрегата от его номинальной эффективной мощности двигателя и удельного сопротивления сельскохозяйственной машины



ность агрегата. С увеличением эффективной мощности двигателя трактора при величине рабочей скорости агрегата 2...4 м/с снижение  $W_{см\ у}$  происходит на 1...10%.

### Выводы

Таким образом, полученные в результате теоретического исследования зависимости сменной производительности агрегата, интенсивности ее изменения от эффективной мощности двигателя трактора позволили выявить, что повышение  $N_e$  приводит к увеличению  $W_{см}$ . Однако с возрастанием  $N_e$  приращение  $W_{см}$  снижается (интенсивность прироста уменьшается).

Предложено понятие удельной сменной производительности агрегата, которая показывает величину сменной производительности, приходящейся на единицу эффективной мощности двигателя агрегата (на 1 кВт  $N_e$ ). Анализ ее зависимости показал, что наибольшее влияние оказывают следующие факторы: длина гона, тяговый КПД трактора и удельное сопротивление сельскохозяйственной машины. При их снижении интенсивность снижения удельной сменной производительности уменьшается.

Проведенные теоретические исследования позволяют сделать вывод, что увеличение производительности агрегатов в растениеводстве за счет повышения эффективной мощности их двигателей в дальнейшем является неэффективным и требует оптимизации уже имеющихся параметров [6, 7, 8, 9] и изыскания других решений для повышения эффективности использования технических средств в растениеводстве.

### Список литературы

1. Кузьмин, М. В. Повышение эффективности использования высокопроизводительных машинно-тракторных агрегатов (опыт системного подхода) / М. В. Кузьмин, А. С. Сметнев, Ю. Б. Юдин // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2020. – № 34(39). – С. 52–60.
2. Лавров, А. В. Методические подходы к оценке технологической потребности в сельско-

хозяйственных тракторах для АПК / А. В. Лавров, В. А. Зубина // Агроинженерия. – 2021. – № 1(101). – С. 20–26. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-1-20-26. – EDN FNMMBJ.

3. Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критериям оптимизации / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов, И. Ю. Тюрин [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 155–160. – DOI 10.28983/asj.y2023i1pp155-160. – EDN ZIUWJV.

4. Зырянов, А. П. Исследование взаимосвязи энергетических и технико-экономических показателей работы тягово-приводных агрегатов / А. П. Зырянов // АПК России. – 2015. – Т. 72. – № 1. – С. 36–39. – EDN LWGVIL.

5. Влияние энергозатрат на формирование рационального машинно-тракторного парка / Д. В. Ермаков, О. Ф. Овчинникова, П. Н. Школьников [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2023. – № 5(59). – DOI 10.51419/202135516. – EDN ZOMEOV.

6. Исследования опорных реакций тракторно-транспортного агрегата, оборудованного распределяющим тягово-сцепным устройством / А. А. Шуравин, А. Н. Кушнарев, В. В. Леонов [и др.] // АПК России. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 498–505. – EDN ZMWWBU.

7. Ворохобин, В. В. Повышение устойчивости движения колесного трактора корректированием вертикальных нагрузок на колеса / В. В. Ворохобин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13. – № 4(67). – С. 63–72. – DOI <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.63>.

8. Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric tests / A. Russini [et al.] // Ciencia Rural. – 2018. – Vol. 4(04). – DOI <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170532>.

9. Experimental investigation of traction power transfer indices of farm-tractors for efficient energy utilization in soil tillage and cultivation operations / Md-T. Hafiz [et al.] // Agronomy. – 2021. – № 11. – P. 168. – DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy11010168>.

**Зырянов Антон Павлович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: [zyryanova@sursau.ru](mailto:zyryanova@sursau.ru).

**Пятаев Максим Вячеславович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: 555maxim@mail.ru.

**Латыпова Наиля Винеровна**, аспирант кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: Nailia.latypova@gmail.com.

\* \* \*