

УДК 631.372

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ МТА ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ НАГРУЗКЕ

Медведев В. М., Синицкий С. А.

Реферат. В статье приведен анализ существующих способов и методик оценки динамических характеристик двигателей мобильных машин, а также представлены теоретические расчеты оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке. Предложенная математическая модель описывает изменение показателей двигателя МТА при линейном законе нагружения и позволяет сравнить показатели двигателя при неустановившейся нагрузке с идеальными. Теоретической основой исследования для оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке послужила квазидинамическая характеристика. Сравнение динамических показателей двигателей МТА при неустановившейся нагрузке с идеальными показателями, которые не имеют динамических потерь. Для этого предлагается применить “квазидинамическую” характеристику. Квазидинамической (идеальной) характеристикой называется – изменение показателей двигателя МТА, в переходном процессе, происходящих в соответствии с изменением частоты вращения коленчатого вала по стационарной характеристики. Математическая моделью оценки динамических показателей двигателя МТА по корректорной ветви при неустановившейся нагрузке являются экспериментальные уравнения для набора нагрузки. Разработаны теоретические зависимости оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке по корректорной ветви регуляторной характеристики. Используя предложенные теоретические зависимости можно проводить теоретические исследования влияния нагрузки на динамические показатели двигателя МТА и определять суммарные динамические потери.

Ключевые слова: показатели двигателя МТА, неустановившаяся нагрузка, математическая модель.

Введение. В ряде работ отмечается необходимость использования динамических характеристик при создании мобильных машин [1, 2, 3]. Анализ работ, посвященных изучению характера нагрузки на двигатель, показывает их разнообразие, и в то же время они имеют ряд общих положений. Неустановившийся характер нагрузки вызывает снижение производительности и ухудшение экономичности по следующим основным причинам:

- нелинейность характеристики дизеля при переходе регуляторной ветви в корректорную [3, 4].

- при работе с неустановившимся характером нагрузки происходит рассогласование в работе систем дизеля, которые работают в неоптимальных режимах и это приводит к ухудшению эффективных показателей.

Другой путь повышения производительности МТА при работе в нелинейной зоне это совершенствование регулятора частоты вращения: разработка параллельно-корректирующих устройств, расширение интервала корректирования топливopодачи, несимметрическое демпфирование муфты регулятора, [5].

Скорость разработки этих мероприятий значительно уменьшена из-за того, что причины снижения показателей двигателей на неустановившихся режимах изучены недостаточно. Имеется мало работ, позволяющих обобщить результаты исследований на другие

двигатели и на виды нагружения [6, 11].

Обилие разнообразных методик приводит к тому, что определить изменение показателей двигателя по этим методикам не всегда осуществимо. Возможны и противоречивые толкования одних и тех же показателей.

Ухудшение показателей двигателя МТА влечет за собой увеличение расхода топлива, снижение мощности во время работы с неустановившейся нагрузкой [7, 13].

Сравнение динамических показателей двигателей МТА при неустановившейся нагрузке с идеальными показателями, которые не имеют динамических потерь. Для этого предлагается применить “квазидинамическую” характеристику, [8].

Квазидинамической (идеальной) характеристикой называется – изменение показателей двигателя МТА, в переходном процессе, происходящих в соответствии с изменением частоты вращения коленчатого вала по стационарной характеристики.

Схема построения квазидинамической характеристики представлена на рисунке 1. В левом верхнем квадранте представлено изменение исследуемого показателя (Δy_u) по регуляторной характеристике: $\Delta y_u = f(n)$. В левом нижнем – переходная характеристика частоты вращения двигателя. АВ – линия, учитывающая коэффициент пропорциональности. В правом верхнем углу графика построена ква-

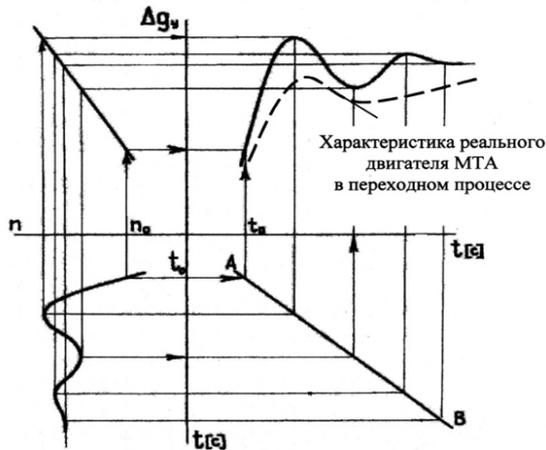


Рисунок 1 – Схема построения квазидинамической характеристики двигателя МТА.

зидинамическая характеристика и характеристика реального двигателя.

Условия, материалы и методы исследования. Теоретической основой исследования для оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке послужила квазидинамическая характеристика.

Для определения значений исследуемых показателей двигателя МТА в квазидинамической характеристике используются коэффициенты усиления, которые рассчитываются с учетом регуляторной характеристики двигателя для корректорной ветви в пределах заданных участков [6, 9, 10, 12].

$$P_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta n(t)}, \quad (1)$$

где P_i – коэффициент усиления i -го показателя;

ΔL_i – изменение исследуемого показателя на данном линейном участке по регуляторной характеристике двигателя;

$\Delta n(t)$ – изменение частоты вращения вала двигателя на линейном участке.

Тогда конечное значение исследуемого показателя в квазидинамической характеристике будет определяются из выражения:

$$\Delta L_i = L_i^o - L_i^{k0}, \quad (2)$$

где ΔL_i – динамические отклонения исследуемого показателя;

L_i^o – значение исследуемого показателя в динамике;

L_i^{k0} – значение исследуемого показателя в квазидинамике.

Суммарные динамические отклонения определяются по формуле:

$$\Delta L^\Sigma = \int_0^t (L_i^o - L_i^{k0}) dt, \quad (3)$$

где L_i^Σ – суммарные динамические отклонения.

В качестве объекта исследования использовался двигатель машинно-тракторного агрегата (Д - 243 трактора МТЗ - 82 и культиватор КПС-4).

Анализ и результаты исследования. Математической моделью оценки динамических показателей двигателя МТА по корректорной ветви при неустановившейся нагрузке являются экспериментальные уравнения для наброса нагрузки:

$$T_1 \frac{d\Delta n}{dt} + \Delta n = K_1 mt \quad (5)$$

$$T_2 \frac{d\Delta g_u}{dt} + \Delta g_u = K_2 mt \quad (6)$$

Для заданного (линейный закон нагружения $I=mt$.) закона нагружения решением этих уравнений (5 и 6) будет следующее выражение:

$$\Delta n = K_1 mt - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \quad (7)$$

$$\Delta g_u = K_2 mt - T_2 K_2 m (1 + e^{-\frac{t}{T_2}}), \quad (8)$$

где T_1 – коэффициент учитывающий инерционность системы по оборотам;

T_2 – коэффициент учитывающий инерционность системы по цикловой подачи топлива.

Для определения эффективных показателей двигателя МТА применяется следующее уравнение:

$$\Delta M_e = \Delta M_c \mp J \frac{d\omega}{dt}, \quad (9)$$

где ΔM_e , ΔM_c – изменение момента двигателя и момента сопротивления, приведенного к коленчатому валу двигателя, Н·м;

J – момент инерции МТА приведенный к валу двигателя, кг·м²;

ω – угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с.

Значение $d\omega/dt$ определяется из уравнения:

$$\frac{d\omega}{dt} = B \times \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{11}}} \right) \quad (10)$$

где B – коэффициент пропорциональности. Крутящий момент двигателя будет вычисляться по формуле:

$$\Delta M_e = \Delta M_c + JB \times \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{11}}} \right) \quad (11)$$

Исследуемые показатели двигателя МТА в динамике описываются уравнениями:

$$N_e^{n0} = A_3 \left[M_{co} \pm \left(mt + JB(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \times \left[n_0 \mp \left(K_1 mt - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \quad (12)$$

$$C_T^{g0} = 0,03 \left[g_{uo} \pm K_2 mt - T_2 K_2 m (1 + e^{-\frac{t}{T_2}}) \right] \times \left[n_0 \mp K_1 mt - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \quad (13)$$

$$g_e^{\partial} = \frac{A_0 \left[g_{\text{во}} \pm (K_2 m t - T_2 K_2 m (1 - e^{-\frac{t}{T_2}})) \right]}{A_3 \left[M_0 \pm (m t + I B (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})) \right]} \quad (14)$$

где g_u^{∂} – цикловая подача топлива, г/цикл;
 G_T^{∂} – часовой расход топлива, кг/час;
 N_e^{∂} – эффективная мощность, кВт;
 g_e^{∂} – удельный расход топлива, гр/кВт·ч.

В квазидинамике исследуемые показатели описываются уравнениями:

$$N_e^{k\partial} = N_{e0} \pm P_{N_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \quad (15)$$

$$G_T^{k\partial} = G_{T0} \mp P_{G_T} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \quad (16)$$

$$g_e^{k\partial} = g_{e0} \pm P_{g_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \quad (17)$$

Текущие динамические потери определяются подставляя в формулы (15-17) в формулу (3):

$$D_{N_e} = \left\{ \begin{aligned} & \left[N_{e0} \pm P_{N_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - A_3 \left[M_0 \pm (m t \mp I B (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})) \right] \times \\ & \times \left[n_0 \mp \left(K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$D_{G_T} = \left\{ \begin{aligned} & \left[G_{T0} \mp P_{G_T} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - 0,03 \left[g_{\text{во}} \pm K_2 m t - T_2 K_2 m (1 + e^{-\frac{t}{T_2}}) \right] \times \\ & \times \left[n_0 \mp \left(K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$D_{g_e} = \left\{ \begin{aligned} & \left[g_{e0} \pm P_{g_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - \frac{A_0 \left[g_{\text{во}} \pm (K_2 m t - T_2 K_2 m (1 - e^{-\frac{t}{T_2}})) \right]}{A_3 \left[M_0 \pm (m t + I B (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})) \right]} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Суммарные динамические отклонения определяются по формуле (4):

$$D_{N_e}^{\Sigma} = \int_0^t \left\{ \begin{aligned} & \left[N_{e0} \pm P_{N_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - A_3 \left[M_0 \pm (m t \mp I B (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})) \right] \times \\ & \times \left[n_0 \mp \left(K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \end{aligned} \right\} dt \quad (21)$$

$$D_{G_T}^{\Sigma} = \int_0^t \left\{ \begin{aligned} & \left[G_{T0} \mp P_{G_T} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - 0,03 \left[g_{\text{во}} \pm K_2 m t - T_2 K_2 m (1 + e^{-\frac{t}{T_2}}) \right] \times \\ & \times \left[n_0 \mp \left(K_1 m t - T_1 K_1 m (1 + e^{-\frac{t}{T_1}}) \right) \right] \end{aligned} \right\} dt \quad (22)$$

$$D_{g_e}^{\Sigma} = \int_0^t \left\{ \begin{aligned} & \left[g_{e0} \pm P_{g_e} \left[K_1 m t - T_1 K_1 m (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) \right] \right] - \frac{A_0 \left[g_{\text{во}} \pm (K_2 m t - T_2 K_2 m (1 - e^{-\frac{t}{T_2}})) \right]}{A_3 \left[M_0 \pm (m t + I B (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})) \right]} \end{aligned} \right\} dt \quad (23)$$

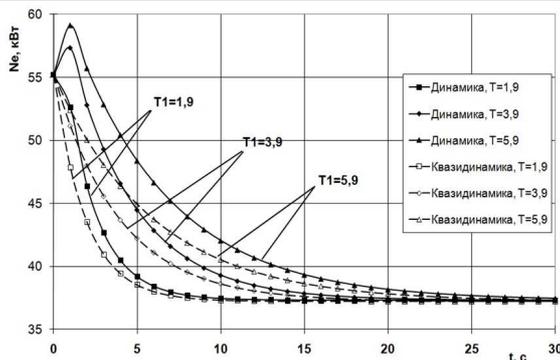


Рисунок 2 – График изменения эффективной мощности в переходном процессе при набросе нагрузки

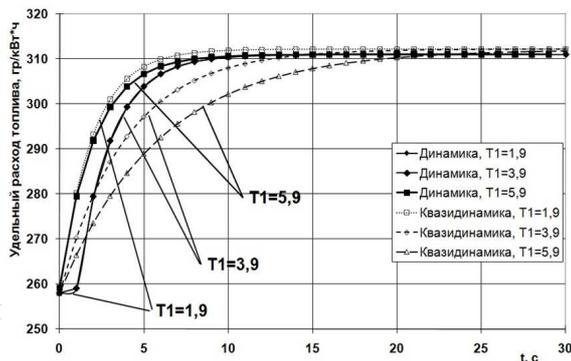


Рисунок 3 – График изменения удельного расхода топлива двигателем МТА в переходном процессе при набросе нагрузки в зависимости от коэффициента T_1 .

На рисунке 2 представлены графики изменения эффективной мощности двигателя МТА в переходном процессе при набросе нагрузки в зависимости от коэффициента T_1 .

На рисунке 3 представлены графики изменения удельного расхода топлива двигателем МТА в переходном процессе при набросе нагрузки в зависимости от коэффициента T_1 .

Выводы.

Разработаны теоретические зависимости оценки динамических показателей двигателя МТА при неустановившейся нагрузке по корректорной ветви регуляторной характеристики

Используя предложенные теоретические зависимости, можно проводить теоретические исследования влияния нагрузки на динамические показатели двигателя МТА и определять суммарные динамические потери.

Литература

1. Юлдашев, А.К. Пути повышения эффективности использования двигателей внутреннего сгорания автомобилей и машинно-тракторных агрегатов в условиях эксплуатации. /А.К. Юлдашев, В.М. Медведев, С.А. Синицкий, К.М. Латыпов // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. – 2007. - № 1 (21). – С. 21-27.
2. Синицкий, С.А. Влияние нагрузки машинно-тракторного агрегата на показатели двигателя в условиях эксплуатации: Диссертация на соис. уч. ст. канд.т.н. – Казань, 2005 г. – С. 210.
3. Юлдашев, А.К. Динамика рабочих процессов двигателя машинно – тракторных агрегатов / А.К. Юлдашев. Казань: Татарское кн. изд – во, 1980. – 142 с.

4. Халиуллин, Ф.Х. Математическая модель определения эксплуатационных показателей энергетических установок мобильных машин в неустойчивых режимах работы/Халиуллин Ф.Х., Медведев В.М., Шириязданов Р.Р.// Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 1 (35). С. 71-74.
5. Габдрафиков, Ф.З.Повышение эффективности работы дизелей на неустойчивых режимах электронным регулированием топливopодачи / Габдрафиков Ф.З., Шамукаев С.Б., Мехоношин Е.П. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 7. С. 19-22.
6. Халиуллин, Ф.Х. Операторная форма решения уравнений для модели энергетических установок мобильных машин/Халиуллин Ф.Х., Медведев В.М.// Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2014. Т. 9. № 2 (32). С. 75-77.
7. Габдрафиков, Ф.З. Динамическая модель переходного процесса работы дизельного двигателя / Габдрафиков Ф.З., Шамукаев С.Б. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. 9. С. 22-24.
8. Халиуллин, Ф.Х. Учет условий эксплуатации автотранспортных средств при определении нормативов технической эксплуатации / Халиуллин Ф.Х., Галиев И.Г. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011. Т.6. № 2 (20). С. 106-108
9. Хайрутдинов, И. Н. Разработка методов и динамической математической модели для исследования дизелей при неустойчивых нагрузках/ И. Н Хайртдинов // Кандидатская диссертация Казань, 2003. -142 с.
10. Латыпов, К. М. Исследование динамических характеристик газодизельного двигателя. / К. М. Латыпов // Диссертация на соис. уч. ст. канд.т.н. – Казань, 2008. -136 с.
11. Khaliullin, F.K., Approaches for numerical simulation of mobile machines in actual operating conditions / Khaliullin F.K., Shiriyazdanov R.R., Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M./ International Conference «Global Science and Innovation»/ - USA. Chicago, may 21-22, 2014.
12. Медведев, В.М. Повышение эффективности функционирования машинно-тракторного агрегата с газодизельной системой подачи топлива. / Автореферат дис. канд. тех. наук. – Уфа. – 2015 г. – 16 с.
13. Галиев, И.Г. Оценка условий функционирования тракторов в аграрном производстве / И.Г. Галиев, Р.К. Хусаинов // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10. – С. 13-15.

Сведения об авторах:

Медведев Владимир Михайлович – кандидат технических наук, e-mail: mvvm-mail@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

Синицкий Станислав Александрович – кандидат технических наук, e-mail: stanislavsin@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

MATHEMATICAL MODEL OF ESTIMATION THE DYNAMIC PARAMETERS OF MACHINE AND TRACTOR UNIT'S ENGINE UNDER UNSTEADY LOAD

Medvedev V.M., Sinitskiy S.A.

Abstract. The article provides an analysis of the existing methods and techniques for assessing the dynamic characteristics of engines of mobile machines, and also presents theoretical calculations for estimating the dynamic performance of a machine and tractor unit's engine under unsteady load. The proposed mathematical model describes the change in the performance of the engine of machine and tractor unit with a linear law of loading and allows you to compare an engine's operation at unsteady load with the ideal. The quasi-dynamic characteristic was laid as the theoretical basis for study to assess the dynamic performance of machine and tractor unit's engine under unsteady load. Comparison of the dynamic performance of engines at unsteady load with ideal performance, which have no dynamic losses. It is proposed to apply the "quasi-dynamic" characteristics. The quasidynamic (ideal) characteristic is called - the change in the performance of machine and tractor unit's engine, in the transition process, occurring in accordance with the change in the frequency of rotation of the crankshaft on the stationary characteristics. The mathematical model for estimating the dynamic performance of an machine and tractor unit's engine using a correcting branch with an unsteady load is experimental equations for load buildup. Theoretical relationships have been developed for evaluating the dynamic performance of an engine with an unsteady load on the correcting branch of the regulatory characteristic. Using the proposed theoretical dependences, it is possible to carry out theoretical studies of the effect of load on the dynamic performance of an machine and tractor unit's engine and determine the total dynamic losses.

Key words: Engine performance of machine and tractor unit, unsteady load, mathematical model.

References

1. Yuldashev A.K. Ways to improve the efficiency of use of internal combustion engines of automobiles and machine and tractor units under operating conditions. [Puti povysheniya effektivnosti ispolzovaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya avtomobiley i mashinno-traktornykh agregatov v usloviyakh ekspluatatsii]. / A.K. Yuldashev, V.M. Medvedev, S.A. Sinitskiy, K.M. Latypov // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenerenogo universiteta im. V. P. Goryachkina. - Herald of Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkina.* М. – 2007. - № 1 (21).
2. Sinitskiy S.A. Vliyaniye nagruzki mashinno-traktornogo agregata na pokazateli dvigatelya v usloviyakh ekspluatatsii. // *Dissertatsiya kandidatskaya tekhnicheskikh nauk.* (Influence of the load of the machine-tractor unit on the engine performance under operating conditions. / S.A. Sinitskiy // Dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences). Kazan, 2005. P. 210.
3. Yuldashev A.K. Dinamika rabochikh protsessov dvigatelya mashinno-traktornykh agregatov. [Dynamics of working processes of the engine of machine and tractor units]. / A.K. Yuldashev // – Kazan, Tatarskoe kn. izd – vo, 1980, P. 142.
4. Khaliullin, F.Kh. A mathematical model for determining the performance indicators of power plants of mobile machines in unsteady operation modes / Khaliullin F.Kh., Medvedev V.M., Shiriyazdanov R.R.// *Herald of Kazan State*

Agrarian University. 2015. Vol. 10. No. 1 (35). P. 71-74.

5. Gabdrafikov, F.Z. Increasing the performance of diesel engines in unsteady modes by electronic regulation of fuel supply / Gabdrafikov FZ, Shamukaev S. B., Mekhonoshin E.P. // Mechanization and electrification of agriculture. 2015. No. 7. P. 19-22.

6. Khaliullin, F.Kh. Operator form for solving equations for a model of power plants of mobile machines / Khaliullin F.Kh., Medvedev V.M. // Herald of Kazan State Agrarian University. 2014. V. 9. № 2 (32). P. 75-77.

7. Gabdrafikov, F.Z. Dynamic model of the transient operation of a diesel engine / FZ Gabdrafikov, S. Shamukaev // Mechanization and electrification of agriculture. 2010. 9. P. 22-24.

8. Khaliullin, F.Kh. Consideration of the conditions of operation of vehicles in determining the standards of technical operation / Khaliullin F.Kh., Galiev I.G. // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2011. T.6. Number 2 (20). P. 106-108

9. Khairutdinov, I. N. Development of methods and dynamic mathematical model for the study of diesel engines with unsteady loads / I. N. Khairutdinov // Candidate dissertation Kazan, 2003. -142 p.10. Research of dynamic characteristics of gas-diesel engine / K. M. Latypov // PhD thesis. Kazan, 2008.-136 C.

10. Latypov K.M. *Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik gazodizelnogo dvigatelya. // Kandidatskaya dissertatsiya. (Investigation of the dynamic characteristics of a gas-diesel engine. / K.M. Latypov // Dissertation for a degree of Ph.D.). Kazan, 2008. – P. 136.*

11. Khaliullin F.K. Approaches for numerical simulation of mobile machines in actual operating conditions. / Khaliullin F.K., Shiriyazdanov R.R., Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M. / International Conference “Global Science and Innovation” / - USA. Chicago, May 21-22, 2014.

12. Medvedev V.M. *Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mashinno-traktornogo agregata s gazodizelnoy sistemoy podachi topliva. // Avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk. (Improving the efficiency of the functioning of the machine-tractor unit with a gas-diesel fuel supply system. / V.M. Medvedev // Abstract of thesis for a degree of Ph.D. of Technical sciences). Ufa, 2015. – P. 16.*

13. Galiev I.G. Assessment of the conditions of operation of tractors in agrarian production. [Otsenka usloviy funktsionirovaniya traktorov v ag-rarnom proizvodstve]. / I.G. Galiev, R.K. Khusainov // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. - Technique and equipment for the village.* 2015. № 10. P. 13-15.

Authors:

Medvedev Vladimir Mikhaylovich – Ph.D. of Technical Sciences, e-mail: mvm-mail@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Sinitski Stanislav Aleksandrovich – Ph.D. of Technical Sciences, e-mail: stanislavsin@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia