

СПОСОБЫ УПРОЩЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА БАЗЕ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

С.И. Копылов, О.А. Липа, Л.В. Беляева, Е.В. Хромов

Одним из главных недостатков, применяемых в производстве сельскохозяйственных машин с возвратно-поступательным движением рабочих органов, являются низкие технико-экономические показатели, связанные с необходимостью применения преобразователей вращательного движения вала приводного электродвигателя в возвратно-поступательное движение рабочего органа машины (клиноременная передача, эксцентриковый колебатель), что значительно увеличивает массу и габариты, удорожает конструкцию сельскохозяйственной машины. Большая металлоёмкость, потери энергии, сложность регулирования и интеграции с рабочими органами сельскохозяйственных машин заставляет искать пути получения возвратно-поступательного движения без механических редукторов. Совершенствование конструкций сельскохозяйственных машин за счёт совмещения рабочего органа и электродвигателя, имеющего высокие технико-экономические показатели. Совмещение рабочего органа сельскохозяйственных машин и ротора электродвигателя позволяет уменьшить массу и размеры машин, исключить из электропривода преобразователь движения в виде редуктора или другого передаточного механизма, улучшить условия теплоотдачи, охлаждения и вентиляции. Оснащение сельскохозяйственных машин безредукторным приводом отвечает современным требованиям энергосбережения и энергоэффективности и является актуальной задачей АПК. Одно из направлений по созданию таких машин – использование линейных асинхронных двигателей (ЛАД). В работе рассмотрены способы моделирования безредукторного привода.

Ключевые слова: привод сельскохозяйственных машин, линейный асинхронный двигатель, однофазный преобразователь частоты, система управления двигателем, упругие накопители энергии.

К основным недостаткам применяемых в сельскохозяйственном производстве машин с возвратно-поступательным движением рабочих органов относятся низкие технико-экономические показатели, связанные с необходимостью применения преобразователей вращательного движения вала приводного электродвигателя в возвратно-поступательное движение рабочего органа машины (клиноременная передача, эксцентриковый колебатель). Это значительно увеличивает массу и габариты, удорожает конструкцию сельскохозяйственной машины. Большая металлоёмкость, потери энергии, сложность регулирования и интеграции с рабочими органами сельскохозяйственных машин заставляет искать пути получения возвратно-поступательного движения без механических редукторов.

Совершенствование конструкций сельскохозяйственных машин за счёт совмещения рабочего органа и электродвигателя, имеющего высокие технико-экономические показатели, имеет актуальное значение. Совмещение рабочего органа сельскохозяйственных машин и ротора электродвигателя позволяет уменьшить массу и размеры машин, исключить из электропривода преобразователь движения в виде редуктора или другого передаточного механизма, улучшить условия теплоотдачи, охлаждения и вентиляции.

Существует несколько вариантов использования линейного асинхронного двигателя (ЛАД) в электроприводах с возвратно-поступательным движением рабочих органов.

Использование ЛАД с упругими накопителями энергии (возвратной пружиной) в сельскохозяй-

ственных машинах с возвратно-поступательным движением рабочих органов позволяет упростить кинематическую схему за счёт исключения передаточного механизма, уменьшить массу привода до 80%, повысить срок эксплуатации агрегатов [1]. Структурная схема указанного типа привода приведена на рис. 1.

Вместе с тем недостатками данной модификации являются повышенное потребление электрической энергии за счёт коммутации ЛАД, сложность регулирования частоты и амплитуды за счёт настройки момента включения и выключения двигателя в условиях частотно-переменной нагрузки, характерной для сельскохозяйственного производства. Кроме того, использование ЛАД с пружиной возможно при условии достижения их резонанса.

Существует и иной подход к решению вопроса о применении ЛАД в приводах сельскохозяйственных машин с возвратно-поступательным движением рабочих органов.

На кафедре «Электрооборудование и автоматика» ФГБОУ ВПО РГАЗУ разработан и исследован привод возвратно-поступательного движения на базе ЛАД с разночастотным питанием обмоток [2, 3]. Структурная схема указанного типа привода приведена на рис. 2.

Возвратно-поступательное движение достигается путем питания статорных обмоток ЛАД токами различных частот. При этом одна обмотка подключена непосредственно к сети, а две другие, соединённые последовательно, подключены к источнику с регулируемой частотой.

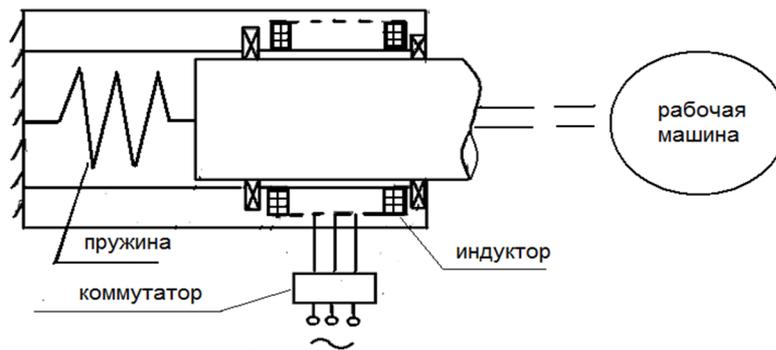


Рис. 1. Структурная схема электропривода на базе ЛАД с упругими накопителями энергии

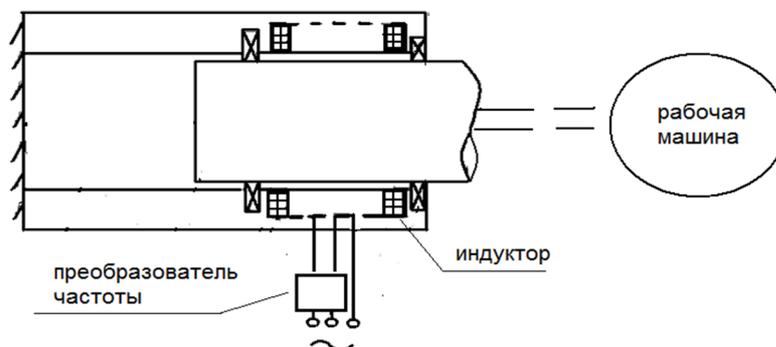


Рис. 2. Структурная схема электропривода на базе ЛАД с разночастотным питанием обмоток

Поле в воздушном зазоре меняется от кругового к пульсирующему с изменением чередования числа фаз, что приводит к созданию периодически меняющегося момента на валу двигателя. Частота изменения момента двигателя, а следовательно, и скорости вторичного элемента определяются абсолютной разностью частот питающих напряжений:

$$\omega_k = |\omega_1 - \omega_2| \quad (1)$$

Проведённое математическое исследование ЛАД с разночастотным питанием обмоток показало отсутствие недостатков электропривода на базе ЛАД с возвратной пружиной. Изменение амплитуды и частоты возвратно-поступательного движения вторичного элемента ЛАД с разночастотным питанием обмоток осуществляется проще и быстрее, чем у привода на базе ЛАД с возвратной пружиной, и уменьшает время простоя технологического оборудования.

При помощи разработанной математической модели проведено исследование и сравнительный анализ частоты ν и амплитуды A возвратно-посту-

пательного движения электропривода на базе ЛАД, а также скорости перемещения вторичного элемента V , электромагнитного усилия $F_{эм}$ и силы тока I индуктора ЛАД. Представлены зависимости перемещения вторичного элемента $S(t)$ (рис. 3), скорости и электромагнитного усилия $F(t)$ и $V(t)$ (рис. 4), силы тока $I_{\cos}(t)$ и $I_{\sin}(t)$ (рис. 5) в обмотках ЛАД при различных значениях частоты на выходе однофазного преобразователя (при $f_1=50$ Гц, $U_H=380$ В, $2p=2$).

Из графиков видно, что при уменьшении частоты на выходе однофазного частотного преобразователя f_2 происходит уменьшение амплитуды A и скорости V перемещения вторичного элемента ЛАД. Одновременно происходит увеличение значений силы тока I , электромагнитного усилия $F_{эм}$ ЛАД, а также частоты возвратно-поступательного движения ν .

Аналогичные параметры электропривода на базе ЛАД были исследованы при разном значении пар полюсов электрической машины $p=1-4$, величины нагрузки и начальной фазы питающего напряжения.

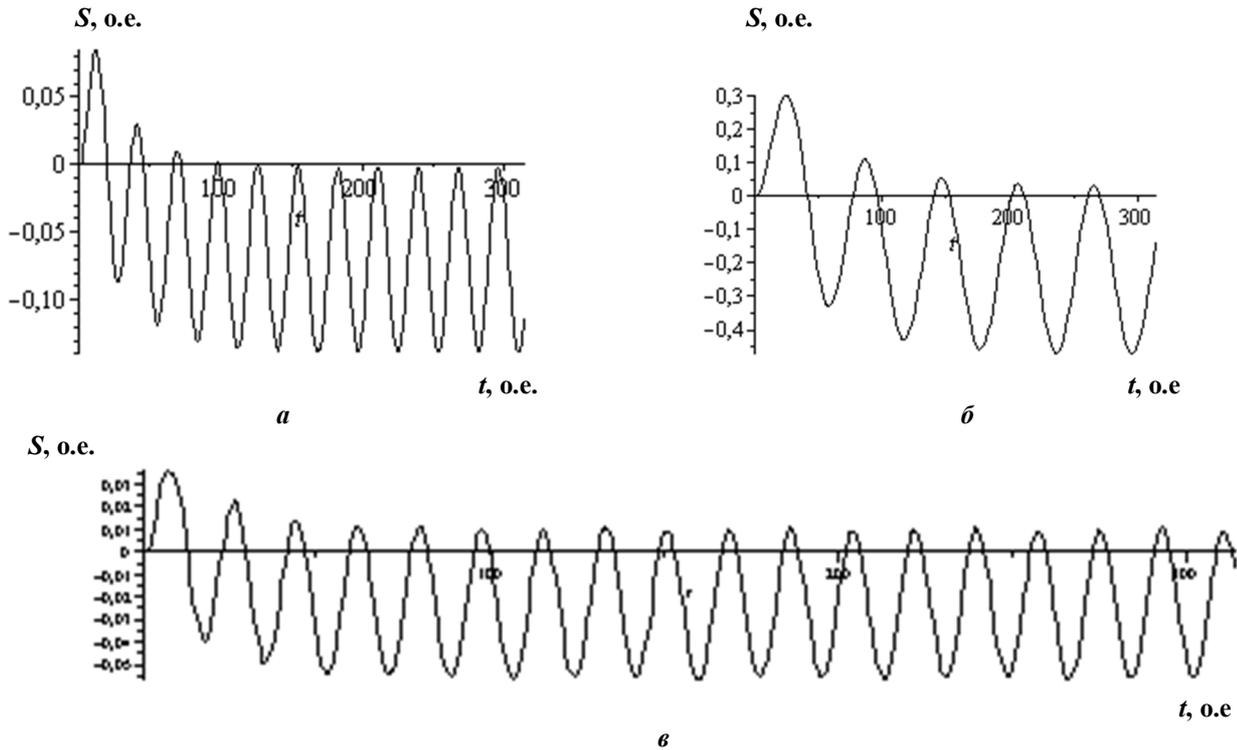


Рис. 3. Расчётная осциллограмма $S(t)$ пуска ЛАД при изменении величины частоты питающего напряжения в обмотках за 1 с: а – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 45$ Гц; б – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 40$ Гц; в – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 35$ Гц

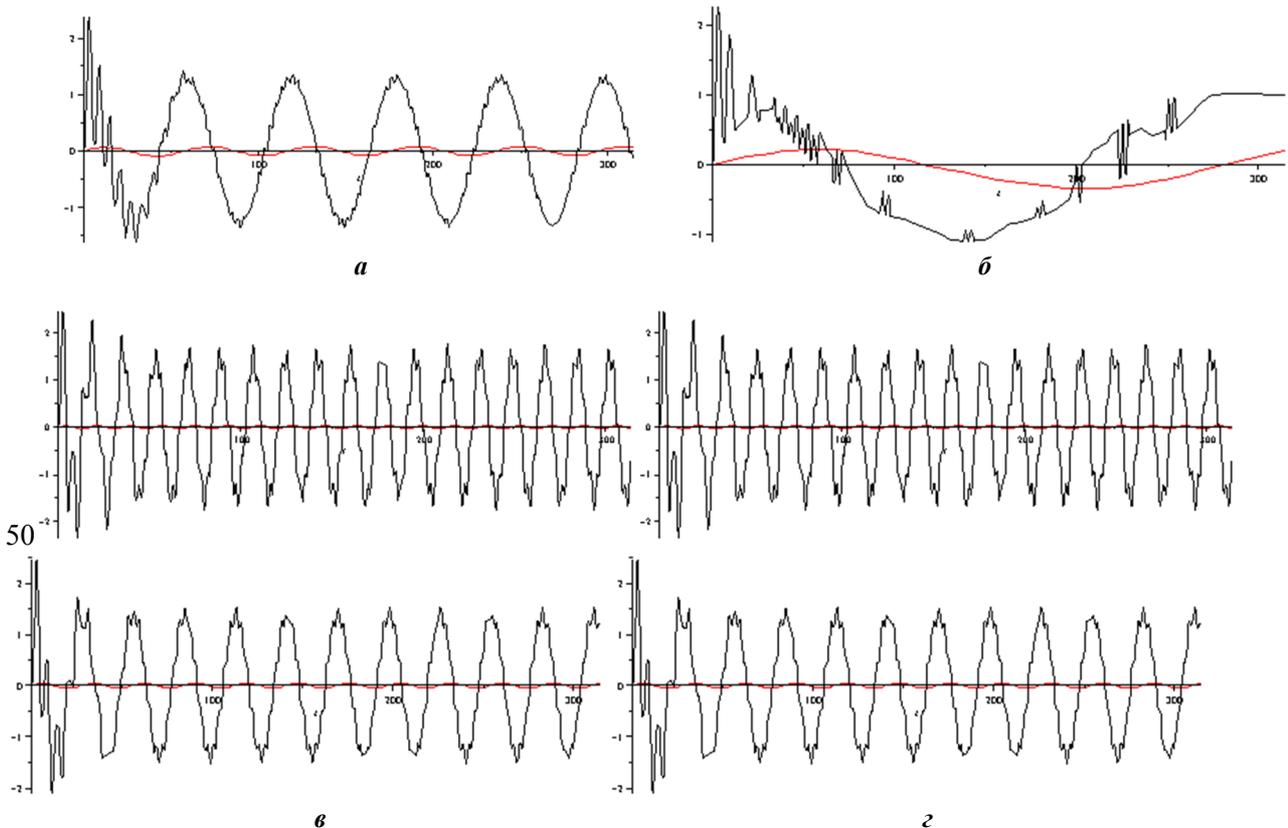


Рис. 4. Расчётная осциллограмма $F(t)$ и $V(t)$ пуска ЛАД при изменении величины частоты питающего напряжения в обмотках за 1 с: а – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 49$ Гц; б – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 45$ Гц; в – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 40$ Гц; г – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 35$ Гц

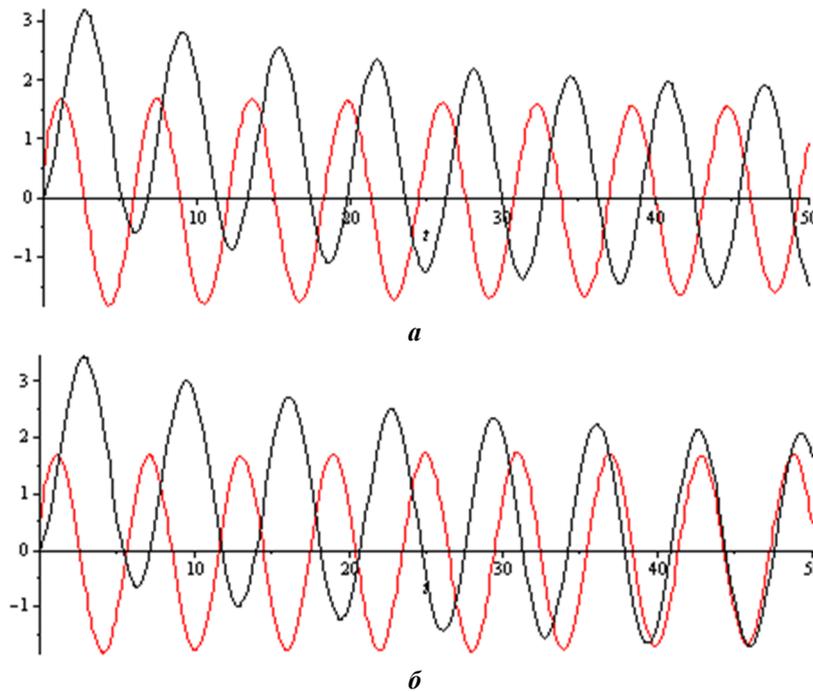


Рис. 5. Расчётная осциллограмма $I_{\cos}(t)$ и $I_{\sin}(t)$ пуска ЛАД при изменении величины частоты питающего напряжения в обмотках за 0,16 с: а – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 49$ Гц; б – $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 45$ Гц

Скорость $V(f_2)$ и амплитуда $A(f_2)$, возвратно-поступательного движения вторичного элемента ЛАД (рабочего органа сельскохозяйственных машин) обратно пропорциональны разности частот питающих напряжений. А частота $\nu(f_2)$ возвратно-поступательного движения вторичного элемента, электромагнитного усилия $F_{эм}(f_2)$ и ударного тока $I_y(f_2)$ прямо пропорциональны разности частот питающих напряжений.

Использование в приводе сельскохозяйственных машин возвратно-поступательного движения многополюсного ЛАД является более предпочтительным из-за меньшего ударного тока. Для ЛАД мощностью 3,0 кВт при числе пар полюсов $p=1-4$, значения ударного тока в индукторе соответственно уменьшается от 39 до 20 А. При увеличении угла сдвига фаз питающего напряжения (φ) от 0° до 90° происходит снижение ударного тока в обмотках индуктора ЛАД от 38 до 22 А (для ЛАД мощность 3,0 кВт). Данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации электроприводов возвратно-поступательного движения на базе ЛАД.

Установлено влияние на режимы работы сельскохозяйственных машин параметров ЛАД: для целевых функций $Y_1(A)$ и $Y_2(\nu)$ было определено значение факторов:

$$y_1 = 0,64 + 0,62x_1 - 0,45x_2 + 0,0006x_3 - 0,123x_4 - 0,44x_1x_2 - 0,0006x_1x_3 - 0,122x_1x_4 + 0,0003x_2x_3 + 0,0278x_2x_4 + 0,0004x_3x_4, \quad (2)$$

$$y_2 = 5,35 - 4,4x_1 - 0,05x_3. \quad (3)$$

В качестве исследуемых факторов, влияющих на параметры ЛАД, были выбраны: $X_1(f_2)$ – частота напряжения на выходе однофазного частотного преобразователя; $X_2(p)$ – число пар полюсов ЛАД; $X_3(\varphi^\circ)$ – угол сдвига фаз питающего напряжения; $X_4(F_H/F_H)$ – величина отношения силы нагрузки к пусковой силе ЛАД. В качестве целевых функций были выбраны: $Y_1(A)$ – амплитуда возвратно-поступательного движения рабочего органа сельскохозяйственных машин; $Y_2(\nu)$ – частота возвратно-поступательного движения рабочих органов сельскохозяйственных машин.

В качестве недостатка рассматриваемого типа привода можно отметить необходимость дополнительных энергозатрат, связанных с охлаждением двигателя.

Создание непосредственного вибрационного электропривода возвратно-поступательного движения на базе ЛАД комплексно решает проблему повышения технико-экономических показателей стационарных сельскохозяйственных машин за счёт упрощения кинематической схемы и уменьшения массогабаритных показателей привода.

Литература

1. Аипов Р. С. Колебательный линейный электропривод машин в сельскохозяйственном производстве / Р. С. Аипов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 11.
2. Хромов Е. В. Привод сельскохозяйственных машин с линейными асинхронными электродвигателями / Е. В. Хромов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 5. – С. 28 – 29.
3. Пат. 2414970 Российская Федерация, МПК С1 В07В 4/08. Вибропневмосепаратор [Текст] / Мамедов Ф. А., Хромов Е. В.; заявитель и патентообладатель Рос. гос. аграрн. заочн. ун-т. – № 2009135885/03; заявл. 29.09.2009; опубл. 27.03.11, Бюл. № 9. – 7 с.: ил.

Поступила в редакцию 23.03.2015.

Сергей Игоревич Копылов, д-р техн. наук, ст. научн. сотрудник,
профессор кафедры «Электрооборудование и автоматика», e-mail: 79161204085@yandex.ru.

Оксана Александровна Липа, канд. техн. наук, доцент,
зав. кафедрой «Электрооборудование и автоматика», e-mail: dlipa@list.ru.

Лариса Владимировна Беляева,
доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика», e-mail: kaf-eia@yandex.ru.

Евгений Владиленович Хромов, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика», e-mail: Hromov_Evgeniy@mail.ru,
ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет».

METHODS OF SIMPLIFICATION OF THE AGRICULTURAL MACHINES TRANSMISSION KINEMATIC SCHEMES, BASED ON THE LINEAR INDUCTION MOTOR

Kopylov S.I., Lipa O.A., Beliaeva L.V., Khromov E.V.

One of the major flaws, applied to the production of the agricultural machines with a movable object see-saw motion, is the low technical and economical performance, related to the necessity to apply converters of the electric motor drive shaft rotational motion into the see-saw motion of the machine's movable objects (V-belt transmission, eccentric-type oscillator), which dramatically increases the mass, size, as well as the price of the agricultural machine. Significant metal consumption, energy losses and difficulties, related to the adjustment and integration with the agricultural machines movable parts, makes us to search for the ways of providing the see-saw motion without the implementation of the mechanical gear boxes. Upgrading the agricultural machines design through the combination of a vehicle movable objects and the electric motor, that has a high technological and economical performance. The convergence of an agricultural machine movable object and an electric motor impeller allows to reduce vehicle's mass and size, eliminate a movement converter, in the form of a gear box, or any other transfer mechanism, from the electric motor, and also – to improve heat loss, cooling and ventilation conditions. Equipping agricultural machines with a gearless (direct-drive) transmission, meets the up-to-date power saving and energy-efficient requirements, which results to be a relevant objective of the agricultural sector. One of the ways to manufacture that type of vehicles – is the use of a linear induction motor (LIM). That study revises various ways to simulate the direct-drive transmission.

Key words: Agricultural machines transmission, linear induction motor, single-phase frequency converter, engine control system, resilient energy accumulator.

Reference

1. Aipov R. S. Vehicle oscillatory linear electric drive in the agricultural production / Aipov R. S. // Agricultural sector mechanization and electrification. – 2005. – № 11.
2. Khromov E. V. Agricultural machines drive with the linear induction motors / Khromov E. V. // Agricultural sector mechanization and electrification – 2012. – № 5. – P. 28 – 29.
3. Patent 2414970 Russian Federation IPC C1 B07B 4/08. Vibropneumoseparator [Text] / Mamedov F. A., Khromov E. V.; applicant and patentee of the Russian State agrarian correspondence university. – № 2009135885/03; dec.: 29.09.2009; pub.: 27.03.11, bul № 9. – 7 s.: il.

Kopilov Sergei Igorevich, Ph. D. of Engineering, Senior Scientific Researcher,
prof. of «Electric & Automation» dept., e-mail: 79161204085@yandex.ru.

Lipa Oksana Aleksandrovna, Ph. D. Candidate of Engineering, associate professor.
HoD «Electric & Automation», e-mail: dlipa@list.ru.

Beliaeva Larisa Vladimirovna, associate professor of the «Electric&Automation» dept.,
e-mail: kaf-eia@yandex.ru.

Khromov Evgenii Vladilenovich, Ph. D. Candidate of Engineering,
associate professor of the «Electric & Automation» dept., e-mail: Hromov_Evgeniy@mail.ru,
FSBI HPE «Russian State agrarian correspondence university».