



УДК 631.37+629.35

ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ ПРИ ПРЯМОТОЧНОМ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ**Уваров В.П.;**

Левшин А.Г., докт. техн. наук, профессор;

Майстренко Н.А.*

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, Москва, 127550, Российская Федерация,
*e-mail: nmaystr@mail.ru

Использование транспортно-технологических средств осуществляется по прямоточной схеме и включает поэтапное выполнение как основных нормообразующих работ (перевозку удобрений, перемещение и распределение их по полю), так и вспомогательных (возвращение средств с поля и погрузку удобрений). Приведен метод сопоставления основных видов работ при внесении удобрений. В качестве оценочных критериев приняты соотношение грузоперемещений по дороге и по полю, коэффициент пропорциональности между перемещением груза по полю и площадью распределения удобрений. Эти показатели зависят от расстояний транспортировки и доз внесения удобрений, а также от технологического фактора – плотности перемещений груза по полю. Последняя характеристика принята за оптимизируемый параметр. Поиск экстремума этого показателя проводили классическим методом. Получены оптимальные значения оценочных показателей с учетом варьирования соотношения грузоперемещений и ширины захвата технических средств. Указаны конкретные сочетания расстояний перевозки и доз внесения удобрений. Определены условия эффективного использования тракторных и перспективных автомобильных транспортно-технологических средств. Рекомендовано использовать автосредства, позволяющие изменять ширину захвата. Реализация изложенного методологического подхода к выбору оптимального соотношения механизированных работ при прямоточном внесении удобрений позволит исключить дополнительные грузоперемещения по полю, снизить расход топлива, повысить производительность. Показали, что производительность транспортно-технологических средств возрастает в 2,0; 1,3 и 1,15 раза соответственно для длины гона 3; 9 и 27 км при внесении удобрений дозой 0,06 кг/кв.м.

Ключевые слова: внесение удобрений, моделирование технологического процесса, плотность грузоперемещений по полю, эффективность использования транспортно-технологических средств.

■ **Для цитирования:** Уваров В.П., Левшин А.Г., Майстренко Н.А. Оптимальное соотношение основных механизированных работ при прямоточном внесении удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №4. С. 38-43.

OPTIMUM RATIO OF MAIN MECHANIZED OPERATIONS FOR DIRECT-FLOW FERTILIZERS INTRODUCTION**V.P. Uvarov;**

A.G. Levshin, Dr. Sci. (Eng.), Professor;

N.A. Maystrenko*

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya St., 49, Moscow, 127550, Russian Federation, *e-mail: nmaystr@mail.ru

Use of transport and technological means is carried out according to the direct-flow scheme and includes stage-by-stage performance as the main standard-setting operations (fertilizers transportation, movement and their distribution across a field), and auxiliary (return from a field and loading of fertilizers). The method of comparison of main types of operations at fertilizers application is given. An estimation criterion is a ratio of cargo movements on a road and across a field, proportionality coefficient between movement of freight and a fertilizers distribution area across the field. These indicators depend on transportation distances and doses of fertilizers application, and also on technology factor that is freight moving frequency across the field. The last characteristic is taken as the optimized parameter. An extremum of this indicator was searched due to a classical method. Optimum values of estimated indicators with the accounting of a variation of a ratio of load capacity and operating width of technical means are received. Concrete combinations of

transportation distances and doses of fertilizers application are specified. The authors defined conditions of effective use of tractor and perspective automobile transport and technological means. They recommended to use the automeans allowing to change operating width. Realization of the stated methodological approach will make it possible to select an optimum ratio of the mechanized operations at direct-flow fertilizers application, to exclude additional cargo movements across the field, to cut fuel consumption, to increase productivity. Productivity of transport and technological means increases by 2.0; 1.3 and 1.15 times respectively to length of furrow 3; 9 and 27 km at fertilizers application by a dose of 0.06 kg per sq.m.

Keywords: Fertilizers application; Technological process modeling; Frequency of cargo movements across a field; Efficiency of transport and technological means use.

For citation: Uvarov V.P., Levshin A.G., Maystrenko N.A. Optimum ratio of main mechanized operations for direct-flow fertilizers introduction. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 4: 38-43. (In Russian)

Внесение удобрений – интенсивный агротехнологический прием, направленный на сохранение плодородия почвы и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Значительную долю применяемых удобрений составляют твердые минеральные туки и органические биоты. Вносят их чаще всего при основной обработке почвы сплошным способом типовыми тракторными (ТС), а в перспективе и автомобильными (АС) транспортно-технологическими средствами (ТТС) [1-6].

Цель исследований – применение упрощенного способа сопоставления структурных видов работ при выполнении сложного механизированного процесса.

Материалы и методы. Использование ТТС осуществляется по прямой схеме и включает поэтапное выполнение как основных нормообразующих работ трех видов: на перевозке удобрений (A_a), на перемещение (A_p) и распределение (A_b) их по полю, так и вспомогательных работ: возвращение ТТС с поля и погрузку удобрений [7-10].

Каждую из этих работ и технологический процесс в целом общепринято характеризовать данными о производственных условиях, эксплуатационными параметрами и показателями использования технических средств [11-14].

Производственные условия характеризуют дозой внесения U удобрений, расстоянием перевозки L_T , длиной гона L , углом склона α , агрофоном поля, группой дороги. К параметрам ТТС относят грузоподъемность Q , ширину захвата B , скорость движения по дороге V_T и по полю V_P . Результат применения средств оценивают обработанной площадью F , рабочим путем по полю L_P , временем единичного цикла работ t_e , производительностью W_e и другими показателями, рассмотренными ниже.

На основании этих величин рассчитывают объемы основных работ по формулам рисунка 1.

Из сравнения объемов устанавливают превалирование одного из основных видов работ и анализируют его влияние на результат технологического процесса. Тем самым выявляют причины, вызывающие возможные дополнительные грузопереме-

щения по полю (переуплотнение почвы), снижение производительности и повышение удельного (на единицу работы) расхода топлива, а также другие факторы неэффективного использования ТТС в конкретной производственной ситуации.

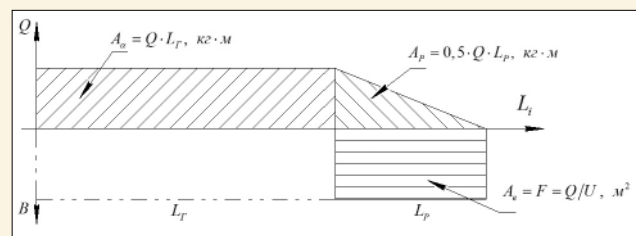


Рис. Изменение объемов работ на пути движения ТТС с грузом (по дороге и по полю)

Fig. Operations amounts change at movement of transport and technological means with freight (on road and across field)

Сопоставление видов работ проводят на основании результатов расчета соотношений объемов каждой из работ между собой, а для оценки их пропорций рекомендуется определять следующие показатели:

а) степень превалирования работы грузоперемещения по дороге над работой по перемещению груза по полю:

$$q_{ap} = (A_a/A_p) = 2L_T/L_P;$$

б) коэффициент пропорциональности между работой по перемещению груза по полю и работой по распределению удобрений по площади поля:

$$q_{pb} = (A_p/A_b) = 0,5 \cdot L_P \cdot U, \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{м}^2;$$

в) индекс транспортно-технологического процесса (соотношение транспортной и полевой работ):

$$q_{ab} = (A_a/A_b) = L_T \cdot U, \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{м}^2.$$

Из сравнения уравнений следует, что для любых ТТС значения оценочных показателей зависят от исходных условий работы (L_T , U), а также от показателя L_P . Его численное значение предопределяется конкретной величиной U и разными (в зависимости от марки ТТС) соотношениями между Q

и B по формуле $L_p = Q/(B \cdot U)$.

Таким образом, для ТТС разной мощности, выполняющих процесс в заданных условиях, оценочные показатели будут оптимальными только при обеспечении рационального соотношения между Q и B , то есть $Q/B \rightarrow opt$, какими бы ни были собственно значения Q и B .

Принимая важность такого обстоятельства, обозначим $Q/B = \omega$, где ω – обобщающий технологический показатель, кг/м (или кг·м/м²). По физическому смыслу ω – плотность грузоперемещений по полю (на единицу обработанной площади) или удельная (на единицу ширины захвата) грузоемкость ТТС.

С учетом зависимости $L_p = \omega/U$ оценочные характеристики сопоставления объемов работ будут выражены зависимостью от ω как $q_{ав} = 2L_G \cdot U/\omega$ и $q_{рв} = \omega/2$. Из этого следует, что для заданных L_G и U численные соотношения работ обусловлены величиной ω . По нему можно обосновывать рациональность соотношения работ и устанавливать степень превалирования одной из работ в функциональном назначении ТТС: как транспортного или полевого средства.

К тому же с учетом оптимального показателя ω_0 на последующих этапах моделирования процесса составляют целевые функции технико-экономических критериев, по которым для заданных доз внесения удобрений и расстояний перевозки выбирают мощность, скорость движения по дороге, полю и ширину захвата для ТТС заданной грузоемкости кузова. Определяют также производительность и денежные затраты при использовании ТТС.

Наряду с этим надо помнить, что при определении ω принимать произвольно значения Q и B нельзя. Они связаны между собой экспоненциальной зависимостью через баланс мощности ТТС.

Дальнейшие выкладки объясняют метод поиска оптимального значения этого важного показателя, характеризующего как технологический процесс в целом так и отдельно эффективность использования любого ТТС.

Классический метод исследования функций на экстремум наиболее уместен для этого случая. Следуя ему, процесс использования ТТС представляют в виде математической модели. На ее блок-схему воздействуют входные параметры: исходные данные о внешних условиях, эксплуатационные характеристики технических средств, целевая функция (критерий оптимальности), ограничения; а на выходе из системы – оптимизируемый параметр и обратные (управляющие) связи.

Основной этап подготовки модели к исследованию – формулирование целевой функции. Так как параметр A_a «проявляется» при полевой работе, а

она в свою очередь составляет часть от полного объема работ, то в критериях необходимо учитывать:

- объемы по грузоперемещению ($A_p = 0,5 \cdot Q \cdot L_p$) на длине единичного рабочего хода L_p и по распределению удобрений по площади ($A_b = F = B \cdot L_p$) поля;
- принятое нормирование объемов работ в размерности, т/ч;
- связи Q и B через ω в балансе мощности для полевых условий;
- каждый отрезок времени единичного цикла работ, с:

$$t_e = \sum_i^5 t_i, \text{ с,}$$

где t_1 – время ожидания погрузки и другие вероятностные простои (до 25% от t_2); t_2 – время погрузки удобрений, t_3 – время доставки груза на поле; t_4 – время внесения удобрений; t_5 – время возвращения с поля.

Таким требованиям отвечает целевая функция: $W_e = Q/t_e$, которая соответствует цикловой производительности, то есть массе удобрений, вносимых за время единичного транспортно-полевого процесса, кг/с.

На следующих этапах формирования модели для оптимизации требуется выразить Q и t_e в виде функции $f(\omega)$.

Зависимость $Q = f(\omega)$ принимается из баланса мощности средства при работе на поле в виде:

$$Q = \frac{N \cdot \xi_N / V_p}{g \cdot \varphi \cdot (1 + \delta) / (\eta_b \cdot \eta_m) + U \cdot e_N / (\omega \cdot \eta_b)}, \text{ кг,}$$

где N – эксплуатационная мощность средства, Вт; ξ_N – коэффициент использования мощности; g – ускорение силы тяжести, Н/кг; φ – коэффициент сопротивления перемещению; $\delta = M_e/Q$ – отношение массы энергомашины (с прицепом или кузовом) M_e к грузоемкости Q ; e_N – удельная (на единицу подачи удобрений) мощность на привод ВОМ, кН·м/кг; n_b, n_m, n_v – коэффициенты, учитывающие потери мощности, соответственно на буксование, в трансмиссии, на привод ВОМ.

Это уравнение можно привести к виду:

$$Q = \frac{C_Q}{\alpha_Q + \epsilon_Q / \omega},$$

где $C_Q = N \cdot \xi_N / V_p$, Н;

$$\alpha_Q = \frac{g \cdot \varphi \cdot (1 + \delta)}{\eta_b \cdot \eta_m}, \text{ Н/кг;}$$

$$\epsilon_Q = \frac{U \cdot e_N}{\eta_b}, \text{ Н/м.}$$



Зависимость $t_e = f(\omega)$ выводят из баланса времени единичного цикла работ $t_e = \sum_i^5 t_i$, с учетом уравнений:

$$t_1 + t_2 = 1,25 Q/W_n;$$

$$t_3 + t_5 = 2 \cdot L_{\Gamma} / V_{\Gamma};$$

$$t_4 = (L_p / V_p) + n_x \cdot t_{x1} = \omega / (V_p \cdot U) + [(\omega \cdot t_{x1}) / (U \cdot L)] = [(\omega \cdot t_{x1}) / (U \cdot L)] = \omega \cdot [1 / (V_p \cdot U) + t_{x1} / (U \cdot L)],$$

где W_n – производительность погрузчика, кг/с;
 n_x – количество поворотов на поле за один цикл;
 t_{x1} – время одного поворота, с.

После преобразования получаем зависимость

$$t_e = c_t + a_t + \epsilon_t \cdot \omega,$$

где $c_t = 1,25 \cdot Q / W_n$, с;

$$a_t = 2 \cdot L_{\Gamma} / V_{\Gamma}, \text{ с};$$

$$\epsilon_t = (1 / V_p \cdot U) + (t_{x1} / U \cdot L) = (1 / V_p \cdot U) \cdot (1 + L_x / L), \text{ с} \cdot \text{м} / \text{кг},$$

где $L_x = t_{x1} \cdot V_{\Gamma}$ – условный путь ТТС по полю за время поворота ($t_{x1} = 15$ с) со скоростью V_{Γ} ($V_{\Gamma} = 16$ м/с для автомобиля и $V_{\Gamma} = 8$ м/с для трактора).

Заключительный этап моделирования связан с поиском оптимального значения технологического показателя ω_0 . Изначально следует представить критерий оптимальности в зависимости от переменной ω . Подставив в целевую функцию развернутые выражения Q и t_e , получим:

$$W_e = \frac{C_Q / (c_t + a_t + \epsilon_t \cdot \omega)}{a_Q + \epsilon_Q / \omega} \rightarrow \max.$$

Далее исследуют функцию на экстремум классическим методом.

Из условия $\partial W_e / \partial \omega = 0$ (после дифференцирования и решения уравнения) получили оптимальное значение $\omega_0 = \left(\frac{a_1 \cdot \epsilon_Q}{a_Q \cdot \epsilon_1} \right)^{0,5}$, а в развернутом виде:

$$\omega_0 = U \cdot \left(\frac{2 \cdot L_{\Gamma} \cdot e_N \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_M}{\epsilon_v \cdot (1 + L_{x1} / L) \cdot g \cdot \varphi \cdot (1 + \delta) \cdot \eta_e} \right)^{0,5}, \text{ кг/м}.$$

Из анализа уравнения следует, что оптимальное значение ω_0 не зависит от мощности, скоростных режимов работы ТТС и производительности погрузчика.

В большей мере оно зависит от дозы внесения удобрений длины транспортировки удобрений и соотношения скоростей движения ТТС по дороге и полю, а в меньшей мере – от длины гона и коэффициента сопротивления перемещению.

В формуле для определения ω_0 особый интерес представляет сомножитель в виде радикала с математическим выражением под ним. Обозначим его через L_{po} . Из сравнения формул $\omega_0 = U \cdot L_{po}$ и $\omega_0 = Q / B = U \cdot L_p$ получим выражение:

Исходные данные BASIC DATA		Урал 432065 Ural 432065	МТЗ-82.1+РУП-6 MTZ-82.1+RUP-6
Показатели Indicators			
Q, кг		6000/20	6000/20
ω_T , кг/м		300	300
W_n , кг/с		10	10
V_{Γ} / V_p , м/с		16/3,2	8/3,2
ϵ_v		5	2,5
t_{x1} , с		15	15
N, Вт		140000	57000
ξ_N		0,8	0,8
α , град.		0	0
φ (стерня)		0,1	0,1
L, м		800	800
K_L , м		240	300

$$L_{po} = \sqrt{K_L \cdot L_{\Gamma} / \epsilon_v \cdot \varphi}.$$

По сути оно обозначает оптимальную длину единичного рабочего хода по полю, одинаковую для любых марок однотипных ТТС, так как L_{po} не зависит от мощности средства.

Величина L_{po} предопределяется в большей мере данными о внешних условиях L_{Γ} , L , L_x , (группа дороги, тип агрофона) и в меньшей – константами, характеризующими особенности конструкции движителей и разбрасывающих органов ТТС (ϵ_v ; φ ; e_N ; η_M ; η_{δ} ; η_B).

Такая трактовка определения L_{po} ориентирует пользователя на новое понимание направлений модернизации и резервов эффективного использования технических средств.

Для практических инженерных расчетов целесообразно привести зависимость к упрощенному виду $\omega_0 = f(U, L_{\Gamma}, \epsilon_v, \varphi)$ посредством применения корректирующего коэффициента, учитывающего действия с константами по формуле:

$$K_L = \frac{2 \cdot e_N \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_M}{(1 + L_{x1} / L) \cdot g \cdot (1 + \delta) \cdot \eta_e}, \text{ м}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБОСНОВАНИЯ RESULTS OF JUSTIFICATION			
АС		ТС	
L_{Γ} , км	U, кг/м ²	L_{Γ} , км	U, кг/м ²
3	0,24	1	0,20
9	0,15	3	0,14
27	0,08	9	0,10

Средневзвешенные значения постоянных величин в формуле K_L приняты следующие: $e_N = 3400$ и $e_N = 240$ (Н·м/кг), соответственно, для внесения твердых минеральных и органических удобрений;

$\eta_0 = \eta_M = 0,95$; $\eta_B = 0,9$; $g = 9,81$; Н/кг; при $L = 800$ м значения $L_{x1} = 240$ и $L_{x1} = 120$ м, а также $\delta = 1,2$ и $\delta = 1,0$, соответственно, для автомобильных (АС) и тракторных (ТС) средств.

При этом численные значения K_L составляют для АС – 240 м, а для ТС – 300 м.

Упрощенная формула оперативных расчетов позволит работникам ИТС определять оптимальные производственные условия эффективного использования конкретного ТТС с фиксированным значением ω_T . Они будут соответствовать условиям, при которых получено ω_T , то есть соблюдается тождество $\omega_0 = \omega_T$.

Реализовать L_{p0} предлагается установкой механизма регулирования ориентировочно в пределах $(0,5 \dots 2,0) B_k$, где B_k – ширина, установленная изготовителем.

Для машин с $\omega_T = const$ можно приблизиться к значению ω_0 изменяя также Q в допустимых пределах $(0,6 \dots 1,1) Q_H$ от номинальной грузоподъемности, принимая во внимание состояние дороги и поля. Если известно, как определяется и чем обеспечивается ω_0 , то можно установить оптимальные значения оценочных показателей работ $q_{ар0}$ и $q_{рвв}$ для каждого поля, характеризующегося различными сочетаниями U и L_T ; затем для них подобрать любые марки ТТС, у которых $\omega_T = \omega_0$. При этом их мощность не ограничивается критериями денежных затрат, но их производительность будет максимальной, если их Q и B дадут ω_0 .

Результаты и обсуждение. В ходе определения оптимального соотношения механизированных работ использовали данные таблицы 1. Итоговые расчеты показателей использования ТТС приводятся в табличном виде для двух типов ТТС: АС – Урал 432065; ТТС – МТЗ-82.1+РУП-6.

Из сопоставления этих данных с по показателями процесса при ω_T и ω_0 следует, что производительность ТТС возрастает в 2,0; 1,3 и 1,15 раза, соответственно для $L_T=3$; 9; 27 км при внесении удобрений дозой $U=0,06$ кг/м². Это увеличение при ω_0 было достигнуто повышением $q_{ар}$, соответственно, в 4,0; 2,5 и 1,5 раза путем уменьшения объема полевой работы A_p из-за снижения L_p .

Рациональность использования ТС и АС ($\omega_T = const$) обеспечивается при определенных условиях (табл. 2).

Расширить перечень других сочетаний L_T и U , при которых эффективно использование ТТС с постоянными Q и B , можно на основании экстраполяции табличных данных.

Эффект от применения ТТС на поле, удаленном на расстоянии L_T , но с участками, требующими разных U , достигается в случае, когда B подбирается для каждого U из условия $B_0 = Q/\omega_0$. Это обстоятельство подтверждает целесообразность внедрения механизма регулирования режимов и параметров работы разбрасывающего органа. С его помощью можно изменять B до оптимального значения B_0 , приближая тем самым функционирование ТТС с изменяемой B в системе точного земледелия.

Выводы

Предложенный методологический подход к оптимизации обобщенного технологического параметра ω (плотности грузоперемещений по полю) позволяет выбирать такое соотношение между грузоподъемностью и шириной захвата ТТС, при реализации которого исключаются дополнительные грузоперемещения по полю, повышение расхода топлива и снижение производительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левшин А.Г., Уваров В.П., Майстренко Н.А. Модель оптимизации параметров транспортно-технологических автомобилей // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. №1. С. 25-26.
2. Майстренко Н.А., Уваров В.П. Потребительские ориентиры эффективного использования перспективных транспортно-технологических средств // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина. 2016. №1. С. 14-15.
3. Mingrino F. Virtual design and development. Automotive Manufacturer; 2007: 24-35.
4. Blackmore B.S., Wheeler P.N., Morris, R.M., Morris, J. & Graham, J. (1994a) "Information Technology in Arable Farming", Report for Scottish Natural Heritage; TIBRE Project.
5. Зангиев А.А. Оптимизация состава и режимов работы МТА по критериям ресурсосбережения: Автореф. дисс. д-ра техн. наук. М.: МИИСП, 1988. 34 с.
6. Дзоценидзе Т.Д., Галкин С.Н., Левшин А.Г. и др. Специализированный автомобильный транспорт сельскохозяйственного назначения. М.: Metallurgizdat, 2013. 368 с.
7. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Автотранспорт для перевозки сельскохозяйственных грузов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №2. С. 19-20.
8. Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Колесникова В.А., Козлова А.И. Состояние производства и применения жидких минеральных удобрений в сельском хозяйстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. №6. С. 36-41.
9. Козлов И.Б., Базегский Э.П., Романов Г.В., Михеев В.В., Колесникова В.А. Гербицидный модуль к комбинированному агрегату МПТД-12 для полосного подсева семян в дернину сенокосов и пастбищ // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. №1. С. 36-38.
10. Козлов И.Б., Романов Г.В., Пакшвер С.Л., Базегский Э.П., Марченко А.Н. Совершенствование мобильных машин для внесения жидких органических

удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №1. С. 41-43.

11. Личман Г.И., Марченко Н.М. Механика и технологические процессы применения органических удобрений. М.: ВИМ, 2001. 335 с.

12. Blackmore B.S. and Marshall C.J. Yield Mapping Errors and Algorithms in 3rd International Conf. on

Precision Agriculture, edited by Robert, Rust and Larson. (ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 1996).

13. Blackmore B.S. Precision Farming; An Introduction. Outlook on Agriculture. Vol. 23, No 4, (1994) CABI

14. Blackmore B.S. (1994) "Precision Farming – an introduction." Outlook on Agriculture, 23 (4), CAB International.

REFERENCES

1. Levshin A.G., Uvarov V.P., Maystrenko N.A. Model of optimization of parameters of transport and technological machines. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*. 2014; 1: 25-26. (In Russian)

2. Maystrenko N.A., Uvarov V.P. Consumption priorities of effective use of perspective transport and technological means. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2016.; 1: 14-15. (In Russian)

3. Mingrino F. Virtual design and development. *Automotive Manufacturer*; 2007: 24-35. (In English)

4. Blackmore B.S., Wheeler P.N., Morris, R.M., Morris, J. & Graham, J. (1994a) "Information Technology in Arable Farming", Report for Scottish Natural Heritage; TIBRE Project.

5. Zangiev A.A. Optimizatsiya sostava i rezhimov raboty MTA po kriteriyam resursoberezeniya [Optimization of structure and operating modes of MTA by criteria of resource-saving: Avtoref. diss. d-ra tekhn. nauk. Moscow: MIISP, 1988: 34. (In Russian)

6. Dzotsenidze T.D., Galkin S.N., Levshin A.G., et al. Spetsializirovanny avtomobil'nyy transport sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Specialized motor transport of agricultural purpose]. Moscow: Metallurgizdat, 2013: 368. (In Russian)

7. Izmaylov A.Yu., Evtyushenkov N.E. Motor transport for agricultural freight. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 2: 19-20. (In Russian)

8. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A., Kozlova A.I. Condition of production and application of liquid mineral fertilizers in agriculture. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 6: 36-41. (In Russian)

9. Kozlov I.B., Bazegskiy E.P., Romanov G.V., Mikheev V.V., Kolesnikova V.A. Herbicidal module to combined MPTD-12 unit for strip reseeding of seeds in grassland sod. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010; 1: 36-38. (In Russian)

10. Kozlov I.B., Romanov G.V., Pakshver S.L., Bazegskiy E.P., Marchenko A.N. Improvement of mobile machines for liquid organic fertilizers introduction. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 1: 41-43. (In Russian)

11. Lichman G.I., Marchenko N.M. Mekhanika i tekhnologicheskie protsessy primeneniya organicheskikh udobreniy [Mechanics and technological processes of organic fertilizers application]. Moscow: ВИМ, 2001: 336. (In Russian).

12. Blackmore B.S. and Marshall C.J. Yield Mapping Errors and Algorithms in 3rd International Conf. on Precision Agriculture, edited by Robert, Rust and Larson. (ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 1996).

13. Blackmore B.S. Precision Farming; An Introduction. Outlook on Agriculture. Vol. 23, No 4, (1994) CABI

14. Blackmore B.S. (1994) Precision Farming – an introduction. Outlook on Agriculture, 23 (4), CAB International.

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

