

uravneniya pressovaniya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – № 8. – S. 52-55.

4. Biderman V.L. Teoriya mekhanicheskikh kolebaniy. – M.: Vysshaya shkola, 1980. – 408 s.

5. Panovko Ya.G. Vvedenie v teoriyu mekhanicheskogo udara. – M.: Nauka, 1977. – 224 s.

6. Batuev G.S. i dr. Inzhenernye metody issledovaniya udarnykh protsessov. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 240 s.

7. Fedorenko I.Ya. Al'ternativnaya teoriya pressovaniya kormov // Vestnik Altaiskogo

gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 3. – S. 95-98.

8. Mel'nikov, S.V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. – L.: Kolos, 1978. – 560 s.

9. Guritno P., Haque E. Relationship between energy and size reduction of grains using a three-roller mill // Trans. ASAE. – 1994. – Vol. 37 (4). – P. 1243-1248.

10. Fedorenko I.Ya., Zolotarev S.V., Smyshlyaev A.A. Vliyanie chisla udarov, neobkhodimyykh dlya razrusheniya zerna, na energetiku protsessa izmel'cheniya // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2001. – № 6. – S.53-54.



УДК 631.171.(07308)

**В.А. Завора**  
V.A. Zavora

## ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ЗАХВАТА МОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

### FUNDAMENTALS OF THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE OPTIMAL OPERATING WIDTH OF MOBILE MACHINERY UNITS USED IN CROP PRODUCTION

**Ключевые слова:** внешние производственные условия, оптимальная ширина захвата агрегата, мощность двигателя, машины, технико-экономическая целесообразность ширины захвата мобильного агрегата.

Ширина захвата мобильных агрегатов при выполнении технологических операций по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур является важнейшим параметром высокопроизводительного использования машинно-тракторных агрегатов, что достигается при определенных значениях мощности двигателя, массе и скорости движения. Проводится аналитическое исследование зависимости между основными показателями внешних производственных условий и основными параметрами агрегата – шириной захвата, массой, энергонасыщенностью, кинематическая характеристика. Скорость агрегата должна устанавливаться с учетом качества работы, однако во многих случаях скорость (км/ч), определяемая энергонасыщенностью агрегата, не может быть реализована ввиду агротехнических ограничений, и тогда определяющим критерием, отражающим всю совокупность факторов, действующих при

функционировании мобильного агрегата, – приведенные издержки на единицу площади.

**Keywords:** external production conditions, optimal operating width, engine power, machinery, technical and economic feasibility.

The operating width of mobile machinery units performing crop cultivation and harvesting operations is the most important parameter of highly productive use of machinery and tractor units; this is achieved at certain values of engine power, weight and speed. The paper presents an analytical study of the relation between the main indices of the external operating conditions and the main parameters of the unit as operating width, weight, power/weight ratio and kinematic characteristics. The speed of the unit should be determined with the account of the work quality, but in many cases the speed (km/h) determined by the unit's power/weight ratio cannot be realized due to agronomic limitations, and then the determining criterion which reflects all the factors arising at the operation of a mobile unit are the total costs per area unit.

**Завора Виктор Алексеевич**, к.т.н., проф., каф. безопасности жизнедеятельности, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-99-59. E-mail: vystsergej@yandex.ru.

**Zavora Viktor Alekseyevich**, Cand. Tech. Sci., Prof., Chair of Life Safety, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-99-59. E-mail: vystsergej@yandex.ru.

Наибольшая эффективность применения подвижного агрегата в заданном сочетании внешних производственных условий, как известно, достигается при определенных значениях его параметров (мощности энергетической установки, массе и ширине захвата) [1].

Предпосылка высокой производительности мобильного агрегата – соответствие его параметров, прежде всего ширины захвата, производственным условиям применения [2].

Зависимость между основными показателями внешних производственных условий (физико-механические свойства обрабатываемого материала и основания, по которому перемещается агрегат, уклон местности, размеры обрабатываемых полей) и основными параметрами агрегата (ширина захвата, масса, энергонасыщенность, кинематическая характеристика) можно выразить следующим образом:

$$B_{\text{опт}}^M = \sqrt{\frac{\Psi G g L}{K_x K_{\text{пр}}'}} \quad (1)$$

или, принимая во внимание что  $G = \frac{N}{N_y}$ ,

$$B_{\text{опт}}^M = \sqrt{\frac{\Psi G g L}{N_y K_x K_{\text{пр}}'}} \quad (2)$$

где  $B_{\text{опт}}$  – оптимальная ширина захвата агрегата, м;

$\Psi$  – коэффициент сопротивления передвижению трактора  $\Psi = (f \cos \alpha \pm \sin \alpha)$  ( $\alpha$  – угол наклона);

$G$  – масса трактора, кг;

$L$  – длина гона, м;

$K_x$  – кинематическая характеристика агрегата, определяемая отношением средней длины холостого хода  $L_x$ , приходящейся на один рабочий ход  $L$ , к ширине  $B$ :  $K_x = L_x/B$ ;

$N$  – мощность двигателя, кВт;

$N_y$  – энергонасыщенность трактора ( $N_y = N/G$ ), кВт/кг;

$K_{\text{пр}}$  – приведенное удельное тяговое сопротивление машин (Н/м), определяемое зависимостью:

$$K_{\text{пр}} = \frac{R}{B} + \frac{3,6 \cdot 10^3 N_{\text{вот}} \eta_{\text{пт}}}{B V \eta_{\text{вот}}}, \quad (3)$$

где  $R$  – тяговое сопротивление прицепной части агрегата, Н;

$N_{\text{вот}}$  – мощность, реализуемая через ВОМ, кВт;

$\eta_{\text{вот}}$  – КПД вала отбора мощности ( $\approx 0,94-0,96$ );

$\eta_{\text{пт}}$  – КПД силовой передачи трактора;

$U$  – скорость поступательного движения агрегата, км/ч.

Увеличение ширины захвата агрегата сопровождается уменьшением коэффициента его эксплуатационной надежности  $\tau_{\text{ЭН}}$  [3]:

$$\tau_{\text{ЭН}} = \frac{T_p}{T_p + T_n}, \quad (4)$$

где  $T_p$  – время бесперебойной работы агрегата при выполнении технологических операций возделывания и уборке сельскохозяйственных культур;

$T_n$  – время, затраченное на устранение неисправности агрегата.

График изменения производительности агрегата в функции числа  $n$  машин в агрегате (рис.) показывает, что при заданных значениях коэффициента эксплуатационной надежности наибольшая производительность достигается при определенном числе машин в агрегате. Опыт показывает, что чем стабильнее свойства почвы, хлебной массы и др., тем выше эксплуатационная надежность машин, следовательно, и возможности эффективного применения широкозахватных агрегатов. Скорость агрегата должна устанавливаться с учетом качества работы:

$$U = \frac{3,6 \cdot 10^3 N \xi_d \eta_{\text{пт}}}{K_{\text{пр}} B}, \quad (5)$$

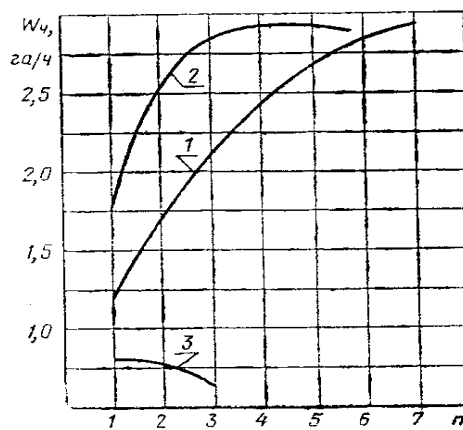


Рис. Изменение  $W_{\text{ч}}$  в зависимости от числа  $n$  машин (корпусов) в агрегате:  
1 – вспашка; 2 – посев;  
3 – уборка свеклоуборочными комбайнами

Во многих случаях скорость (км/ч), определяемая энергонасыщенностью агрегата, не может быть реализована вследствие агротехнических или физиологических ограничений [4]. Так, энергонасыщенный тракторный агрегат (Т-150, плуг ПЛН-4-35) при вспашке на глубину 20 см почвы с удельным сопротивлением  $K_0 = 0,06$  Мпа и степени загрузки двигателя  $\xi_d = 0,9$  мог бы развить скорость  $U \approx 13,8$  км/ч.

Однако допустимая скорость по качественным показателям работы плуга составляет 9 км/ч. При установке скоростных корпусов ПЛЖ-31 тот же агрегат мог бы работать со скоростью 12 км/ч [5].

Установленные в результате многочисленных исследований закономерности изменения тяговых сопротивлений, сопротивлений передвижению, буксования и потребной мощности по скорости, показателей массы агрегата по ширине захвата, кинематических показателей, использования сменного времени по ширине захвата и скорости движения дают возможность находить оптимальное сочетание между параметрами и режимами работы агрегатов.

Определяющий критерий, отражающий всю совокупность факторов, действующих при функционировании подвижного агрегата, – приведенные издержки на единицу площади [6, 7].

Серьезное внимание должно быть обращено на системно-экономически обоснованное прогнозирование параметров перспективных энергетических средств для сельскохозяйственного производства. При этом надо учитывать взаимообусловленность всех элементов производства: технических средств, людей, обслуживающих машины, и внешних условий (среды). Односторонний учет отдельных элементов вне связи с другими может обусловить большие народнохозяйственные потери.

Длина гонов оказывает значительное влияние на производительность агрегатов, а также на экономические показатели их применения. Более мощные тракторы более интенсивно снижают производительность по мере уменьшения длины гонов.

Представим функцию суммарных затрат в следующем виде [8]:

$$P = \frac{C_1 \alpha_1 \gamma_1}{100W_{сез}} + \frac{C_2 \alpha_2 \gamma_2}{100W_{сез}} + \frac{З + F + C_3}{W_4} + \sum_{i=1}^n R_i + K_{п} UC_{п} D_p + \sum_{i=1}^m З_i, \quad (6)$$

где  $P$  – удельные затраты, руб/га;

$C_1$  – балансовая стоимость сцепки, руб.;

$C_2$  – балансовая стоимость машины, руб.;

$\alpha_1, \alpha_2$  – отчисления на реновацию по сцепке и навесной или прицепной машине, %;

$W_{сез}$  – объем работы, га;

$З$  – зарплата тракториста, руб/ч;

$C_3$  – отчисления на реновацию трактора, руб/ч;

$F$  – стоимость топлива, руб/ч;

$W_4$  – производительность агрегата, га/ч;

$R_i$  – удельные пропорциональные затраты, руб/га;

$K_{п}$  – коэффициент учета потерь урожая, доля/день;

$U$  – урожайность культуры, ц/га;

$C_{п}$  – закупочно-сдаточная цена продукта, руб/ц;

$D_p$  – продолжительность выполнения работы, дни;

$\gamma_1, \gamma_2$  – удельный вес данной работы в общем годовом объеме работ, выполняемых универсальной машиной (по времени), часть;

$З_i$  – зарплата механизаторов (кроме тракториста).

Выполним некоторые преобразования формулы (6):

$$C_1 = \rho_1 B_p; \quad C_2 = \rho_2 B_p,$$

где  $\rho_1, \rho_2$  – удельная стоимость сцепки и машины, руб/м;

$B_p$  – рабочая ширина захвата машины (агрегата), м.

$$W_4 = 0,1 B_p u_p \tau; \quad D_p = \frac{W_{сез}}{W_{дн}} = \frac{W_{сез}}{W_4 T}$$

где  $T$  – продолжительность рабочего дня, ч.

С учетом преобразований формула (6) примет вид:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \alpha_i \gamma_i B_p}{100W_{сез}} + \frac{З + F + C_3}{0,1 B_p u_p \tau} + \frac{K_{п} UC_{п} W_{сез}}{0,1 B_p u_p T} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^m З_i, \quad (7)$$

Вместо отношения  $\frac{K_{п}}{T}$  введем значение  $K_{пч}$

– коэффициент учета потерь урожая с размерностью, доля (часть)/ч.

Для определения оптимального значения  $B_p$  выполним исследование функции (7) на отыскание экстремального значения.

После несложных преобразований получаем:

$$B_p^{opt} = \sqrt{\frac{10 \cdot 100 [W_{сез}^2 K_{пч} UC_{п} + W_{сез} (З + F + C_3)]}{u_p \tau \sum_{i=1}^n \rho_i \alpha_i \gamma_i}}. \quad (8)$$

При учете нормативной окупаемости капитальных вложений:

$$B_p^{opt} = \sqrt{\frac{10 \cdot 100 [W_{сез}^2 K_{пч} UC_{п} + W_{сез} (З + F + C_3)]}{u_p \tau \sum_{i=1}^n \tau_i (\alpha_i + E_{п}) \gamma_i}}. \quad (9)$$

Значение  $C_3'$  необходимо определять по формуле:

$$C_3' = \frac{C_3 (\alpha + E_{п})}{T_p}, \quad (10)$$

где  $C_3$  – балансовая стоимость трактора, руб.;

$T_p$  – нормативная годовая загрузка трактора, ч.

При использовании для расчетов формул (8) и (9) необходимо соблюдать условие  $B_p^{opt} \leq B_p^N$ , где  $B_p^N$  – ширина захвата агрегата, определенная исходя из энергетических возможностей трактора (2)

### Выводы

1. Учет потерь урожая приводит к значительному увеличению ширины захвата агрегатов, что, в свою очередь, является предпо-

сылкой к использованию более мощных энергетических средств.

2. Повышение урожайности и закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию является одним из важнейших факторов необходимости применения высокопроизводительных мобильных агрегатов.

#### Библиографический список

1. Завора В.А. Основы эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – Барнаул, 2004. – 256 с.

2. Самсонов В.А., Зангиев А.А., Лачуга Ю.Ф. и др. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – М.: Колос, 2000. – 248 с.

3. Пискарев А.В. Надежность технологических систем машиноиспользования в растениеводстве: совершенствование методов проектирования и эксплуатации на основе системного подхода: монография. – Новосибирск: НГАУ, 2011. – 384 с.

4. Плаксин А.М. Энергетика мобильных агрегатов в растениеводстве. – Челябинск, 2005. – 203 с.

5. Завора В.А., Толокольников В.И., Васильев С.Н. Основы технологии и расчета мобильных процессов растениеводства. – Барнаул, 2008. – 263 с.

6. Кушнарёв Л.И. Рациональная организация производственно-технологического сервиса на МТС // Тракторы и с.-х. машины. – 2002. – № 10. – С. 36-42.

7. Плаксин А.М. Методика энергетической оценки машинно-тракторных агрегатов // Вестник ЧГАУ. – Челябинск, 2000. – Т. 31.

8. Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б. Обоснование состава парка машин машинно-

технологических станций // Механизация электрификации сельского хозяйства. – 2011. – № 10. – С. 2-3.

#### References

1. Zavora V.A. Osnovy ekspluatatsii mobil'nykh sel'skokhozyaistvennykh agregatov. – Barnaul, 2004. – 256 s.

2. Samsonov V.A., Zangiev A.A., Lachuga Yu.F. i dr. Osnovy teorii mobil'nykh sel'skokhozyaistvennykh agregatov. – M.: Kolos, 2000. – 248 s.

3. Piskarev A.V. Nadezhnost' tekhnologicheskikh sistem mashinoispol'zovaniya v rastenievodstve: sovershenstvovanie metodov proektirovaniya i ekspluatatsii na osnove sistemnogo podkhoda: monografiya. – Novosibirsk: NGAU, 2011. – 384 s.

4. Plaksin A.M. Energetika mobil'nykh agregatov v rastenievodstve. – Chelyabinsk, 2005. – 203 s.

5. Zavora V.A., Tolokol'nikov V.I., Vasil'ev S.N. Osnovy tekhnologii i rascheta mobil'nykh profsessov rastenievodstva. – Barnaul, 2008. – 263 s.

6. Kushnarev L.I. Ratsional'naya organizatsiya proizvodstvenno-tekhnologicheskogo servisa na MTS // Traktory i s.-kh. mashiny. – 2002. – № 10. – S. 36-42.

7. Plaksin A.M. Metodika energeticheskoi otsenki mashinno-traktornykh agregatov // Vestnik ChGAU. – 2000. – T. 31.

8. Pazova T.Kh., Dzuganov V.B. Obosnovanie sostava parka mashin mashinno-tekhnologicheskikh stantsii // Mekhanizatsiya elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – 2011. – № 10. – S. 2-3.



УДК 534.2.26: 620.22: 677.017

А.Ф. Костюков  
A.F. Kostyukov

## АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

### ANALYSIS OF ACOUSTIC MODEL OF ELECTRICAL WIRING CONDUCTIVITY

**Ключевые слова:** электропроводка, оценка надежности, акустическая модель, частота колебаний, структура проводника.

Использование технических регламентов не предполагает прогнозирование аварийной ситуации, принятия упреждающих решений по своевременному предотвращению нарушений в сетях сельского электроснабжения. Руководствуясь «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ), «Правилами технической эксплуатации» (ПТЭ) и «Правилами техники безопасности» (ПТБ) электроустановок, невозможно предсказать время

наступления аварийной ситуации в электросетях. Все указанные нормативные акты устанавливают технические требования к выбору, установке, монтажу, наладке, обслуживанию, обнаружению и устранению неисправностей электроустановок и электросетей. Как показал патентно-информационный поиск на глубину 86 лет (с 1928 по 2014 гг.), проведенный автором, в открытой литературе отсутствует информация о разработках по временной оценке надежности электропроводок и электроустановок. Между тем за последние десятилетия энергопотребление производственного, жилого и социально-административ-