

## О РАЦИОНАЛЬНОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

**А.В. Новиков, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ); С.А. Антошук, канд. техн. наук, А.А. Жешко, канд. техн. наук, В.К. Клыбик, канд. техн. наук (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)**

### Аннотация

*Получено линейное уравнение регрессии зависимости грузоподъемности от массы 83 современных машин для внесения твердых минеральных удобрений. Показано, что для рассмотренного количества машин отечественного и зарубежного производства существует их рациональная грузоподъемность с точки зрения наименьшей материалоемкости.*

*The linear equation of the regression of the dependence of load-carrying capacity on the weight 83 of the present-day machines for hard-grained mineral fertilizer distribution is obtained. Hereby a rational load-carrying capacity from the point of the least materials consumption is shown for the analysed quantity of domestic and foreign machines.*

### Введение

Во многом благодаря использованию удобрений, белорусскими аграриями достигнут урожай зерновых более 9 млн. т. Вместе с тем, наличие в хозяйствах машин для внесения твердых минеральных удобрений за последнее десятилетие существенно сократилось [1]. Если потребный количественный состав парка таких машин зависит от запланированного годового объема работ по внесению удобрений, то обоснование качественной его составляющей является многокритериальной задачей.

Критериями выбора рациональных конструктивных параметров машин для внесения удобрений могут выступать затраты денежных средств, энергии, топлива или другие технико-эксплуатационные показатели агрегата, к тому же каждый из перечисленных критериев зависит от целого ряда факторов. Удельная материалоемкость производственной операции внесения минеральных удобрений является важным показателем эффективности инженерных решений, по-

этому данному критерию целесообразно уделить особое внимание, чему и посвящена настоящая работа.

### Основная часть

Основные конструктивные параметры машин для внесения минеральных удобрений должны быть взаимосвязаны с реальными производственными условиями. Выбор рационального значения грузоподъемности  $Q$  (кг) технических средств для внесения удобрений обусловлен рядом факторов, таких как норма внесения удобрений  $H$  (кг/га), рабочая скорость движения агрегата  $V_p$  (км/ч), рабочая ширина захвата  $B_p$  (м), расстояние от места загрузки до рабочего участка  $s$  (км), средняя длина гона  $L$  (км) и др. [2, 3].

Если рассматривать соотношение массы и грузоподъемности современных машин для внесения минеральных удобрений (табл. 1), то машины условно можно разделить по массе на классы по следующим признакам: отечественные и зарубежные машины, навесные и прицепные, центробежные и штанговые.

**Таблица 1. Соотношение грузоподъемности (кг) и массы (кг) современных машин для внесения удобрений**

ч	Грузоподъемность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъемность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъемность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъемность / масса
1	2	3	4	5	6	7	8
"RAUCH" "MDS 55"	800 / 190	"Брестсельмаш" "АВУ-0,8"	800 / 310	"BREDAL" "К 85"	10000 / 3000	"Бобруйскагромаш" "РУ-1000"	1000 / 500
"RAUCH" "MDS 85"	1400 / 260	"Брестсельмаш" "АВУ-1,5"	1600 / 360	"BREDAL" "К 65"	7000 / 2150	"Бобруйскагромаш" "РУ-1600"	1600 / 500

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
"RAUCH" "MDS 935"	1800 / 280	"Проммашре- монт" "РДУ-1,5"	1500 / 450	"BREDAL" "K 45"	5000 / 1650	"Бобруйскагромаш" "ПУ-3000"	3000 / 1250
"RAUCH" "AXIS 20.1"	2100 / 295	"Лидагромаш" "Л-116"	600 / 200	"BREDAL" "K 40"	4000 / 1500	"Бобруйскагромаш" "МТТ-4У"	4500 / 2500
"RAUCH" "AXIS 30.1"	3000 / 320	"Уралагромаш" "МВУ-4"	4000 / 1800	"Bogballe" "M3 plus"	2000 / 510	"Бобруйскагромаш" "ПУ-7000"	7000 / 3900
"RAUCH" "AXIS 40.1"	3000 / 395	"Уралагромаш" "МВУ-5"	6000 / 2100	"Bogballe" "M2 plus"	2000 / 450	"Ковельсельмаш" "МРД-4"	5000 / 1550
"RAUCH" "AXERA M"	3500 / 670	"Уралагромаш" "МВУ-8"	8000 / 2800	"Bogballe" "M2 base"	1100 / 396	"VICON" "RS-EDW 2300"	2300 / 602
"RAUCH" "AXERA H"	3500 / 730	"Белоцерковмаз" "PH-0,5"	500 / 170	"Bogballe" "L2 plus"	800 / 268	"VICON" "RS-EDW 3200"	3200 / 644
"RAUCH" "UKS"	700 / 210	"Белоцерковмаз" "PH-0,8"	800 / 320	"Bogballe" "L1 plus"	800 / 210	"SOLA" "SV-15"	15000 / 4800
"RAUCH" "TWS"	8500 / 3440	"Teagle" "XT 20"	660 / 120	"Terrion" "ZG-B 5500 Special"	5500 / 2100	"AGRAM" "JS 18-1"	1490 / 272
"UNIA" "MXL 2500"	3000 / 673	"Teagle" "XT 24"	675 / 153	"Terrion" "ZG-B 8200 Special"	8500 / 2500	"SULKY" "DPA Polyvrac S 160 M"	12500 / 3400
"UNIA" "MXL 3000"	3000 / 690	"Teagle" "XT 48"	1350 / 230	"AGRAM" "JS 28-1"	1800 / 352	"SULKY" "DPA Polyvrac D 190 M"	14800 / 4100
"UNIA" "RCW 3 000"	3000 / 1840	"Sipma" "N-060"	550 / 280	"Panien" "PW-11-08 M"	8000 / 3120	"VICON" "RS-C 700 RotaFlow"	700 / 200
"UNIA" "RCW 5 500"	5700 / 2200	"Sipma" "N-049"	1100 / 380	"Panien" "PW-9-10 M"	10000 / 4050	"VICON" "RS-C 900 RotaFlow"	900 / 219
"UNIA" "RCW 7 500 plus"	7500 / 2450	"Sipma" "N-049/1"	1650 / 410	"Panien" "PW-11-08 M"	12000 / 4200	"VICON" "RS-C 1200 RotaFlow"	1200 / 239
"UNIA" "RCW 10 000"	10000 / 2600	"Sipma" "N-049/2"	1200 / 430	"GASPARDO" "RM-80"	7500 / 2120	"VICON" "RS-M 1050 RotaFlow"	1050 / 300
"GASPARDO" "CIRO"	1000 / 170	"Sipma" "ANTEK N-064"	400 / 200	"SULKY" "X 36"	1900 / 380	"VICON" "RS-M 1350 RotaFlow"	1350 / 322
"GASPARDO" "ZENO 18"	2000 / 298	"SULKY" "DPA XLT"	5200 / 2000	"SULKY" "X 44"	2400 / 510	"VICON" "RS-M 1700 RotaFlow"	1700 / 349
"GASPARDO" "ZENO 24-28- 32"	3000 / 434	"SULKY" "DPA Polyvrac S 80"	6700 / 1800	"SULKY" "DPX Prima"	900 / 260	"VICON" "RS-XL 1650"	1650 / 470
"SULKY" "DRC"	900 / 200	"SULKY" "DPA Polyvrac S 120 M"	9200 / 2800	"SULKY" "DPX 70 лет"	1500 / 290	"VICON" "RS-XL 2300"	2300 / 512
"BREDAL" "K 105"	12000 / 3450	"VICON" "RS-EDW 1650"	1650 / 560	"VICON" "RS-XL 3200"	3200 / 554		

Для рассматриваемых параметров грузоподъёмности  $Q$  и массы  $M$ , характеризующих машины для внесения твёрдых минеральных удобрений, показатель  $Q$  целесообразно считать объясняемым (выходным или эндогенным),  $M$  – объясняющим (входным или экзогенным).

Для приведенных в табл. 1 данных коэффициент корреляции составляет  $\tilde{r}_{QM} = 0,953$ .

Поскольку значение  $|\tilde{r}_{QM}| > 0,7$ , можно утверждать, что связь между рассматриваемыми параметрами

рами  $Q$  и  $M$  высокая, и можно строить простую регрессию.

По значениям табл. 1 построено поле рассеяния, представленное на рис. 1.

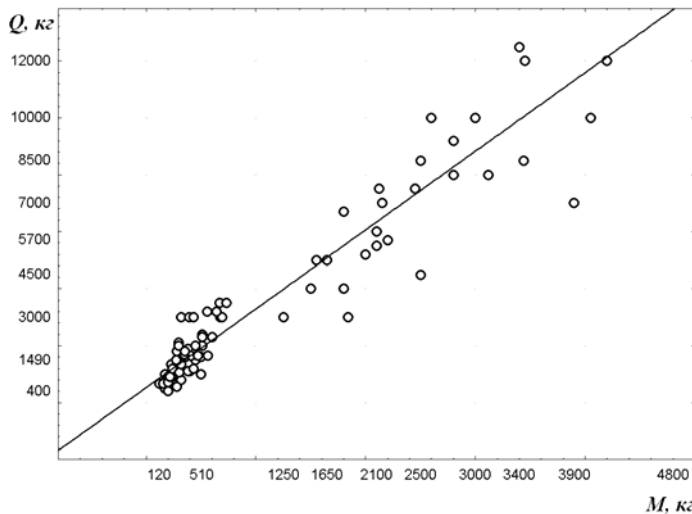


Рисунок 1. Поле рассеяния и линия регрессии (прямая корреляция между грузоподъемностью и массой машин для внесения минеральных удобрений)

Поскольку, как отмечалось выше,  $M$  – фактор,  $Q$  – результативный признак, то искать зависимость  $Q = f(M)$  целесообразно в виде:

$$Q = kM + b, \quad (1)$$

где изначально предполагается, что коэффициент  $b = 0$ , в противном случае при нулевой массе  $M = 0$  зависимость (1) будет возвращать ненулевое значение грузоподъемности  $Q$ .

Коэффициент  $k$  модели (1) определим методом наименьших квадратов.

Если рассматривать отдельно навесные и полуприцепные машины, то вычисленные значения коэффициента  $k$ , составят для навесных машин  $k_n = 4,39$ , для полуприцепных –  $k_n = 2,93$ , для всей выборки –  $k_n = 2,98$ .

Для оценки степени соответствия модели фактическим данным определим коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (k \cdot M_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} = 0,90,$$

т.е. 90 % общего отклонения от среднего  $\bar{Q}$  объясняется самим уравнением регрессии [4].

Проверка значимости по  $F$ -критерию Фишера подтвердила гипотезу о наличии линейной регрессии между параметрами  $Q$  и  $M$ .

В соответствии с полученными результатами формулу для определения материалоемкости  $Me$  операции внесения минеральных удобрений можно представить следующим образом:

$$Me = \frac{1}{W_{CM}} \left( \frac{\mu N_e}{T_T} + \frac{Q}{kT_M} \right), \quad (2)$$

где  $\mu$  – удельная масса трактора, кг/кВт;

$N_e$  – номинальная мощность двигателя трактора, кВт;

$W_{CM}$  – производительность агрегата за час сменного времени, га/ч;

$T_T, T_M$  – соответственно годовая загрузка трактора и машины для внесения минеральных удобрений, ч.

Необходимо отметить, что большинство составляющих времени смены операции внесения минеральных удобрений непосредственно связаны с основными конструктивными параметрами машин и зависят от условий работы (табл. 2).

Таблица 2. Составляющие времени смены операции внесения минеральных удобрений

Показатель	Формула для определения показателя
Время загрузки кузова очередной порцией удобрений, ч	$t_z = Q / W_z$
Основное время работы (разбрасывание удобрений), ч	$t_p = 10Q / B_p \cdot H \cdot v_p$
Время, затрачиваемое на развороты, ч	$t_R = 10L_R \cdot Q / L \cdot B_p \cdot H \cdot v$
Время движения разбрасывателя с грузом от места загрузки до удобряемого поля, ч	$t_{D1} = s / v_{D1}$
Время движения порожнего разбрасывателя к месту загрузки, ч	$t_{D2} = s / v_{D2}$
<p>где <math>Q</math> – грузоподъемность, кг; <math>W_z</math> – производительность загрузчика, кг/ч; <math>B_p</math> – ширина захвата разбрасывателя, м; <math>H</math> – норма внесения удобрений, кг/га; <math>L_R</math> – путь, проходимый агрегатом при развороте, м; <math>L</math> – длина гона, м; <math>s</math> – расстояние от места загрузки до обрабатываемого участка, км; <math>v_p</math> – рабочая скорость движения агрегата, км/ч; <math>v_{D1}, v_{D2}</math> – соответственно скорость движения агрегата с поля на рабочий участок и обратно, км/ч.</p>	

Таким образом, производительность машины за час сменного времени в соответствии с табл. 2 можно представить как функцию от основных конструктивных, кинематических параметров агрегата и условий его работы:

$$W_{см} = f(Q, B_p, H, s, v_p). \quad (3)$$

Подставив зависимости, рассмотрим функцию  $Me=f(Q)$  для различных расстояний  $s$  транспортирования удобрений от хозяйства до обрабатываемого участка (рис. 2). Для расчётов принимаем: средняя длина гона  $L=500$  м; ширина захвата при внесении гранулированных удобрений  $B_p=22$  м; норма внесе-

затель материалоемкости достигает минимальной величины. Например, при расстоянии перевозки удобрений  $s=3...5$  км и норме внесения удобрений  $H=500$  кг/га минимальному значению материалоемкости соответствует грузоподъемность 3,5... 5 т.

### Выводы

Анализ более 80 отечественных и зарубежных разбрасывателей твёрдых минеральных удобрений показал, что между их массой и грузоподъемностью существует прямолинейная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции составляет 0,953).

Показатели производительности и материалоемкости зависят от грузоподъемности машин для внесения удобрений, причём при некотором значении грузоподъемности показатель материалоемкости достигает минимальной величины (при расстоянии перевозки удобрений  $s=3...5$  км и норме внесения удобрений  $H=500$  кг/га минимальному значению материалоемкости соответствует грузоподъемность 3,5...5 т).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. – Минск, 2008. – С.41.

2. Назаров, С.И. Обоснование параметров питателей машин для

подготовки и внесения минеральных удобрений/ С.И. Назаров // Вопросы сельскохозяйственной механики / ЦНИИМЭСХ. – Мн.: Урожай, 1970. – Т. XVIII. – С. 194 – 209.

3. Догановский, М.Г. Машины для внесения удобрений: учеб.пособ / М.Г. Догановский, Е.В. Козловский. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 67 – 78.

4. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: 3-е изд; пер. с англ. / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2007. – 217 с., ил.

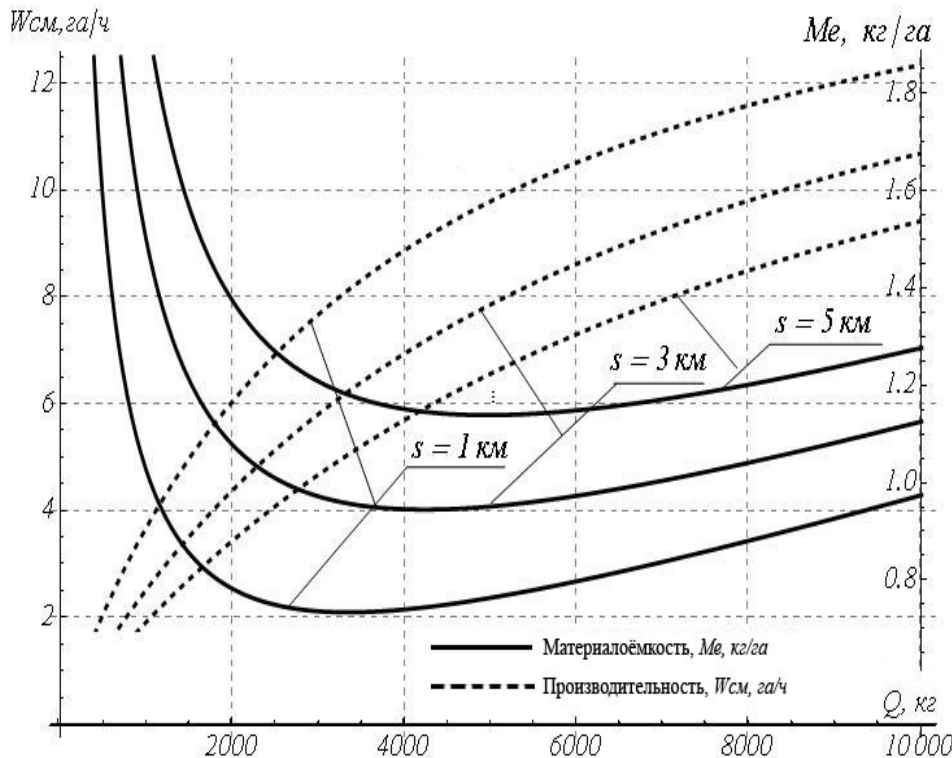


Рисунок 2. Зависимость производительности  $W_{см}$  и материалоемкости  $Me$  от грузоподъемности  $Q$  машин для внесения минеральных удобрений при расстояниях от места загрузки до обрабатываемого участка  $s=1, 3$  и  $5$  км

ния удобрений  $H=500$  кг/га; рабочая скорость движения агрегата  $v_p = 12$  км/ч; производительность загрузчика  $W_z=45$  тыс. кг/ч; годовая загрузка трактора  $T_T=1300$  ч; годовая загрузка разбрасывателя минеральных удобрений  $T_M=250$  ч.

Из рис. 2 видно, что показатели производительности  $W_{см}$  и материалоемкости  $Me$  зависят от грузоподъемности  $Q$  машин для внесения удобрений, причём при некотором значении грузоподъемности пока-