

## ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Антошук С.А., к.т.н.,*

*Жешко А.А., к.т.н.,*

*Клыбик В.К., к.т.н.*

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

Во многом за счет использования удобрений белорусскими аграриями достигнут урожай зерновых в 9,5 млн. т. Вместе с тем наличие в хозяйствах машин для внесения твердых минеральных удобрений за последние десятилетия существенно сократилось [1, с. 41]. Если потребный количественный состав парка удобрительных 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, поэтому данному критерию целесообразно уделить особое внимание, чему и посвящена настоящая работа.

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, с. 194 – 209; 3, с. 67 – 78].

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

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

Для приведенных в таблице 1 данных коэффициент корреляции составляет:

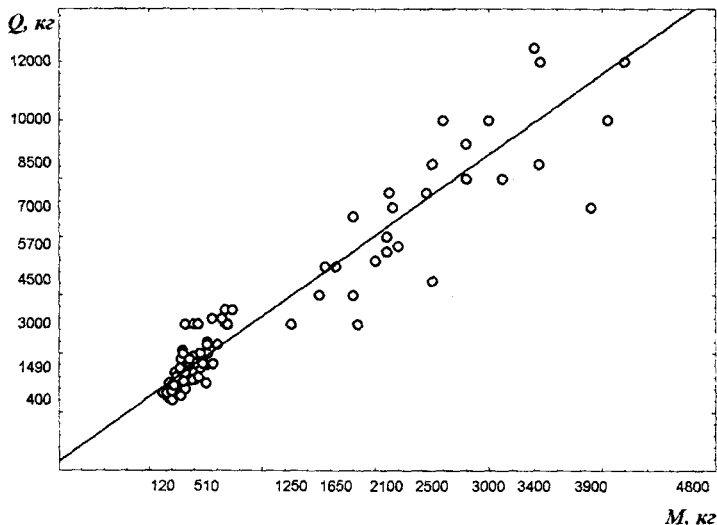
$$\tilde{r}_{QM} = \frac{\tilde{K}_{QM}}{s_Q s_M} = 0,953.$$

**Соотношение грузоподъёмности (кг) и массы (кг) современных машин  
для внесения удобрений**

Производитель, марка машины	Грузоподъёмность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъёмность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъёмность / масса	Производитель, марка машины	Грузоподъёмность / 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	"Бобруйскаягро- маш" "РУ-1000"	1000/ 500
"RAUCH" "MDS 85"	1400/ 260	"Брестсельмаш" "АВУ-1,5"	1600/ 360	"BREDAL" "К 65"	7000/ 2150	"Бобруйскаягро- маш" "РУ-1600"	1600/ 500
"RAUCH" "MDS 935"	1800/ 280	"Проммашремонт" "РДУ-1,5"	1500/ 450	"BREDAL" "К 45"	5000/ 1650	"Бобруйскаягро- маш" "РУ-3000"	3000/ 1250
"RAUCH" "AXIS 20.1"	2100/ 295	"Лидагро-маш" "Л-116"	600/ 200	"BREDAL" "К 40"	4000/ 1500	"Бобруйскаягро- маш" "МТТ-4У"	4500/ 2500
"RAUCH" "AXIS 30.1"	3000/ 320	"Уралагро-маш" "МВУ-4"	4000/ 1800	"Bogballe" "M3 plus"	2000/ 510	"Бобруйскаягро- маш" "РУ-7000"	7000/ 3900
"RAUCH" "AXIS 40.1"	3000/ 395	"Уралагро-маш" "МВУ-5"	6000/ 2100	"Bogballe" "M2 plus"	2000/ 450	"Ковельсельмаш" "МРД-4"	5000/ 1550
"RAUCH" "AXERA M"	3500/ 670	"Уралагро-маш" "МВУ-8"	8000/ 2800	"Bogballe" "M2 base"	1100/ 396	"VICON" "RS-EDW 2300"	2300/ 602
"RAUCH" "AXERA H"	3500/ 730	"Белоцерковмаз" "РН-0,5"	500/ 170	"Bogballe" "L2 plus"	800/ 268	"VICON" "RS-EDW 3200"	3200/ 644
"RAUCH" "UKS"	700/ 210	"Белоцерковмаз" "РН-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

1	2	3	4	5	6	7	8
"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"	5700/ 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		

Поскольку значение  $|\tilde{r}_{QM}| > 0,7$ , можно утверждать, что связь между рассматриваемыми параметрами  $Q$  и  $M$  высокая и можно строить простую регрессию. По значениям таблицы 1 построено корреляционное поле, представленное на рис. 1.



**Рис. 1.** Корреляционное поле и линия регрессии (прямая корреляция между грузоподъёмностью и массой машин для внесения минеральных удобрений)

Поскольку, как отмечалось выше,  $M$  – фактор,  $Q$  – результирующий 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 грузоподъёмности  $Q$ .

Коэффициент  $k$  модели (1) определим методом наименьших квадратов, решая задачу

$$\min_k \sum_{i=1}^n (Q_i - kM_i)^2, \quad (2)$$

где  $Q_i, M_i$  – наблюдаемые значения показателей массы и грузоподъёмности.

Обозначим

$$f(k) = \sum_{i=1}^n (Q_i - kM_i)^2.$$

Для решения задачи (2) запишем

$$\frac{\partial f(k)}{\partial k} = -2 \sum_{i=1}^n M_i (kM_i + Q_i M_i) = 0. \quad (3)$$

Откуда получим

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Q_i}{\sum_{i=1}^n M_i^2}. \quad (4)$$

Если рассматривать отдельно навесные и полуприцепные машины, то вычисленные по формуле (4) 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

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

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

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

$$Me = \frac{1}{W_{CM}} \left( \frac{\mu N}{T_T} + \frac{Q}{k T_M} \right), \quad (5)$$

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

$Ne$  – 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 (таблица 2).

Таблица 2

**Составляющие времени смены операции внесения минеральных удобрений**

Показатель	Формула для определения показателя
Время загрузки кузова очередной порцией удобрений, ч	$t_z = Q / W_z$
Чистое время работы (разбрасывание удобрений), ч	$t_p = 10Q / B_p \cdot H \cdot v_p$
Время, затрачиваемое на развороты, ч	$t_R = 10L_R \cdot Q / L \cdot B_p \cdot H \cdot v_p$
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	$t_{D2} = s / v_{D2}$

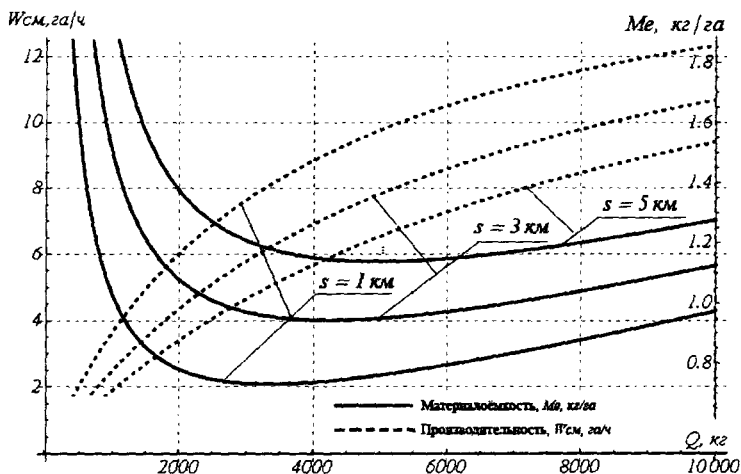
где:  $Q$  – грузоподъемность, кг;  $W_z$  – производительность загрузчика, кг/ч;  $B_p$  – ширина захвата разбрасывателя, м;  $H$  – норма внесения удобрений, кг/га;  $L_R$  – путь, проходимый агрегатом при развороте, м;  $L$  – длина гона, м;  $s$  – расстояние от места загрузки до обрабатываемого участка, км;  $v_p$  – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;  $v_{D1}, v_{D2}$  – соответственно скорость движения агрегата с поля на рабочий на участок и обратно, км/ч.

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

$$W_{cm} = f(Q, B_p, H, s, v_p). \quad (6)$$

Подставив зависимости (5) в формулу (6) рассмотрим функцию  $Me=f(Q)$  для различных расстояний  $s$  транспортирования удобрений от хозяйства до обрабатываемого участка (рис. 2). Для расчетов принимаем: средняя длина гона  $L=500$  м; ширина захвата при внесении гранулированных удобрений  $B_p=22$  м; норма внесения 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  $T_P=250$  ч.

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



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

### Выводы

1. 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).
2. 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. Статистический сборник. Отв. за выпуск В.Н. Синкевич. – Минск: Министерство статистики и анализа Республики Беларусь, 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 / М.Г. Догановский, Е.В. Козловский // Уч. побоб. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 67 – 78.