

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ОСНОВНОГО БАКА ПОЛУПРИЦЕПНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ

**Анатолий Петрович Дьячков**, кандидат технических наук,  
профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка  
**Николай Петрович Колесников**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка  
**Виталий Анатольевич Следченко**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка  
**Сергей Викторович Семьин**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка  
**Максим Николаевич Меренков**, магистрант кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

**Иван Николаевич Воробьев**, кандидат экономических наук,  
исполнительный директор ООО «ЭкоНива-Черноземье»

DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.1.56

В связи с вступлением России в ВТО перед сельским хозяйством встало много задач по снижению себестоимости и повышению качества сельскохозяйственной продукции. Опрыскиватели позволяют сохранить качество и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. В качестве объекта исследования был взят полуприцепной опрыскиватель. Методы исследования: математическая статистика, натуральные наблюдения, эксперимент и оптимальное проектирование. В статье выполнен анализ эксплуатационной массы полуприцепных опрыскивателей и грузоподъемности их основных баков. Разработана методика определения оптимальной грузоподъемности основного бака полуприцепного опрыскивателя. В качестве критерия эффективности была взята цикловая производительность. Оптимальная грузоподъемность основного бака полуприцепного опрыскивателя в основном зависит от мощности двигателя трактора, рабочей ширины захвата и дозы внесения водного раствора ядохимиката. Эффективность работы этих опрыскивателей можно повысить, если готовить раствор на краю поля, а опрыскиватель заправлять уже готовым раствором необходимой концентрации. Это позволит ослабить жесткую связь между опрыскивателями и транспортными средствами, которые доставляют воду, за счет смесителя, который будет выполнять роль компенсатора. Применение опрыскивателей с оптимальной грузоподъемностью основного бака позволит сократить затраты энергии на опрыскивание растений и снизить уплотнение почвы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** полуприцепной опрыскиватель, грузоподъемность основного бака, цикловая производительность, эксплуатационная масса, уплотнение почвы, экономический эффект.

Due to Russia's WTO accession agriculture is facing many problems associated with reducing costs and improving the quality of agricultural products. Sprayers allow preserving the quality and increasing crop yields. The object of research was semi-trailer sprayer. Research methods included mathematical statistics, natural observations, experiment and optimal design. This article presents the analysis of operating weight of semi-trailer sprayers and cargo capacity of their main tanks. The authors have developed a methodology for determining the optimal cargo capacity of the main tank of a semi-trailer sprayer. Cyclic performance was taken as the criterion of efficiency. The optimal cargo capacity of the main tank of a semi-trailer sprayer mainly depends on the power of the tractor's engine, the operating width and the dose of application of pesticide aqueous solution. Efficiency of these sprayers can be increased by preparing the solution at the edge of the field and fill the sprayer with readily prepared solution of the desired concentration. This will help to loosen a rigid connection between sprayers and vehicles that deliver water due to the presence of a mixer that will act as compensator. The use of sprayers with optimal cargo capacity of the main tank will allow reducing energy costs of plant spraying and decreasing soil compaction.

**KEY WORDS:** semi-trailer sprayer, cargo capacity of the main tank, cyclic performance, operating weight, soil compaction, economic effect.

**В** связи с вводом санкций большинством стран ЕС и США в отношении нашей страны перед сельским хозяйством встало много задач по импортозамещению.

Решить эти задачи можно за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур, качества получаемой продукции. Этого можно достичь за счет ускоренного перехода к использованию новых высокопроизводительных и ресурсосберегающих технологий и защиты растений. Защиту растений осуществляют с помощью различных опрыскивателей. Опрыскиватели предназначены для дробления (диспергирования) растворов пестицидов и равномерного нанесения их в мелкораспыленном виде на растения или почву с целью борьбы с вредителями, возбудителями болезней, уничтожения сорняков, деформации листьев и десикации растений. Они могут также применяться для внесения жидких минеральных удобрений и регуляторов роста. По способу агрегатирования они подразделяются на самоходные, прицепные и полуприцепные, навесные и монтируемые [4, 8, 9, 11-15].

В настоящее время в ЦЧР применяются в основном полуприцепные опрыскиватели. Основным параметром таких опрыскивателей является грузоподъемность (емкость) основного бака. От грузоподъемности бака зависит масса агрегата, что приводит к увеличению массы конструкции опрыскивателя, затрат энергии на опрыскивание и уплотнение почвы.

Основным аргументом при увеличении емкости основного бака опрыскивателя – увеличение производительности вследствие более длительной работы агрегата между загрузками водой и ядохимикатами. В принципе этот путь верен, но только при одностороннем подходе. С увеличением емкости основного бака увеличивается время его загрузки, приготовления раствора требуемой концентрации, снижается средняя рабочая скорость, увеличивается время поворота. С учетом этого производительность увеличивается незначительно (до 4%), а затраты энергии на выполнение технологического процесса возрастают на 18-20%, значительно уплотняется почва [1, 2, 3, 16].

Для выполнения целей «доктрины продовольственной безопасности России», обеспечения населения страны продовольствием, расширения экспортного потенциала требуется довести производство зерна до 140-150 млн тонн. Чтобы выполнить эту задачу, надо резко поднять урожайность. Одним из агроприемов является борьба с вредителями, болезнями и сорняками, поэтому данная тема актуальна.

**Целью исследования** является увеличение производительности опрыскивателей при одновременном снижении затрат средств на их эксплуатацию и снижение отрицательных воздействий колёсных движителей этих машин на почву.

**Задачи исследования:**

- снижение энергозатрат на эксплуатацию опрыскивателей за счет оптимизации размеров основного бака опрыскивателя;
- повышение качества выполняемой работы;
- создание благоприятных условий для работы последующих агрегатов.

**Предметом исследования** являются основные параметры опрыскивателей (рабочая ширина захвата, скорость и грузоподъемность основного бака).

**Объект исследования** – распределительные технологические агрегаты (опрыскиватели).

**Научная гипотеза:** применение опрыскивателей с оптимальными параметрами позволит снизить энергозатраты, повысить производительность работы опрыскивателей и уменьшить отрицательные воздействия колесных движителей этих машин на почву.

Для осуществления поставленной цели воспользуемся методом оптимального проектирования. К оптимальному параметру опрыскивателей отнесем размер технологической емкости. Под технологической емкостью будем понимать емкость, установленную на опрыскивателе.

Прежде чем определить оптимальный параметр агрегата, надо обосновать принципиальную схему построения транспортно-распределительного процесса, в частности решить вопрос, будет ли распределение материала объединено или разъединено с его перемещением?

Отделение распределения от перемещения, специализация функций во многих случаях дают большой эффект. Объясняется это тем, что перемещение и распределение предъявляют различные требования к размеру емкостей. Чем больше емкости, выше грузоподъемность транспорта, тем меньше удельные затраты энергии и средств на перемещение материала.

Исходя из практики, принимаем транспортно-распределительный процесс опрыскивания перегрузочным, т.е. транспортируем раствор или воду одними машинами, а распределение будем осуществлять другими. Опрыскиватели будут работать только по назначению, т.е. они будут работать только на поле. Кроме того, наша задача состоит в том, чтобы из большого количества выпускаемых в мире опрыскивателей подобрать такие, которые лучшим образом подходили бы к заданным условиям эксплуатации через оптимизацию грузоподъемности бака.

Конкретный вид критерия эффективности выбирают в зависимости от поставленной цели и условий, для которых выбирается решение. Наиболее важными показателями являются показатели качества работы. Но мы имеем дело с уже разработанными и выпускаемыми машинами, которые отвечают показателям агротребований.

Поэтому для выбора лучшего опрыскивателя для условий ЦЧР лучше взять цикловую производительность опрыскивателя. Она лучшим образом оценивает технические параметры агрегата. На ее величину существенное влияние оказывают такие параметры, как рабочая ширина захвата, рабочая скорость и грузоподъемность основного бака. Выпускаемые в нашей стране и в мире опрыскиватели имеют большой диапазон изменения ширины захвата. Она часто зависит от технологических требований или кинематических параметров агрегата предыдущей технологической операции.

Рабочая скорость часто ограничивается агротехническими требованиями, техническими возможностями опрыскивателя или микрорельефом местности.

Существенное влияние на производительность опрыскивателя оказывает грузоподъемность основного бака. Малые размеры приведут к частым остановкам для заправки водой или готовым раствором. Большие размеры основного бака приведут к снижению рабочей скорости, сильному уплотнению почвы, потерям времени на поворотах.

Поэтому, на наш взгляд, наиболее подходящим критерием эффективности при обосновании грузоподъемности технологической емкости будет цикловая производительность опрыскивателя ( $\omega_{ц}$ ) [7].

Найдем цикловую производительность через грузоподъемность основного бака ( $Q_6$ )

$$\omega_{ц} = \frac{Q_6}{t_{ц} \cdot U}, \quad (1)$$

где  $Q_6$  – грузоподъемность основного бака опрыскивателя, кг;

$t_{ц}$  – время цикла опрыскивающего агрегата, с;

$U$  – доза внесения раствора ядохимиката, кг/м<sup>2</sup>.

За время цикла опрыскивателя принимаем время от одной заправки до другой.

Тогда

$$t_{ц} = t_{т} + t_{пов} + t_{з}, \quad (2)$$

где  $t_{т}$ ,  $t_{пов}$ ,  $t_{з}$  – соответственно время распределения основного бака, поворотов и заправки, с.

Тогда

$$t_T = \frac{Q_6}{B_p \cdot U \cdot V_p}; \quad (3)$$

$$t_{пов} = \frac{L_{пов}}{V_{пов}} + 2t_1; \quad (4)$$

$$t_3 = t_{тс} + \frac{Q_6}{\omega_H}, \quad (5)$$

где  $B_p$  – рабочая ширина захвата, м;  
 $V_p, V_{пов}$  – скорость движения, соответственно рабочая и на поворотах, м/с;  
 $L_{пов}$  – длина пути агрегата на повороте, м;  
 $t_1$  – время перевода части штанги в транспортное положение перед поворотом и обратно в рабочее после поворота, с;  
 $t_{тс}$  – время подъезда, отъезда транспортного средства от опрыскивателя, с;  
 $\omega_H$  – производительность заправляющего устройства для заливки основного бака, кг/с.

Длина пути при петлевом грушевидном повороте равна

$$L_{пов} = (6,6...8) \cdot R_0 + 2 \cdot e, \quad (6)$$

где  $R_0$  – радиус поворота агрегата, м;  
 $e$  – длина выезда агрегата, м.

Для прицепных машин  $e = (0,25...0,75) \cdot l_a$ .

$$l_a = l_T + l_M, \quad (7)$$

где  $l_a, l_T, l_M$  – соответственно кинематическая длина агрегата, трактора и опрыскивателя, м.

Исходя из номинальной мощности двигателя ( $N_{ен}$ ) и степени ее использования ( $\xi_N$ ) определим рабочую скорость ( $V_p$ ) для тягово-приводного агрегата (полуприцепного)

$$V_p = \frac{N_{ен} \cdot [\xi_N] - \frac{N_{вом}}{\eta_{вом}}}{R_M + G_{тр} \cdot (f + i)}, \quad (8)$$

$$\eta_{мг} \cdot \eta_6$$

где  $N_{ен}$  – номинальная мощность двигателя трактора, кВт;  
 $[\xi_N]$  – допустимый коэффициент загрузки двигателя;  
 $N_{вом}$  – затраты мощности на привод рабочих органов машины при выполнении технологического процесса, кВт;

$\eta_{вом}, \eta_{мг}, \eta_6$  – соответственно КПД ВОМ, трансмиссии, буксования;  
 $R_M$  – тяговое сопротивление агрегата при движении на подъем, кН;  
 $G_{тр}$  – эксплуатационный вес трактора, кН;  
 $i$  – уклон поля, доли единицы;  
 $f$  – коэффициент сопротивления перекачиванию.

Тяговое сопротивление полуприцепного опрыскивателя при движении на подъем равно

$$R_M = G_{эп} \cdot (i + f), \quad (9)$$

где  $G_{эп}$  – эксплуатационный вес прицепного опрыскивателя, кН.

$$G_{эп} = 10^{-3} \cdot g \cdot M_{эп}, \quad (10)$$

где  $M_{эп}$  – эксплуатационная масса прицепного опрыскивателя, кг;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Выразим эксплуатационную массу опрыскивателя через грузоподъемность основного бака, установленного на нем, ( $Q_{\bar{6}}$ ) [6]

$$M_{\text{оп}} = M_0 + b \cdot Q_{\bar{6}}, \quad (11)$$

где  $b$  – коэффициент в уравнении корреляционной зависимости эксплуатационной массы опрыскивателя от грузоподъемности основного бака;

$M_0$  – масса пустого опрыскивателя, кг.

Затраты мощности на привод рабочих органов опрыскивателя зависят от рабочей ширины захвата

$$N_{\text{вoм}} = N_{\text{хх}} + N_{\text{уд}} B_p, \quad (12)$$

где  $N_{\text{хх}}$  – мощность холостого хода, кВт;

$N_{\text{уд}}$  – удельная мощность, передаваемая через ВОМ на выполнение технологического процесса, кВт/м.

Для нахождения зависимости  $N_{\text{вoм}} = f(B_p)$  установим ее, обработав технические характеристики выпускаемых опрыскивателей и построив корреляционную зависимость (12), используя программу «Statistica» (рис. 1).

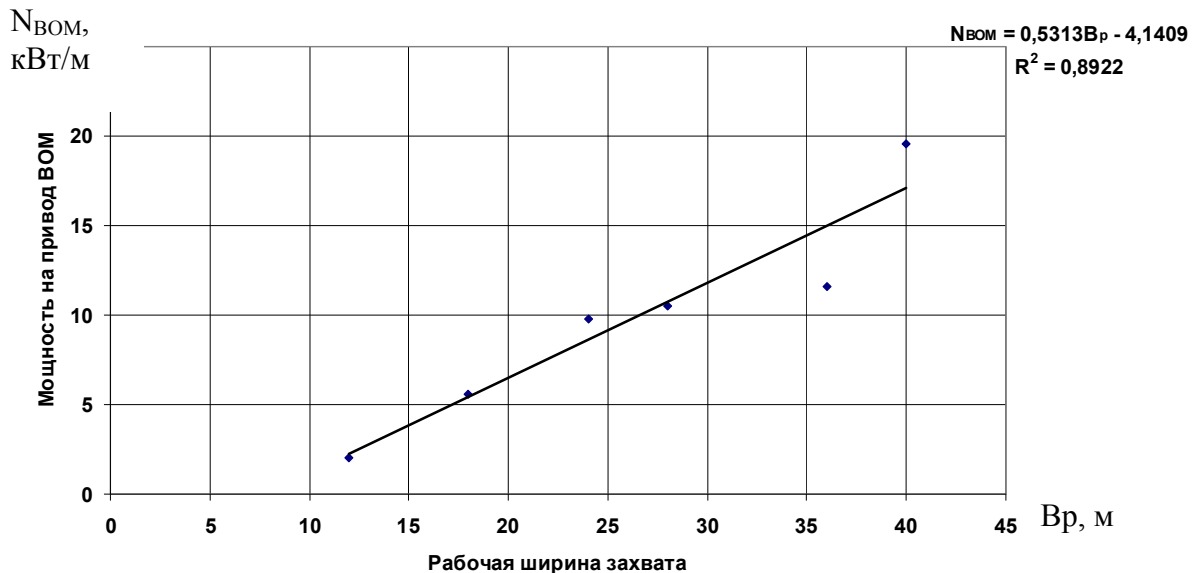


Рис. 1. Зависимость мощности на привод ВОМ от рабочей ширины захвата (линейная зависимость)

Подставляя в выражение (8) выражения (9) - (12), получаем

$$V_p = \frac{[N_{\text{ен}} \cdot [\xi_N] \cdot \eta_{\text{вoм}} - (N_{\text{хх}} + N_{\text{уд}} B_p)] \cdot \eta_{\text{мг}} \cdot \eta_{\bar{6}}}{10^{-3} \cdot g \cdot (M_0 + b \cdot Q_{\bar{6}}) \cdot (i + f) \cdot \eta_{\text{вoм}} + G_{\text{тр}} \cdot (f + i) \cdot \eta_{\text{вoм}}}. \quad (13)$$

По выражению (3) определяем время опорожнения основного бака

$$t_{\text{т}} = \frac{Q_{\bar{6}} \cdot [10^{-3} \cdot g \cdot (M_0 + b \cdot Q_{\bar{6}}) \cdot (f + i) \cdot \eta_{\text{вoм}} + G_{\text{тр}} \cdot (f + i) \cdot \eta_{\text{вoм}}]}{B_p \cdot U \cdot [N_{\text{ен}} \cdot [\xi_N] \cdot \eta_{\text{вoм}} - (N_{\text{хх}} + N_{\text{уд}} B_p)] \cdot \eta_{\text{мг}} \cdot \eta_{\bar{6}}}. \quad (14)$$

По выражению (4) определяем время, затрачиваемое на поворот агрегата

$$t_{\text{пов}} = \frac{8 \cdot R_0 + 2 \cdot e}{V_{\text{пов}}} + 2t_1. \quad (15)$$

Подставляя в выражение (2) выражения (5), (14) и (15), получаем

$$t_{ц} = \frac{Q_{б} \cdot [10^{-3} \cdot g \cdot (M_o + b \cdot Q_{б}) \cdot (f + i) \cdot \eta_{вoм} + G_{тр} \cdot (f + i) \cdot \eta_{вoм}]}{B_p \cdot U \cdot [N_{ен} \cdot [\xi_N] \cdot \eta_{вoм} - (N_{xx} + N_{уд} B_p)] \cdot \eta_{мг} \cdot \eta_{б}} +$$

$$+ 2t_1 + \frac{8 \cdot R_o + 2 \cdot e}{V_{пов}} + t_{тс} + \frac{Q_{б}}{\omega_H} \quad (16)$$

Упростим выражение (16), для этого введем новые обозначения

$$\left. \begin{aligned} A &= 10^{-3} q (f + i) \eta_{вoм}; \\ B &= G_{тр} (f + i) \eta_{вoм}; \\ B &= B_p U [N_{ен} \cdot [\xi_N] \cdot \eta_{вoм} - (N_{xx} + N_{уд} B_p)] \cdot \eta_{мг} \cdot \eta_{б}; \\ D &= 2t_1 + \frac{8 \cdot R_o + 2 \cdot e}{V_{пов}} + t_{тс}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Тогда выражение (1) для полуприцепного опрыскивателя примет вид

$$\omega_{ц} = \frac{Q_{б}}{U \left\{ \frac{Q_{б} [A(M_o + bQ_{б}) + B]}{B} + D + \frac{Q_{б}}{\omega_H} \right\}} \quad (18)$$

Для нахождения зависимости эксплуатационной массы опрыскивателя от грузоподъемности его основного бака установим ее, обработав технические характеристики выпускаемых опрыскивателей и построив корреляционную зависимость, используя программу «Statistica» (рис. 2).

МЭп, кг

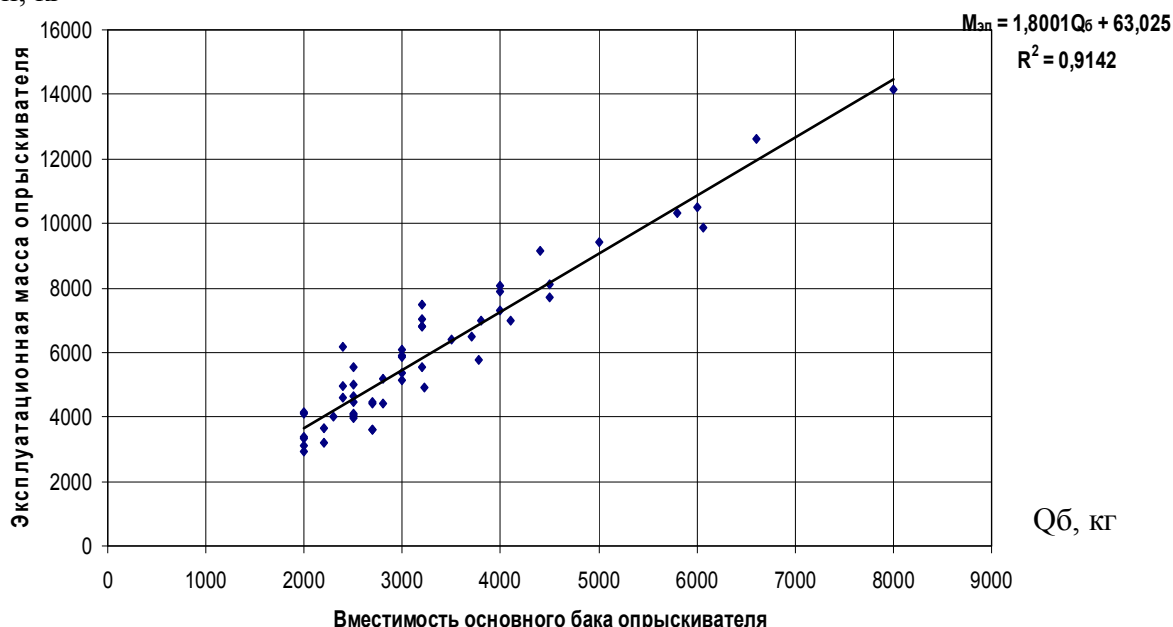


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной массы полуприцепного опрыскивателя от грузоподъемности его основного бака (линейная зависимость)  
Коэффициент корреляции  $r = 0,956$

Для определения оптимального значения грузоподъемности основного бака опрыскивателя берем частную производную выбранного критерия и приравниваем ее к нулю.

После этого получим аналитические выражения  $Q_{\text{бопт}}$  для различных типов опрыскивателей [5, 6, 7, 10].

$$\frac{\partial \omega_{\text{ци}}}{\partial Q_{\text{би}}} \approx 0. \quad (19)$$

Выполнив необходимые расчеты, подсчитаем оптимальную грузоподъемность основного бака для полуприцепного опрыскивателя

$$Q_{\text{бопт}}^{\text{п}} = \sqrt{\frac{B_p U [N_{\text{ен}} \cdot [\xi_N] \cdot \eta_{\text{вом}} - (N_{\text{xx}} + N_{\text{уд}} B_p)] \cdot \eta_{\text{мг}} \cdot \eta_{\text{б}} \cdot \left( 2t_1 + \frac{8 \cdot R_o + 2 \cdot e}{V_{\text{пов}}} + t_{\text{тс}} \right)}{10^{-3} q \cdot (f + i) \eta_{\text{вом}} b}}. \quad (20)$$

Приводим пример расчета для условий ЦЧР:

в качестве источника энергии берем трактор John Deere 7820  $N_{\text{ен}} = 136$  кВт;

$$[\xi_N] = 0,95;$$

$$B_p = 10-40 \text{ м};$$

$$U = 100-600 \text{ кг/м}^2;$$

$$\eta_{\text{вом}} = 0,95;$$

$$\eta_{\text{мг}} = 0,9;$$

$$\eta_{\text{б}} = 0,96;$$

$$t_1 = 60 \text{ с};$$

$$R_o = 7 \text{ м};$$

$$e = 2,5 \text{ м};$$

$$t_{\text{тс}} = 80 \text{ с};$$

$$i = 0,03;$$

$$b = 1,8;$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$V_{\text{пов}} = 1,4 \text{ м/с};$$

$$f = 0,1.$$

Результаты расчета представлены на рисунке 3.

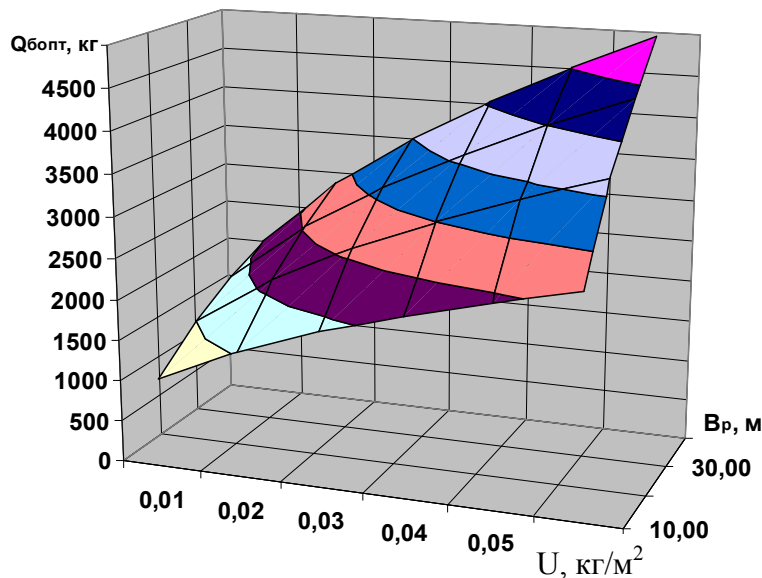


Рис. 3. Зависимость оптимальной грузоподъемности  $Q_{\text{бопт}}$  основного бака полуприцепного опрыскивателя от дозы внесения  $U$  и ширины захвата  $B_p$

**Выводы**

В процессе выполнения данного проекта была разработана методика определения оптимальной грузоподъемности основного бака полуприцепного опрыскивателя и в качестве примера приведены расчеты для трактора John Deere 7820.

Расчеты показали, что для средних условий ЦЧР для полуприцепных опрыскивателей  $V_p = 21,6$  м,  $U = 200-300$  кг/га,  $Q_{б\text{ опт}} = 2100-2600$  кг.

Экономический эффект при эксплуатации полуприцепных опрыскивателей с технологическими емкостями, рассчитанными и спроектированными по данной методике определения оптимальной грузоподъемности основного бака, будет складываться из:

- экономии топлива при эксплуатации машины за счет снижения энергетических затрат на перемещение самого опрыскивателя и массы распределяемого раствора;
- экономии топлива при последующих обработках почвы за счет снижения удельного сопротивления машины на 30-40%;
- повышения урожайности различных культур на 15-45% за счет снижения переуплотнения и распыления почвы, а также уменьшения плотности плужной подошвы за счет снижения массы опрыскивателя при движении по полю во время опрыскивания;
- увеличения производительности опрыскивателей за счет разделения подготовки раствора и его распределения по полю.

---

**Список литературы**

1. Белокурченко С.А. Оптимизация конструктивных и эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов с учетом уплотняющего воздействия ходовых систем на почву / С.А. Белокурченко, И.О. Гейнрих // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – № 4. – С. 53-58.
2. Верещак М.В. Состояние и задачи исследований воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / М.В. Верещак // Вестник с.-х. науки. – 1981. – № 11. – С. 140-144.
3. Воробьев Т.Я. Беречь почву от переуплотнения техникой / Т.Я. Воробьев // Земледелие. – 1987. – № 9. – С. 15-16.
4. Выборочный каталог техники. – Москва : ООО «ЭкоНива-Техника», 2011. – 50 с.
5. Дьячков А.П. Методика определения оптимальной грузоподъемности бункеров посевных агрегатов / А.П. Дьячков [и др.] // Лесотехнический журнал – 2014. – № 3. – С. 237-245.
6. Дьячков А.П. Обоснование грузоподъемности разбрасывателя для внесения дефеката / А.П. Дьячков, В.И. Глазков, Н.П. Колесников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – № 2. – С. 21-22.
7. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – Москва : Колос, 1973. – 319 с.
8. Импортная сельскохозяйственная техника. – Азов : ООО «Беларус ЮгСервис», 2014. – 48 с.
9. Лучшая техника для российских полей. – Москва : ЗАО «Открытый мир», 2008. – 92 с.
10. Методика определения оптимальной грузоподъемности бункера зерноуборочного комбайна / А.П. Дьячков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 4 (47). – Ч. 2. – С. 92-99.
11. Перспективная техника для АПК. Научный аналитический обзор. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 360 с.
12. Прицепные опрыскиватели VERSATILE. – Ростов-на-Дону : Ростсельмаш, 2014. – 15 с.
13. Сельскохозяйственная техника из Европы. Выборочный каталог. – Москва : ООО «ЭкоНива-Техника», 2007. – 72 с.
14. Сельхозтехника. – Москва : ООО «Агропром-МДТ», 2014. – 92 с.
15. Современная техника фирмы «АмазоненВерне» : учеб. пособие для специалистов сельскохозяйственного производства / В. Есипов [и др.]. – Самара : Фонд «Сельскохозяйственного обучения», 2005. – 133 с.
16. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учебник / А.В. Новиков, И.Н. Шило, Т.А. Непарко ; под ред. А.В. Новикова. – Москва : НИЦ ИНФА-М; Минск : Новое знание, 2012. – 512 с.