



## МАНЕВРЕННОСТЬ МТА И РАЗМЕРЫ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПЛОЩАДИ

Б. Л. ОХОТНИКОВ,

доктор технических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет  
(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 295-61-35)

**Ключевые слова:** *машинно-тракторный агрегат (МТА), КПД энергетический и тяговый, производительность, повороты агрегата, длина пути поворота, комплектование агрегатов, длина гона, холостые движения.*

Для оценки степени полезного использования агрегата применяются разные критерии (КПД, производительность и др.). Поставлена задача исследовать зависимость показателей и определить пути повышения степени использования агрегата на выполнении технологических операций за счет снижения непроизводительных затрат времени на холостые движения при использовании МТА на мелкоконтурных полях и участках. Особое значение эти обстоятельства имеют место на полях фермеров и частных лиц, которых в настоящее время достаточно много в сельскохозяйственном производстве. Полученные данные показывают низкую эффективность использования агрегата при длине гона до 600 м. Величина коэффициента при длине гона 50 м составляет 0,56 и только при длине свыше 400 м составляет выше 0,9. Данные по производительности показывают, что в диапазоне от 50 до 800 м производительность МТА изменяется почти в 2 раза. Повышение технико-экономических показателей агрегатов, работающих на мелкоконтурных полях и участках, связанных с подготовкой почвы, посадкой, уходами за посадками и на других работах при использовании навесных машин возможно путем создания энергосредств с управляемостью, обеспечивающей минимальную длину холостого хода на поворотах в конце гона за счет радиуса поворота и длины выезда. Для повышения эффективности работ на участках с короткой длиной гона необходима разработка мероприятий по совершенствованию технологии и конструктивных элементов управления агрегатом — его поворотливостью.

## MANEUVERABILITY AIT AND DIMENSIONS CULTIVATED AREA

B. L. OKHOTNIKOV,

doctor of technical sciences, professor, Ural State Agrarian University  
(42 K. Libknehta Str., 620075, Ekaterinburg; tel: +7 (343) 371-33-63)

**Keywords:** *tractor units (AIT), energy efficiency and traction performance, turns the unit, the length of the path of rotation, acquisition units, the length of estrus, idle motion.*

To assess the degree of utilization of the machine used different criteria (efficiency, productivity, and others). The goal is to study the dependence of indicators and identify ways to enhance the use of the unit for technical operations by reducing unproductive time spent idle movement when using the AIT on small-counter fields and areas. Of particular importance these circumstances occur in farmers' fields and individuals, which are currently quite a lot in agricultural production. These data show low efficiency of use of the machine with a length of estrus to 600 m. The value of the coefficient of the length of estrus 50 m of 0.56 and only when the length is more than 400 m above 0.9. Performance data show that in the range of from 50 to 800 m AIT performance varies by almost 2-fold. Improving the technical and economic indicators units working on small-counter fields and areas related to soil preparation, planting, care of plantings and other works by using mounted machines possible through the creation of the power unit with the handling, providing a minimum length of idling on the headland turns over through the turning radius and length departure. To improve the efficiency of work in areas with a short length of rutting is necessary to develop measures to improve the technology and design of the controls unit is it's agile.

*Положительная рецензия представлена Е. Е. Баженовым, доктором технических наук, профессором Уральского государственного лесотехнического университета.*



**Цель и методика исследований.**

Для сравнительной оценки степени полезного использования агрегата применяются разные критерии (КПД энергетический и тяговый, производительность и др.).

Большинство из них связано с параметрами сравнения элементов выполнения полезной работы с непроизводительными, связанными с холостым движением и остановками для технологического и технического обслуживания машинно-тракторного агрегата (МТА). Особенно это сказывается при работе на участках с короткими гонами. В связи с этим целью исследований является установление зависимости показателей эффективности применения агрегата от его маневренности и параметров участка работы.

При комплектовании агрегатов с конкретным трактором оптимальное соотношение между шириной захвата и скоростью движения можно установить зависимостью [2]

$$V_{opt} = \sqrt{\left(\frac{l_2}{T_n}\right)^2 + \frac{a \times l_2}{b \times T_n} - \frac{l_2}{T_n}}, \quad (1)$$

где  $l_2$  — длина гона, км;  $T_n$  — время поворота в часах;  $a$  и  $b$  — коэффициенты, определяющие соотношение между скоростью  $V_p$  и шириной захвата агрегата  $B_p$ .

Из приведенной зависимости (1) видно то, что оптимальная скорость движения  $V_{opt}$  агрегата в значительной степени зависят от длины гона  $l_2$  и времени поворота  $T_n$ .

В связи с этим была поставлена задача исследовать эту зависимость и определить пути повышения степени использования агрегата на выполнении технологических операций за счет снижения непроизводительных затрат времени на холостые движения при использовании МТА на мелкоконтурных полях и участках. Особое значение эти обстоятельства имеют место на полях фермеров и частных лиц, которых в настоящее время достаточно много в сельскохозяйственном производстве.

Затраты энергии, времени и другие показатели зависят от длины пути поворота, скорости движения, конструктивных особенностей агрегата. Длина пути петлевого поворота МТА (с открытой петлей) по максимальному значению радиуса поворота навесного агрегата [1]

$$L_n = 8,0R + 2 l_0, \text{ м}, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус поворота, м;  $l_0$  — длина выезда агрегата, м.

Радиус поворота агрегата зависит от ширины захвата и скорости движения на повороте. При скорости свыше 4 км/ч

$$R = K_R \times K_v \times B, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $K_R$  — коэффициент пропорциональности в зависимости от типа МТА;  $K_v$  — поправочный коэффициент на скорость;  $B$  — ширина захвата агрегата, м.

Для агрегатов с навесными машинами при скорости движения 5 км/ч  $K_R = 1,1$ ;  $K_v = 1,41$ . Для 4-х рядной навесной машины при обработке посадок с междурядьями 0,7 м радиус поворота составит 4,34 м.

Длина выезда ( $l_0$ ) пропорциональна кинематической длине агрегата и зависит от ширины захвата агрегата

$$l_0 = K_e \times K_{ek} \times B, \text{ м}, \quad (4)$$

где  $K_e$  — коэффициент пропорциональности для различных агрегатов составляет до 0,75; коэффициент  $K_{ek} = 0,65$  для пропашных культур. Для агрегата шириной захвата 2,8 м длина выезда составит 2,288 м.

Длина пути петлевого ( $L_n$ ) поворота МТА (с открытой петлей)

$$L_n = 8,0 \times R + 2 l_0 = 8 \times 4,34 + 2 \times 2,288 = 41,3 \text{ м}.$$

Время холостого движения на повороте  $T_n$

$$T_n = \frac{L_n}{V_n}, \text{ ч}, \quad (5)$$

где  $L_n$  — длина пути поворота, м;  $V_n$  — скорость движения на повороте, м/с.

На 4 передаче трактора МТЗ-80 скорость движения 6,7 км/ч. При этом время поворота составит 0,0062 ч, или 0,37 мин.

Время движения (рабочего) между поворотами

$$T_p = \frac{l_2}{V_p}. \quad (6)$$

Степень эффективности использования агрегата можно оценить по доле времени при выполнении рабочих ходов  $T_p$  относительно суммарных затрат  $T_\Sigma$

$$T_\Sigma = T_p + T_n. \quad (7)$$

Тогда степень эффективности определится из выражения

$$\eta_t = \frac{T_p}{T_\Sigma} = \frac{\frac{l_2}{V_p}}{\frac{l_2}{V_p} + \frac{L_n}{V_n}} = \frac{1}{1 + \frac{L_n \times V_p}{V_n \times l_2}}. \quad (8)$$

**Результаты исследований.**

Зависимость использования рабочего времени ( $\eta_t$ ) представлена на рис. 1.

Данные рисунка показывают низкую эффективность использования агрегата при длине гона до 600 м. Величина коэффициента при длине гона 50 м составляет 0,56 и только при длине свыше 400 м составляет выше 0,9.

Для оценки состава агрегата наиболее важным параметром является его производительность. Часовая производительность агрегата

$$W_q = 0,1 \times B_p \times V_p \times \tau, \text{ га/ч}, \quad (9)$$

где  $B_p$  — ширина захвата агрегата, м;  $V_p$  — скорость движения агрегата, км/ч;  $\tau$  — коэффициент использования рабочего времени.

Производительность агрегата в зависимости от длины гона представлена на рис. 2. Данные показывают, что в диапазоне от 50 до 800 м производительность изменяется почти в 2 раза. Это связано с влиянием коэффициента использования рабочего времени.

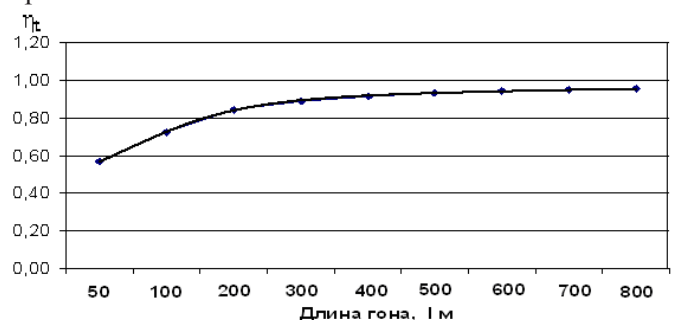


Рисунок 1  
Зависимость использования рабочего времени от длины гона



Для повышения эффективности работ на таких участках необходима разработка мероприятий по совершенствованию технологии и конструктивных элементов управления агрегатом.

Современные энергосредства отечественного производства по своим конструктивным особенностям не обеспечивают необходимую маневренность на поворотах агрегата в конце гона, что приводит к значительному снижению эксплуатационных показателей агрегатов, особенно на участках с короткими гонами.

Повышение технико-экономических показателей агрегатов, работающих на мелкоконтурных полях и участках, связанных с подготовкой почвы, посадкой, уходами за посадками и на других работах при использовании навесных машин возможно путем создания энергосредств с управляемостью, обеспечивающей минимальную длину холостого хода на поворотах в конце гона за счет радиуса поворота и длины выезда.

Конструкция ходового аппарата должна обеспечивать индивидуальную и комплексную управляемость всех ходовых колес базового энергосредства с автоматическим изменением параметров.

Параметры машинно-тракторного агрегата (МТА) с пассивными рабочими органами грядообразователя. Для определения рациональной скорости движения по формуле необходима обоснованная длина гона. По данным зональной научно-исследовательской нормативной станции для зоны Урала средняя длина гона полей составляет 845 м.

Проведенные опыты показали, что длина пути поворота трактора МТЗ-80 с навесной машиной находится в пределах 50 м. Скорость движения на повороте ограничена устойчивостью агрегата и находится в пределах 1,67 м/с.

Подставляем указанные выше значения в формулу и получаем скорость движения 3,25 м/с (11,7 км/ч).

По графику или по формуле находится ширина захвата агрегата  $B = 2,31$  м. Ближайшая передача трактора восьмая. Рабочая скорость на этой передаче 3,08 м/с, ширина захвата при этой скорости должна составлять 2,42 м. Это значение достаточно близко к агрегату с модернизированной фрезой КФМ-2,8.

Для шестой передачи  $V_p = 2,5$  м/с,  $B_p = 2,82$  м. Мощность трактора имеет некоторый запас при работе с КФМ-2,8. Использование мощности несколько не совпадает с оптимальным значением по ширине захвата и скорости движения.

Для определения влияния различных факторов на соотношение скорости и ширины захвата проводится анализ составляющих формулы.

Длина гона. С увеличением длины гона скорость движения несколько увеличивается, ширина захвата соответственно уменьшается. На каждые 100 м изменения длины гона от принятого в расчете значения 845 м скорость изменяется в пределах 0,65 %. При варьировании длины гона от 400 до 1300 м ошибка в определении скорости будет в пределах  $\pm 3$  %.

Время поворота. При междурядной обработке преимущественно применяется петлевой поворот. Для агрегата с навесной машиной длина пути поворота зависит в основном от трактора и в расчетах может быть принята постоянной. Скорость поворота ограничивается устойчивостью трактора и может быть принята постоянной. В связи с этим и время

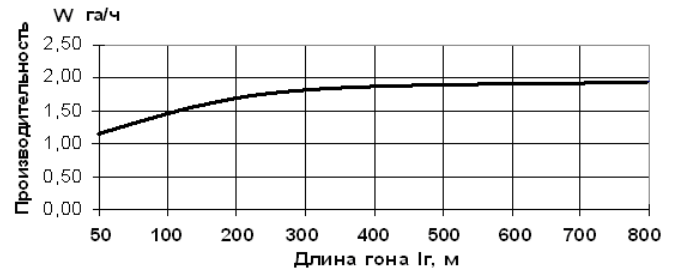


Рисунок 2

Производительности агрегата в зависимости от длины гона поворота с некоторым допущением можно считать постоянной величиной.

Коэффициент  $\epsilon$ . Величина этого коэффициента зависит в основном от показателей тяговой характеристики трактора и несколько от варьирования удельного сопротивления в функции скорости.

Поскольку для одного и того же фона тяговая характеристика постоянна, то и коэффициент  $\epsilon$  для практических расчетов можно принять постоянным.

Параметр  $a$ . Анализ показал, что величина этого параметра в основном зависит от удельного сопротивления почвы и тяговой характеристики трактора. Для конкретного трактора величина его зависит только от удельного сопротивления почвы.

Установив связь между удельным сопротивлением почвы и параметром  $a$ , можно определить рациональное соотношение между скоростью и шириной захвата агрегата для различных значений удельного сопротивления.

Зная удельное сопротивление при данной скорости, а также крюковую мощность трактора (номинальную) при той же скорости, можно определить параметр  $a$ :

$$a = \frac{75N_k'}{K'V_p'} + \epsilon V_p', \quad (10)$$

где  $N_k'$  — номинальная мощность трактора на крюке при скорости движения  $V_p'$ , л. с.;  $K'$  — удельное сопротивление машины при скорости движения  $V_p'$ ;  $V_p'$  — скорость движения, м/с;  $\epsilon$  — найденный коэффициент.

Определив параметр  $a$ , и приняв остальные параметры, входящие в формулу постоянными, можно рассчитать, с некоторым приближением, для различных значений удельного сопротивления рациональную скорость движения агрегата и ширину захвата.

Для практического пользования в табл. 1 приведены данные расчетов для трактора МТЗ-80.

Результаты расчетов показывают, совмещение операций обработки посадок с формированием гряд целесообразно выполнять фрезерным культиватором, оборудованным рабочими органами для сдвигания гребней.

При удельном сопротивлении 3,5–4,0 кН/м следует применять четырехрядный формирователь (на две гряды), например КФМ-2,8М. Трактор МТЗ-80 успешно справляется с данной операцией.

На седьмой и восьмой передачах обработка может вестись только трехрядным агрегатом, что нерационально по многим причинам (конструктивным особенностям рабочей машины, агрегатированию, производительности).

Для анализа производительности, полученной по экспериментальным и теоретическим данным, построена зависимость ее от скорости движения агрегата (рис. 3).



Таблица 1  
Рекомендуемая ширина захвата МТА с трактором МТЗ-80

Удельное сопротивление, кН/м	$a$	Ширина захвата агрегата, м	Количество обрабатываемых рядков	Скорость движения, км/ч	Передача трактора
3,42	4,51	3,52	5	5,16	3
3,57	4,63	3,35	4	6,7	4
3,75	4,69	3,08	4	8,4	5
3,81	4,77	3,05	4	9,0	6
3,95	4,55	2,56	3	10,4	7
4,02	4,47	2,34	3	11,1	8



Максимальное несовпадение теоретических и экспериментальных данных (5,9 %) имеет место при скорости движения 2,5 м/с. Это вполне приемлемо при использовании методики расчета в практической деятельности.

Для практического пользования при формировании агрегата данные расчетов приведены в табл. 1.

1. В основе технологического комплекса машин по возделыванию картофеля вместо гребневого профиля клубненосущего слоя с междурядьем 70 см должен лежать обоснованный профиль в виде гряды с соответствующими параметрами. При этом за счет достаточной ширины междугрядья уменьшится уплотнение гряды ходовым аппаратом агрегата, снизятся ресурсопотребление, потери урожая и затраты на единицу продукции, повысится эффективность производства картофеля.

2. Обоснована целесообразность формирования гряды после посадки картофеля серийными сажалками одновременно с рыхлением междурядий (совмещение операций).

3. Для формирования клубненосущего слоя путем сближения сформированных гребней разработаны рабочие органы в виде ротора и пассивных боковин. Выполнено обоснование их параметров, установлены зависимости их от условий выполнения работ.

4. Проведено обоснование совмещения операций по обработке посадок и формированию КНС. Анализ полученных сравнительных данных по производительности, энергоёмкости, трудоёмкости операций, уплотнению почвы и затратам средств показывает преимущество выполнения формирования гряды совместно с междурядной обработкой посадок картофеля. Установлены зависимости критериев оценки от параметров МТА и режимов работы.

Рисунок 3

Производительность МТА по передачам МТЗ-80

5. Приведены рекомендации по составу МТА. Результаты расчетов показывают, совмещение операций обработки посадок с формированием гряд целесообразно выполнять фрезерным культиватором, оборудованным рабочими органами для сдвигания гребней. При удельном сопротивлении 3,5–4,0 кН/м следует применять четырехрядный формирователь (на две гряды), например КФМ-2,8М с трактором класса 14 кН.

Обоснование параметров комбинированного агрегата. Для объективной оценки агрегата необходимо установить состав агрегата применительно к используемому трактору. Одним из основных критериев для оптимизации параметров МТА является производительность, так как в конечном счете она определяет прямые затраты средств, затраты труда и др.

На производительность агрегатов значительное влияние оказывают ширина захвата и скорость движения. В связи с этим требуется найти оптимальное значение скорости и ширины захвата, обеспечивающее  $Wч \rightarrow max$  при соответствующих ограничениях по тяговому усилию, моменту, степени буксования и допустимой скорости по агротехническим условиям.

При постоянной мощности трактора оба эти параметра взаимозависимы. Под оптимальным значением их принято понимать такое соотношение, которое обеспечивает максимальную производительность

$$V_p \times B_p = f(W_{max}). \quad (11)$$

Общая схема определения параметров заключается в следующем.

1. Установление зависимости  $W = f(B_p, V_p)$ .
2. По тяговой характеристике трактора устанавливается зависимость  $B_p = f(V_p)$ .





3. Определяется производная  $dW/dV_p = 0$ .

4. Выбирается ширина захвата агрегата  $B_p = f(V_p)$ .

Исходная формула

$$W = c \times B_p \times V_p \times \tau, \text{ га/ч,}$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности;  $B_p$  — ширина захвата агрегата;  $V_p$  — скорость движения агрегата;  $\tau$  — коэффициент использования рабочего времени.

Для технологического цикла

$$\tau = \frac{T_p}{T_p + T_{пов} + T_{то}}, \quad (12)$$

где  $T_p$  — время выполнения рабочего процесса (чистое)

$$T_p = \frac{10}{B_p \times V_p}, \quad (13)$$

$T_{пов}$  — время поворота

$$T_{пов} = \frac{10S_n}{V_n \times B_p \times L}, \quad (14)$$

где  $S_n$  — длина пути поворота;  $V_n$  — скорость движения агрегата на повороте;  $L$  — длина гога;  $T_{то}$  — время простоев из-за технологического обслуживания.

Подставив значения составляющих в формулу и проделав некоторые преобразования, получаем

$$\tau = \frac{10}{10 + \frac{10S_n \times V_p}{L \times V_n} + \frac{B_p \times H \times V_p}{W_s}}, \quad (15)$$

где  $H$  — норма внесения удобрений;  $W_s$  — производительность заправочного средства. Составляющие имеют место, если агрегат вносит удобрения.

Заменив значение  $\tau$  в формуле производительности, получим (при  $c = 0,1$ )

$$W = \frac{B_p \times V_p}{10 + \frac{10S_n \times V_p}{L \times V_n} + \frac{B_p \times H \times V_p}{W_s}}. \quad (16)$$

Для решения полученного уравнения на оптимум выразим ширину захвата агрегата через его скорость  $B_p = f(V_p)$ :

$$W = \frac{V_p}{f(V_p) + \frac{10S_n \times V_p}{f(V_p)L \times V_n} + \frac{B_p \times H \times V_p}{W_s}}. \quad (17)$$

Есть основание полагать, что зависимость ширины захвата от скорости близка к прямолинейной (при максимальном использовании мощности трактора) и может быть выражена зависимостью

$$B_p = a - \epsilon V_p^2 \quad (18)$$

где  $a, \epsilon$  — коэффициенты. Угловой коэффициент в принят отрицательным, так как с увеличением скорости ширина захвата уменьшается.

Проделав некоторые преобразования, получим выражение производительности в следующем виде

$$W = \frac{V_p}{\frac{10}{a - \epsilon V_p^2} + \frac{10S_n \times V_p}{(a - \epsilon V_p^2)L \times V_n} + \frac{H \times V_p}{W_s}}. \quad (19)$$

Скорость движения агрегата, соответствующая максимальной производительности, определяется по уравнению  $dW/dV_p = 0$ .

Решив это уравнение и проделав необходимые преобразования, получим квадратное уравнение

$$S_n \times B_p \times V_p^2 + 2LV_n \times B_p \times V_p - LV_n \times a = 0, \quad (20)$$

откуда

$$V_{1,2} = \frac{-LV_n \times B_p \pm \sqrt{(LV_n \times B_p)^2 + S_n \times B_p \times LV_n \times a}}{S_n \times B_p}, \quad (21)$$

$$\text{или } V_p = \sqrt{\left(\frac{LV_n}{S_n}\right)^2 + \frac{LV_n \times a}{S_n \times B_p}} - \frac{LV_n}{S_n}. \text{ км/ч.} \quad (22)$$

Заменив  $S_n$  и  $V_n$  на время  $t_n$ , получаем оптимальную скорость

$$V_p = \sqrt{\left(\frac{L}{t_n}\right)^2 + \frac{aL}{B_p \times t_n}} - \frac{L}{t_n}, \text{ км/ч,} \quad (23)$$

где  $L$  — длина гога, км;  $t_n$  — время поворота, ч.

Если в формуле длину гога подставить в метрах, а время поворота в секундах, то скорость движения получим в м/с. В дальнейших расчетах используются эти величины и составляющие формулы  $a$  и  $\epsilon$  определяются в соответствии с этими размерностями.

По формуле  $V_p$  определяется следующим образом. Строится зависимость  $B_p = f(V_p)$  (рис. 3).

Ширина захвата определяется из кривой мощности, взятой из тяговой характеристики трактора на соответствующем фоне:

$$B_p = 3,6 \times N_{кр} / (K \times V_p), \text{ м,} \quad (24)$$

где  $N_{кр}$  — мощность на крюке, кВт;  $V_p$  — рабочая скорость, км/ч;  $N_{кр}, V_p$  взяты из тяговой характеристики трактора;  $K$  — удельное сопротивление, кН/м, взятое из экспериментальных данных с учетом изменения его в зависимости от скорости при рекомендуемой глубине хода рабочих органов.

Для определения параметров  $a$  и  $\epsilon$  использован способ наименьших квадратов.

В результате расчетов получены значения  $a = 4,549793$ ;  $\epsilon = -0,692111$ ; а зависимость примет вид  $B_p = 4,549793 - 0,692111 \times V_p^2$  (25)

где  $V_p$  — рабочая скорость, м/с.

Зависимость ширины захвата по передачам трактора МТЗ-80 от скорости движения при полном использовании мощности приведена на рис. 4.

Расчеты показывают, что ошибка в определении ширины захвата по приведенной выше формуле относительно данных, полученных по тяговой характеристике, составляет для скорости движения до 8,5 км/ч не более 3,0 %, для скорости свыше 9 км/ч — не более 5,69 %.

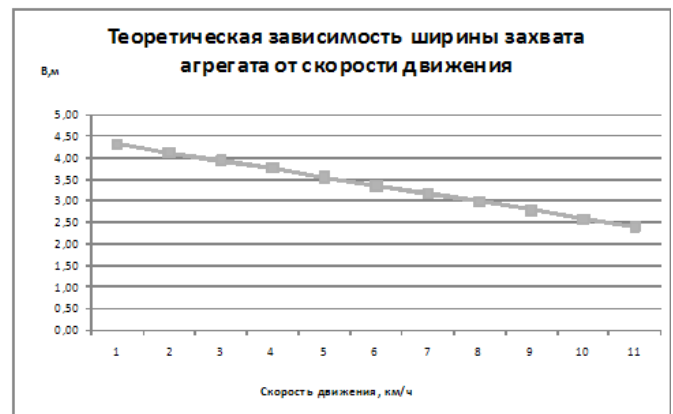


Рисунок 4  
Взаимозависимость между скоростью движения и шириной захвата агрегата



Рисунок 5  
Зависимость ширины захвата МТА от передачи (трактор МТЗ-80)

#### Литература

1. Зангиев А. А. и др. Производственная эксплуатация МТП. М. : Колос, 1996.
2. Охотников Б. Л. Основы производственной эксплуатации машинно-тракторных агрегатов. Екатеринбург : УрГСХА, 2011.
3. Охотников Б. Л., Андреев В. А. Определение основных параметров агрегата для обработки посадок картофеля и формированию клубненесущего слоя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 8. С. 8–9.

#### References

1. Zangiev A. A. et al. The production operation of the ICC. M. : Kolos, 1996.
2. Okhotnikov B. L. Through productive operation of tractor units. Ekaterinburg : UrGSHA, 2011.
3. Okhotnikov B. L., Andreev V. A. Identification of the main parameters of the unit for processing the crops, and the formation of a layer // Mechanization and Electrification of Agriculture. 2006. № 8. P. 8–9.