

3. Казакевич, П.П. Обновление парка обкаточно-тормозных устройств и их импортозамещение / П.П. Казакевич, В.Я. Тимошенко // Агропанорама, 2010. – №1. – С. 45-48.

4. Тимошенко, В.Я. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Е.С. Некрашевич // Агропанорама, 2009. – № 1.– С. 44-48.

5. Столяров, А.В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановления и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. канд. техн. наук / А.В. Столяров; МГУ им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2009. – 18 с.

6. Жданко, Д.А. Теоретическое обоснование параметров гидравлического тормозного устройства обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Агропанорама, 2009. – № 3. – С. 38-42.

7. Жданко, Д.А. Обоснование параметров дроселя постоянного сечения как нагрузочного элемента электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2009. – № 43. – С. 139-143.

8. Тимошенко, В.Я. Обоснование необходимости модернизации обкаточно-тормозных стендов моторо-ремонтных предприятий / В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, А.В. Новиков, В.Б. Ловкис, И.В. Загородских // Вестник БГСХА, 2013. – № 2. – С. 144-149.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.03.2017

УДК 629.366

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПОТЕРЬ НА КАЧЕНИЕ ТРАКТОРА И ЕГО БАЛЛАСТИРОВАНИЕМ

В. Я. Тимошенко,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А. В. Нагорный,

ассистент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

А.Л. Лонский,

студент БГАТУ

В статье изложены применяемые в настоящее время способы увеличения сцепного веса тракторов и доказана нецелесообразность применения отдельных из них.

Ключевые слова: трактор, балластирование, сопротивление самопередвижению, потери мощности.

The article describes currently used methods of increasing the coupling weight of the tractor and the inexperience of application of some of them is proven.

Keywords: tractor, ballasting, resistance to self-movement, power loss.

Введение

Для проектирования нового трактора требуются определенные исходные данные и, прежде всего, мощность его двигателя, а также назначение трактора, класс тяги, наличие на рынке необходимого двигателя, отвечающего определенным требованиям, его стоимость, надежность и т.д.

После выбора двигателя задача конструкторов состоит в определении эксплуатационного и сцепного веса будущего трактора.

Определяющим фактором в решении этой задачи является обеспечение максимального значения движущей силы агрегата. Более полная реализация касательной силы через повышение силы сцепления движителя с почвой является актуальной задачей.

Цель настоящей работы – определение пределов целесообразности повышения сцепного веса за счет балластирования тракторов, так как оно сопровождается повышением затрат энергии на самопередвижение.

Основная часть

Механизм образования движущей силы машинно-тракторного агрегата таков, что она находится в зависимости, как от эффективной мощности двигателя трактора, так и его сцепного веса, т.е. веса, приходящегося на ведущие колеса трактора, и коэффициента сцепления движителя с почвой (рис. 1).

С одной стороны, движущая сила агрегата ограничивается касательной силой тяги на колесе трактора, зависящей от эффективной мощности его двигателя, передаточного числа трансмиссии, радиуса качения ведущих колес, что можно представить зависимостью (1) [1]:

$$P_k = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M_e i_{mp} \eta_{mp}}{r_k} = \frac{0,159 N_e i_{mp} \eta_{mp}}{r_k n_n}, \quad (1)$$

где – M_k – крутящий момент на ведущей оси трактора, кН·м;

i_{mp} – передаточное число трансмиссии;

η_{mp} – КПД трансмиссии;

r_k – радиус качения ведущего колеса, м;

n_n – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, c^{-1} .

Радиус качения колеса представляется как

$$r_k = r_o + h_{ш} k_{ш},$$

где r_o – радиус стального обода, м;

$h_{ш}$ – высота пневматического профиля шины, м;

$k_{ш}$ – коэффициент усадки шины.

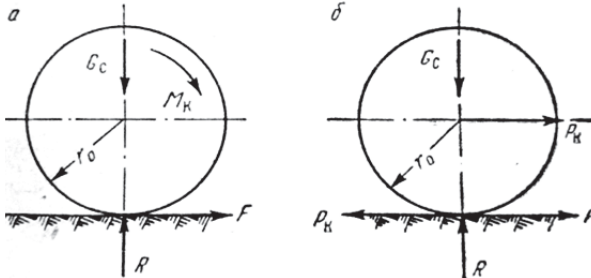


Рисунок 1. Схема образования движущей силы

С другой стороны, движущая сила агрегата ограничивается максимальной силой сцепления движителя с почвой

$$F_{сц} = \mu G_{сц}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент сцепления движителя с почвой;

$G_{сц}$ – сцепной вес, кН.

Более полная реализация касательной силы тяги на колесе, т.е. приближение ее к максимальной силе сцепления движителя с почвой возможна за счет увеличения значений множителей формулы (2) – коэффициента сцепления μ и сцепного веса $G_{сц}$.

Среди известных мер повышения коэффициента сцепления наиболее эффективными считаются: применение гусеничного и полугусеничного ходовых аппаратов, ходовых аппаратов с резинометаллической гусеницей. Значительный эффект достигается за счет сдвигания и спаривания ведущих колес трактора, увеличения площади контакта колес с почвой – за счет применения широкопрофильных и арочных шин. Любая из приведенных мер повышения коэффициента сцепления практически не вызывает увеличения потерь энергии двигателя на качение.

Повышение сцепного веса трактора тоже может осуществляться разными способами. В инструкции по эксплуатации трактора «Беларус 2522» [2] для его высокопроизводительного использования на разных видах работ, в широком диапазоне тяговых усилий рекомендуется поддерживать оптимальное распределение эксплуатационного веса трактора на передний и задний мосты.

Рекомендуемым [2] для данного трактора является распределение эксплуатационного веса (развесовка) в соотношении: 40-45 % на передний мост и 55-60 % на задний мост. Отмечается, что такое распределение позволяет работать трактору с большими тяговыми усилиями без возникновения резонансных колебаний. Справедливость такой рекомендации спорна, так как при работе с прицепными, полунавесными и навесными машинами имеет место догрузка задней оси трактора за счет его тягового усилия и наклона его к горизонту.

В тракторах с шарнирно сочлененной рамой (тип К-701 и Т-150К) развесовка выглядела наоборот – 60 % эксплуатационного веса трактора приходилось на передний мост и 40 % на задний. Такое распределение выглядит более обоснованным, так как задний мост получает дополнительную догрузку за счет тягового усилия на крюке, что обеспечивало выравнивание вертикальных нагрузок на оба моста.

Наиболее эффективным способом увеличения сцепного веса следует считать активный привод второго моста, что увеличивает сцепной вес более чем на 1/3, делая весь эксплуатационный вес трактора сцепным.

С давних пор на тракторах марки МТЗ и нынешних «Беларус» устанавливались гидроувеличители сцепного веса (ГСВ), а еще ранее корректоры вертикальных нагрузок (КВН), с помощью которых часть веса агрегируемых с трактором рабочих машин в процессе работы переносилась на ведущую ось трактора. Это осуществлялось за счет создания давления подпора в гидроцилиндре заднего навесного устройства трактора в пределах 5...31 Бар. Такое давление не было достаточным для подъема орудия, но достаточным для того, чтобы догрузить заднюю ведущую ось трактора. Такой способ увеличения сцепного веса тракторов практиковался в то время, когда более 75 % тракторного парка составляли тракторы с одним ведущим задним мостом. При догрузке заднего ведущего моста таким способом условно снижается вес машины, что снижает сопротивление ее перекачиванию.

В настоящее время практически все колесные тракторы, выпускаемые под маркой «Беларус» – полноприводные. На них уже не устанавливаются ГСВ, а применяется электрогидравлическая система автоматического регулирования глубины обработки (BOSH), которая позволяет поддерживать навесную машину «на весу», как в силовом, так и позиционном режиме, обеспечивая таким образом перенос части ее веса на заднюю ведущую ось трактора и повышая тем самым его сцепной вес. При этом разгружаются опорные колеса навесной машины, снижается сопротивление ее качению, что практически не влечет увеличения сил сопротивления движению агрегата, но позволяет повысить силу сцепления колес с почвой.

Отсюда следует вывод, что перенос части веса машины на трактор эффективен, так как при этом не только увеличивается сила сцепления движителей с почвой и в большей степени реализуется касательная сила тяги, но и снижается сопротивление качению колес навесной машины.

Однако догрузка колес заднего моста таким образом влечет за собой разгрузку переднего моста трактора, что сопровождается снижением критерия управляемости трактора и требует балластирования переднего моста до обеспечения критерия управляемости не ниже $K_{ym} = 0,2$.

Балластирование тракторов сдвиганием и спариванием их колес тоже достаточно эффективно в сравнении с балластированием внештатным балластом, так как при этом увеличивается не только сцепной вес, но и коэффициент сцепления за счет увеличения площади контакта колес с почвой.

Критерий управляемости, как показатель продольной устойчивости МТА, равен отношению нагрузки на управляемый мост к эксплуатационной массе (весу) без учета балластных грузов:

$$K_y = \frac{10^2 T_n}{m} > 0,2$$

Комплектация трактора «Беларус 1523» [3, с.181] может быть следующей:

- без переднего балласта;
- с передним балластом 510 кг и раствором в передних шинах 420/70R24 (табл. 1, 2).

В инструкции [2] по эксплуатации трактора «Беларус 2522Д» отмечается, что во всех случаях применения трактора нагрузка на переднюю ось должна быть не менее 20 % собственной эксплуатационной массы без балластных грузов.

В конструкции тракторов «Беларус» предусмотрена возможность изменения эксплуатационной массы (веса) в широких пределах за счет балластирования с помощью сдвигания колес, заполнения раствором хлористого кальция передних и задних шин, в том числе двоярных, применения внештатного балласта.

В качестве примера рассмотрим балластирование трактора «Беларус 2522Д» заливкой жидкости в его шины.

В таблице 1 приведены рекомендуемые значения массы заливаемого раствора хлористого кальция в шины трактора «Беларус 2522Д».

Из таблицы видно, что максимально в шины трактора «Беларус 2522Д» можно залить раствора $2 \cdot 290 + 2 \cdot 580 = 1740$ кг

Догрузку колес путем заливки жидкости в камеры шин трактора рекомендуется использовать только в случае недостаточного сцепления колес с почвой в неблагоприятных условиях (переувлажненная почва и т.д.).

В таблице 2 приведена норма раствора, заливаемого в одну шину трактора «Беларус 1523».

Если учесть, что балластные грузы, навешиваемые впереди трактора «Беларус 1523», равны 510 кг и в его колеса можно залить раствор (табл. 2) в количестве $(2 \cdot 183 + 2 \cdot 450) = 1266$ кг, то общий балласт составит:

$$1266 + 510 = 1776 \text{ кг} = 17,42 \text{ кН}$$

Учитывая то, что балластные грузы, навешиваемые впереди трактора «Беларус 2522», равны 650 кг и в его колеса можно залить 1740 кг раствора, то общий балласт составит:

$$1740 + 650 = 2390 \text{ кг} = 23,44 \text{ кН}$$

Этот дополнительный груз, используемый для увеличения сцепного веса трактора с целью более полной реализации его касательной силы тяги и, в

конечном счете, увеличения движущей силы, необходимо будет перемещать.

Дополнительное сопротивление качению, возникающее от перемещения балластных грузов, будет равно:

$$P_f = fG_\sigma,$$

где f – коэффициент сопротивления качению (на слежавшейся пашне $f=0,10 \dots 0,12$, (табл. 3) [4];

G_σ – общий вес балластного груза, кг.

$$P_{f \text{ Беларус}1523} = fG_\sigma = 17,42 \cdot 0,10 = 1,74 \text{ кН.}$$

$$P_{f \text{ Беларус}2522} = fG_\sigma = 23,44 \cdot 0,10 = 2,34 \text{ кН.}$$

Таблица 1. Масса заливаемого раствора в шины трактора «Беларус 2522Д»

Шина	Масса раствора, кг
480/70R30 (шины передние основные)	290
580/70R42 (шины задние основные)	580
540/65R30 (шины передние дополнительные)	315
710/70R38 (шины задние дополнительные)	700
650/65R42 (шины задние дополнительные)	649

Таблица 2. Норма раствора на одну шину трактора «Беларус 1523»

Типоразмер шин	Скорость, км/ч	Нагрузка на одну шину, кН и соответствующее ей давление, МПа						Норма раствора на одну шину, л
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	
420/70R24	30	15,45	17,20	18,80	20,35			183
	10	19,00	21,15	23,15	25,00			
520/70R38	30	24,40	27,15	29,70	32,10		45,00	450
	10	30,00	33,40	36,55	39,50			
18,4R38	30	15,45	17,20	18,80	20,35			400
	8	18,25	21,15	23,15	25,00			
16,9R38	30	18,25	20,25	22,25	24,25	31,15	33,95	350
	8	26,95	29,95					
11,2R28	20	9,75	10,90	11,90	12,75	13,75		90
	10	11,90	13,35	14,55	15,60	16,80		
11,2R42	20	12,70	13,50	14,75	15,80			120
	10	15,50	16,50	18,00	19,35			

На выполнении основных технологических операций рабочая скорость движения машинно-тракторных агрегатов примерно равна $V_p = 3,5$ м/с, при этом мощность, необходимая для преодоления сопротивления качения, будет равна:

$$N_{f \text{ Беларус}1523} = P_f V_p = 1,74 \cdot 3,5 = 6,09 \text{ кВт}$$

$$N_{f \text{ Беларус}2522} = P_f V_p = 2,34 \cdot 3,5 = 8,19 \text{ кВт}$$

Если учесть, что при передаче этой мощности часть ее (около 25 %) потеряется в трансмиссии трактора, то все потери на качение балластного груза при КПД трансмиссии $\eta_{mp} = 0,75$ будут следующие:

трактор «Беларус 1523»:

Таблица 3. Коэффициенты сцепления μ и сопротивления качению f ходовых колес тракторов

Условия движения	Колесные тракторы	
	Коэффициент сцепления	Коэффициент сопротивления качению
Шоссейная дорога	0,7 – 0,8	0,018 – 0,022
Щебеночное покрытие	0,7 – 0,8	0,030 – 0,040
Сухая укатанная дорога: глинистый грунт песчаный грунт	0,8 – 0,9 0,7 – 0,8	0,03 – 0,05 0,03-0,05
Целина, залежь, дернина, сильно-уплотненная стерня (суглинок)	0,8 – 0,9	0,03 – 0,06
Стерня нормальной влажности	0,7-0,8	0,06- 0,08
Слежавшаяся пашня	0,5 – 0,6	0,10 -0,12
Поле, подготовленное под посев	0,5 – 0,7	0,16 – 0,20
Свежевспаханное поле	0,4 – 0,5	0,18 – 0,22

$$N_f + N_{mp} = \frac{N_f}{\eta_{mp}} = \frac{6,09}{0,75} = 8,12 \text{ кВт};$$

трактор «Беларус 2522»:

$$N_f + N_{mp} = \frac{N_f}{\eta_{mp}} = \frac{8,19}{0,75} = 10,92 \text{ кВт}$$

Кроме того, часть мощности потеряется при буксовании движителей. При допустимом буксовании в 10 % общие потери на перемещение балластных гру-

зов составят:

$$\Sigma N_{\text{потерь}} \text{ Беларус } 1523 = \Delta N_f + \Delta N_{\text{тр}} + \Delta N_{\delta} = 8,12/0,90 = 9,02 \text{ кВт}$$

$$\Sigma N_{\text{потерь}} \text{ Беларус } 2522 = \Delta N_f + \Delta N_{\text{тр}} + \Delta N_{\delta} = 10,92/0,90 = 12,13 \text{ кВт}$$

Возможный выигрыш в увеличении движущей силы за счет балластирования трактора при работе на слежавшейся пашне составит:

$$\Delta P_{\text{дв Беларус } 1523} = \mu G_{\delta} = 0,55 \cdot 17,42 = 9,58 \text{ кН}$$

$$\Delta P_{\text{дв Беларус } 2522} = \mu G_{\delta} = 0,55 \cdot 23,44 = 12,89 \text{ кН}$$

Таким образом, увеличение движущей силы за счет реализации касательной силы тяги тракторов «Беларус 1523» и «Беларус 2522» через увеличение их сцепного веса балластированием при работе на слежавшейся пашне (табл. 3) составит $\Delta P_{\text{дв}}=9,58 \text{ кН}$ и $\Delta P_{\text{дв}}=12,89 \text{ кН}$ соответственно. При этом сопротивление перекачиванию трактора за счет перемещения балластовочных грузов увеличится на $\Delta P_f=1,74 \text{ кН}$ и $\Delta P_f=2,34 \text{ кН}$ соответственно.

Однако увеличение движущей силы возможно в случае недоиспользования касательной силы тяги на колесе по мощности двигателя P_k .

Если исходить из среднего значения рабочей скорости движения машинно-тракторных агрегатов $V_p=11 \text{ км/ч}$ или $3,5 \text{ м/с}$, то, например, в тракторах «Беларус 1523» и «Беларус 2522» касательная сила тяги реализуется по сцеплению на 4-х основных передачах (табл. 4, 5).

Анализ данных таблиц 4 и 5 указывает на необходимость введения показателя целесообразности

Таблица 4. Недоиспользованные по сцеплению ΔP_k значения касательной силы тяги на колесе трактора «Беларус 1523» на 4-х рабочих передачах трактора

Условия движения	μ	$F_{\text{сmax}}$, кН	ΔP_{k1} , кН	ΔP_{k2} , кН	ΔP_{k3} , кН	ΔP_{k4} , кН
Шоссейная дорога: – цементно-бетонное или – асфальто-бетонное покрытие	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– щебенчатое или гравийное покрытие	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– булыжное покрытие	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Сухая укатанная дорога: – глинистый грунт	0,85	49,3	208,16	134,46	84,54	48,51
– песчаный грунт	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
– чернозем	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Снежная укатанная дорога	0,3	17,4	240,06	166,36	116,44	80,41
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня (суглинок)	0,85	49,3	208,16	134,46	84,54	48,51
Стерня нормальной влажности	0,75	43,5	213,96	140,26	90,34	54,31
Влажная стерня	0,65	37,7	219,76	146,06	96,14	60,11
Слежавшаяся пашня	0,55	31,9	225,56	151,86	101,94	65,91
Подготовленное под посев поле, вспаханное поле (суглинок), чистый пар, свежубранное из-под картофеля поле	0,6	34,8	222,66	148,96	99,04	63,01
Свежевспаханное поле (супесь)	0,44	25,52	231,94	158,24	108,32	72,29
Влажный луг: – скошенный	0,7	40,6	216,86	143,16	93,24	57,21
– нескошенный	0,55	31,9	225,56	151,86	101,94	65,91
Песок: – влажный	0,4	23,2	234,26	160,56	110,64	74,61
– сухой	0,3	17,4	240,06	166,36	116,44	80,41
Глубокая грязь	0,1	5,8	251,66	177,96	128,04	92,01
Глубокий снег		0	257,46	183,76	133,84	97,81
Торфяно-болотная осушенная целина		0	257,46	183,76	133,84	97,81

Таблица 5. Недоиспользованные по сцеплению ΔP_k значения касательной силы тяги на колесе трактора «Беларус 2522» на 4-х рабочих передачах трактора

Условия движения	μ	$F_{\text{сmax}}, \text{кН}$	$\Delta P_{k1}, \text{кН}$	$\Delta P_{k2}, \text{кН}$	$\Delta P_{k3}, \text{кН}$	$\Delta P_{k4}, \text{кН}$
Шоссейная дорога:						
– цементно-бетонное или	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– асфальто-бетонное покрытие						
– щебенчатое или гравийное покрытие	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– булыжное покрытие	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Сухая укатанная дорога:						
– глинистый грунт	0,85	121,47	105,58	65,55	30,19	3,44
– песчаный грунт	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
– чернозем	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Снежная укатанная дорога	0,3	42,87	184,17	144,14	108,79	82,03
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня (суглинок)	0,85	121,47	105,58	65,55	30,19	3,44
Стерня нормальной влажности	0,75	107,18	119,87	79,84	44,48	17,73
Влажная стерня	0,65	92,89	134,16	94,13	58,77	32,02
Слежавшаяся пашня	0,55	78,60	148,45	108,42	73,06	46,31
Подготовленное под посев поле, вспаханное поле (суглинок), чистый пар, свежееубранное из-под картофеля поле	0,6	85,74	141,30	101,27	65,92	39,16
Свежевспаханное поле (супесь)	0,44	62,88	164,17	124,14	88,78	62,03
Влажный луг: – скошенный	0,7	100,03	127,01	86,98	51,63	24,87
– нескошенный	0,55	78,60	148,45	108,42	73,06	46,31
Песок: – влажный	0,4	57,16	169,88	129,85	94,50	67,74
– сухой	0,3	42,87	184,17	144,14	108,79	82,03
Глубокая грязь	0,1	14,29	212,75	172,72	137,37	110,61
Глубокий снег		0,00	227,04	187,01	151,66	124,90
Торфяно-болотная осушенная целина		0,00	227,04	187,01	151,66	124,90

балластирования трактора. Таким показателем, по мнению авторов, может быть коэффициент полезного действия балластирования, который можно представить как частное от деления разности значений увеличения движущей силы трактора и увеличения силы сопротивления качению трактора за счет дополнительных балластных грузов и значения увеличения движущей силы трактора.

$$\Theta = (\Delta P_{\text{дв}} - \Delta P_f) / \Delta P_{\text{дв}} = (9,58 - 1,74) / 9,58 = 0,82$$

Такое значение этого коэффициента свидетельствует о целесообразности балластирования трактора.

В таблице 4 приведены результаты расчета недоиспользованных значений касательной силы тяги ΔP_k на четырех основных рабочих передачах.

Анализ таблицы показывает, что касательная сила P_k на основных четырех рабочих передачах (1-я; 2-я; 3-я; 4-я) используется по сцеплению полностью, что указывает на нецелесообразность балластирования тракторов. Если учесть, что тракторы работают не только в поле, но и на дорогах, а балластирование их требует определенных затрат труда и средств, то это подтверждает ранее сделанный вывод о его нецелесообразности.

Заключение

1. Балластировка трактора с целью повышения его сцепного веса сопровождается соответствующим увеличением сопротивления качению на перемещение самого балласта.

2. Сопоставляя мизерный эффект от балластирования тракторов и связанные с этим затраты, можно сделать вывод о его нецелесообразности.

3. Расчеты показывают, что при выполнении технологических сельскохозяйственных операций на скорости 3,5 м/с касательная сила тяги тракторов реализуется полностью, без увеличения сцепного веса.

4. Наблюдения за использованием тракторов в сельхозпредприятиях и их анализ показывают, что балластировка тракторов не производится.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирщевский, Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Б.С. Свирщевский. – М.: Сельхозгиз, 16-я типография Московского городского совнархоза, 1957. – С. 27-34.

2. Трактор «Беларус 2522» и его модификации. Руководство по эксплуатации / РУП «Минский тракторный завод», 2003. – С. 300.

3. Левков, В.Г. Тракторы «Беларус» 1522, 1522В, 1523, 1523В. Руководство по эксплуатации / В. Г. Левков, И. Ф. Бруенков, Э. А. Бомберов/ ПО «Минский тракторный завод», 2001.

4. Техническое обеспечение продукции растениеводства: практикум /А.В.Новиков [и др.]; под общ. редакцией А.В. Новикова. – Минск: БГАТУ, 2011. – 408 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2017