

А. В. Ленский, А. А. Жешко

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
Минск, Республика Беларусь
E-mail: alex_lensky@mail.ru, azeshko@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены применяемые методы и технические средства для определения тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин для основной обработки почвы, особенности конструкций установок для проведения полевых и лабораторных исследований. Выполнен обзор программных средств для автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов (МТА), позволяющий проводить оперативный выбор рационального состава МТА применительно к конкретным природно-производственным условиям.

Ключевые слова: рабочие органы почвообрабатывающих машин, тяговое сопротивление, лабораторные и полевые испытания, тензометрия, основная обработка почвы.

A. V. Lensky, A. A. Zheshko

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: alex_lensky@mail.ru, azeshko@gmail.com*

METHODS FOR DETERMINING THE TRACTION RESISTANCE OF AGRICULTURAL MACHINES

Abstract. The article considers the methods and technical means used to determine the traction resistance of the working bodies of agricultural machines for basic tillage, the design features of installations for field and laboratory research. The review of software tools for automated acquisition of machine and tractor units, which allows for the operational selection of the rational composition of machine and tractor units in relation to specific natural and industrial conditions, is carried out.

Keywords: working bodies of tillage machines, traction resistance, laboratory and field tests, strain gauge, basic tillage.

Для качественного комплектования машинно-тракторных агрегатов (МТА) необходимо владеть достоверной информацией о тяговом сопротивлении рабочих органов машин для основной обработки почвы, поскольку именно этот параметр является отправной точкой при выполнении расчетов по сопоставлению энергосредства и выбору рациональной скорости движения агрегата по полю [1]. На величину тягового сопротивления рабочих органов влияет значительное количество факторов, таких как тип почвы, ее влажность и гранулометрический состав, глубина обработки, скорость движения агрегата, засоренность участка камнями, вид предшествующей механической обработки и многие другие параметры. В этой связи, с целью прогнозирования тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов в случае их использования в конкретных почвенных условиях при влиянии определенных факторов, целесообразно рассмотреть методы моделирования процессов взаимодействия рабочих органов с почвой, а также существующие алгоритмы и программные средства для комплектования агрегатов и выявить их преимущества и недостатки.

Обзор технических средств для определения тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственных машин. Основой аналитического метода комплектования МТА является наличие объективных данных о тяговом сопротивлении рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Определение тягового сопротивления рабочих органов может проводиться в полевых, лабораторных и заводских условиях. Подобные испытания позволяют также обосновать усилия, действующие на детали и сборочные единицы машин, что дает возможность определить их надежность, получить необходимые данные для выполнения технологических расчетов, информацию о качестве изготовления или ремонта и информацию о коэффициенте полезного действия механизмов. Однако основная решаемая задача – выявление энергетических показателей для рационального комплектования сельскохозяйственной машины и энергетического средства.

Одним из наиболее точных методов определения тягового сопротивления являются испытания в полевых условиях.

Полевые испытания для определения тягового сопротивления. В настоящее время большинство производителей сельскохозяйственной техники стремятся оснастить разрабатываемые машины для основной обработки почвы различным сочетанием рабочих органов, что позволяет за один проход осуществить крошение, рыхление верхних слоев почвы, перемешивание вертикальных слоев, выравнивание поверхности и другие операции. Также широко используются комбинации почвообрабатывающих рабочих органов с посевными и посадочными агрегатами. Подобные тенденции объясняются, с одной стороны, возможностью снизить затраты на выполнение комплекса операций путем объединения их в одну, а с другой – позволяет уменьшить количество проходов техники по обрабатываемому участку.

В свою очередь применение сложных комбинаций рабочих органов предъявляет повышенные требования к техническим средствам, которые будут использоваться для изучения тягового сопротивления комбинаций рабочих органов. Для исследования тягового сопротивления рабочих органов комбинированного плуга применяется тензометрический измерительный комплекс [2], состоящий из тензометрической установки (рис. 1) и информационно-измерительной системы (рис. 2).

Данный комплекс позволяет определять тяговое сопротивление как отдельных рабочих органов, так и их сочетаний. Основными конструктивными элементами тензометрической установки являются рама 1 и подвижная рамка 2, между которыми закреплен тензометрический

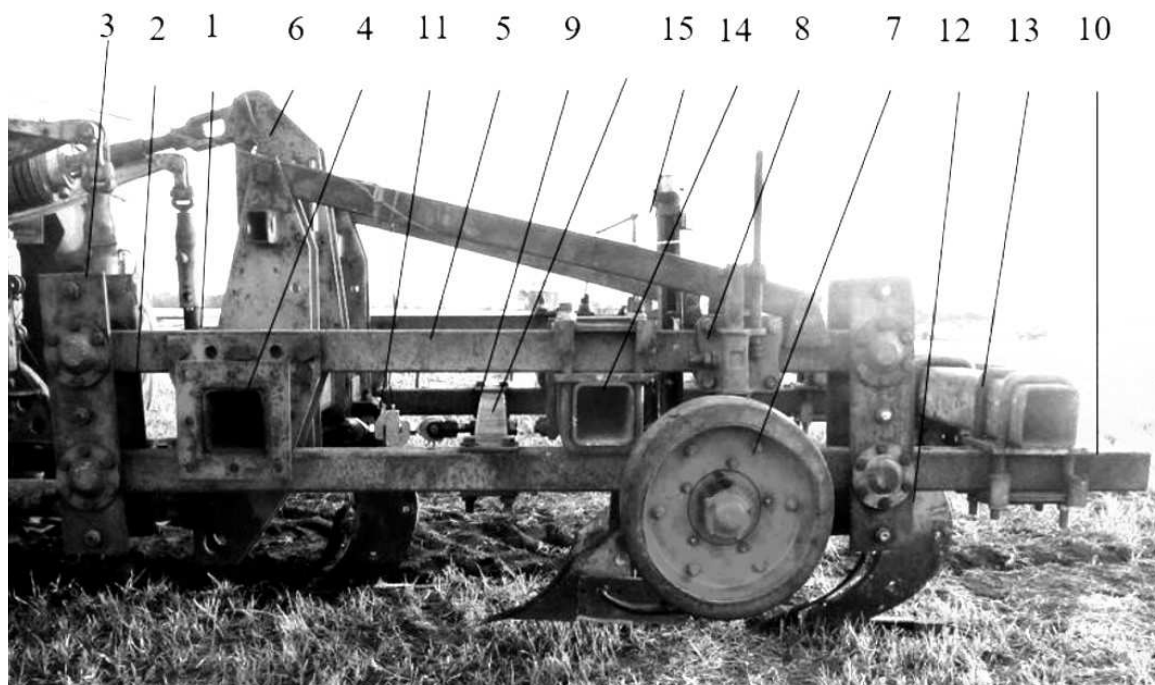


Рис. 1. Тензометрический измерительный комплекс [2]: 1 – рама; 2 – подвижная рамка; 3 – подшипниковый узел; 4 – поперечная балка; 5 – продольная балка; 6 – механизм крепления; 7 – колесо опорное; 8 – механизм регулирования глубины обработки; 9, 10 – поперечная и продольная дополнительные балки; 11 – тензометрический S-образный датчик сжатия-растяжения; 12 – рабочий орган; 13, 14 – подвижная поперечная балка; 15 – измерительный блок глубины обработки

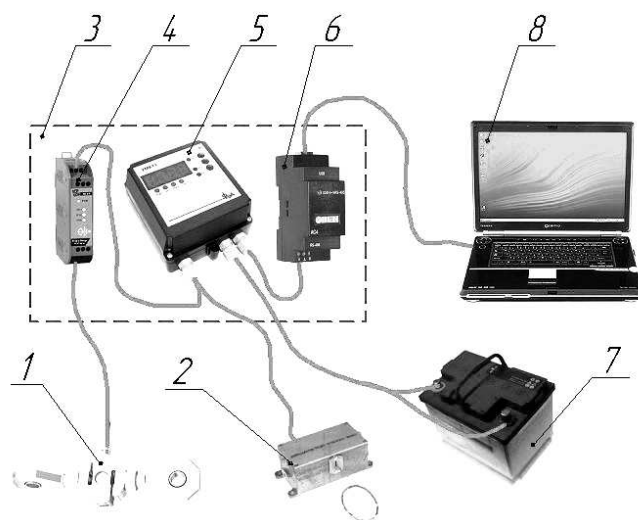


Рис. 2. Информационно-измерительная система [3]:
 1 – тензорезистивный S-образный датчик сжатия-растяжения;
 2 – датчик линейных перемещений; 3 – аналогово-цифровой преобразователь;
 4 – нормализатор сигнала тензодатчика; 5 – измеритель сигнала;
 6 – интерфейсный преобразователь; 7 – аккумуляторная батарея; 8 – компьютер

S-образный датчик, рассчитанный на усилие до 50 кН. Таким образом, ход подвижной рамки ограничен тензометрическим датчиком.

Аппаратная часть измерительной системы позволяет снять сигнал и передать его для обработки в портативный компьютер. Обработка сигнала осуществляется с помощью пакета GAUS 8, разработанного для объединения данных с датчиков и оперативной трансляции результатов изменений на персональный компьютер. Пакет GAUS 8 также позволяет накапливать и архивировать данные, представлять данные в табличной или графической форме и записывать информацию о времени, тяговом сопротивлении и глубине обработки.

Перед началом измерений проводится тарировка прибора. Тензометрический блок поднимается так, чтобы рабочие органы не были заглублены в почву. Нормализатор сигнала устанавливается на значение 0. Испытания проводят на длине 100 м при рабочей скорости 1,5–2,5 км/ч. Для обеспечения постоянной ширины захвата рабочего органа на тензометрическом датчике размещается рыхлитель, который служит для имитации прохода предыдущего рабочего органа.

Современное тензометрическое оборудование для измерения тягового сопротивления характеризуется сложностью применения в полевых условиях ввиду «дрейфа нуля» тензометрического усилителя. Для устранения негативных последствий используется усовершенствованная конструкция оборудования, состоящего из динамометрических саней и измерительного комплекса с портативным компьютером [3]. Тензометрические сани состоят из рамы и подвижной каретки и присоединяются к трактору посредством снорки (рис. 3) [4]. На раме крепится исследуемый рабочий орган и располагается аппаратная часть измерительного устройства.

Измерительное устройство со снятым лентопротяжным механизмом, представляет собой винтовую пружину, работающую на сжатие (рис. 4). Деформация пружины фиксируется контроллером, и сигнал передается на компьютер для последующей обработки.

Программное обеспечение позволяет провести точную настройку для обработки получаемых сигналов. Для проведения полевых экспериментов предварительно изготавливаются и тарируются на стерне пружины с различной степенью жесткости. В результате получают график зависимости тягового сопротивления и соответствующего линейного перемещения контроллера.

Данные, получаемые в результате изменений, сохраняются в виде массива, который затем подвергается математической обработке в специальных статистических пакетах анализа.

В процессе проведения испытаний в полевых условиях необходимо фиксировать рабочую скорость перемещения агрегата по полю. Для этих целей используется GPS навигатор. Однако



Рис. 3. Сани для измерения тягового сопротивления [4]: 1 – саница; 2 – рама; 3 – измерительный комплекс; 4 – каретка; 5 – подвеска; 6 – регулятор глубины обработки; 7 – рабочий орган; 8 – компьютер; 9 – сидение для оператора

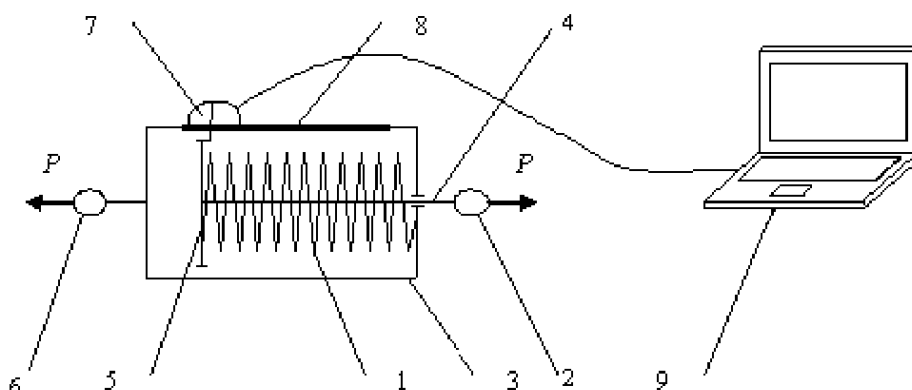


Рис. 4. Измерительный комплекс [4]: 1 – винтовая пружина; 2, 6 – серьги; 3 – корпус прибора; 4 – шток; 5 – подвижная опорная шайба; 7 – контроллер; 8 – дорожка; 9 – компьютер

добиться желаемой точности определения скорости возможно лишь в том случае, если длина гона составляет не менее 150 м [4].

К преимуществам данного технического решения можно отнести стабильность выхода на нулевой сигнал, надежность в работе и простоту регулировок. К недостаткам – значительное количество подготовительных операций: изготовление и тарировку пружин, а также обработку огромного массива собранных данных.

Таким образом, определение тягового сопротивления рабочих органов в полевых условиях осуществляется путем перемещения трактором по выбранной делянке оборудования, оснащенного тензометрическими устройствами, с последующей обработкой специальными программными средствами. Результаты измерений при этом максимально приближены к реальным производственным условиям, однако зависят от метеорологических условий и сопряжены с существенными затратами.

Лабораторные испытания для определения тягового сопротивления рабочих органов. Тензометрия рабочих органов в лабораторных условиях позволяет сократить время и не зависит от метеорологических условий при проведении исследований по определению тягового сопротивления почвообрабатывающих машин. Лабораторные установки позволяют проводить испы-

тания с фиксированной скоростью перемещения рабочего органа на стабильной глубине. Однако точность подобного метода уступает тензометрированию в полевых условиях.

Существуют различия в конструкции установок для лабораторных исследований.

Большинство из них позволяет проводить замеры только горизонтальных составляющих тяговых усилий в трех точках. Для этого используется специальная переходная навеска.

Также может использоваться навесное устройство с наклеенными на тяги тензометрическими датчиками. Однако обработка данных, снятых с использованием подобного устройства, является трудоемким процессом.

Установка для пространственного тензометрирования в лабораторных условиях представлена на рис. 5 [5]. Основными узлами являются тяговая тележка с трехточечным навесным устройством и тензометрическое оборудование – две рамки, соединенные тягами, шаровые шарниры, раскосы.

Применение подобных установок позволяет фиксировать как горизонтальные, так и вертикальные составляющие тягового усилия, что позволяет получать необходимые данные для математического моделирования в случае изучения динамики и устойчивости проектируемых рабочих органов.

Экспериментальная установка для тензометрирования дисковых рабочих органов в лабораторных условиях представлена на рис. 6 [6]. При проведении исследований тяговое сопротивление, создаваемое рабочим органом, приводит к деформации балки, к которой крепится стойка дискового рабочего органа. Путем тензометрирования определяются величина деформации и, как следствие, значение тягового сопротивления.

Измерения проводятся при передвижении установки по грунтовому каналу. Данные о результатах измерений передаются от датчиков на персональный компьютер, где отображаются результаты в режиме реального времени.

Другая установка для измерения тягового сопротивления различных рабочих органов и элементов почвообрабатывающих машин в лабораторных условиях представлена на рис. 7 [7]. Глубина обработки при испытаниях может варьироваться от 0 до 300 мм; угол атаки можно изменять в диапазоне $\pm 25^\circ$.

Каретка перемещается электродвигателем мощностью 5,5 кВт. При этом скорость перемещения составляет от 1,80 до 5,58 км/ч.

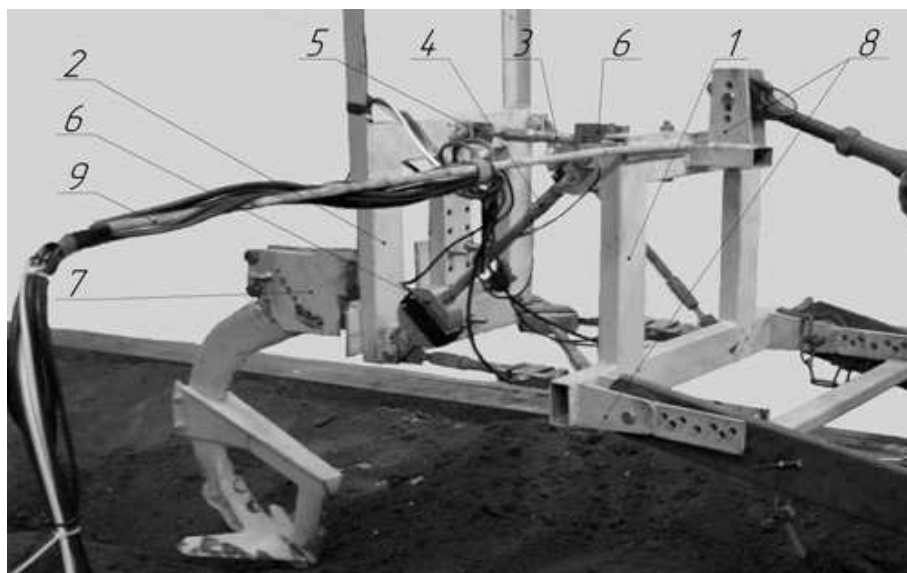


Рис. 5. Установка для пространственного тензометрирования в лабораторных условиях [5]:
1, 2 – рамки; 3 – параллельные тяги; 4 – раскосы; 5 – шаровые шарниры; 6 – тензометрические звенья;
7 – механизм регулирования угла установки рабочего органа; 8 – навеска; 9 – кабель

Исследование тягового сопротивления корпуса плуга в работе [7] позволило сделать вывод о том, что величина тягового сопротивления зависит как от глубины обработки, так и от поступательной скорости движения. Кроме того, установка может применяться для проведения исследований по изучению зависимости буксования колес и влияния параметров вертикальной нагрузки.

Таким образом, лабораторные исследования, по сравнению с полевыми опытами, позволяют получить данные о тяговом сопротивлении рабочих органов вне зависимости от метеорологических условий и с наименьшими затратами труда и денежных средств, однако с некоторым отклонением от данных, полученных в реальных полевых условиях.

Алгоритмы и программные средства для комплектования машинно-тракторных агрегатов. Существующие методики комплектования МТА, основанные на выборе рациональных энергетических средств, требуют обработки накопленных данных о тяговом сопротивлении и другой информации, а также затрат времени на выполнение расчета. С целью автоматизации вычислений и быстрой обработки данных многие исследователи пошли по пути разработки отдельных приложений, а также приложений для расчета в электронных таблицах (рис. 8), которые позволяют существенно упростить выбор рациональных агрегатов для обычного пользователя.

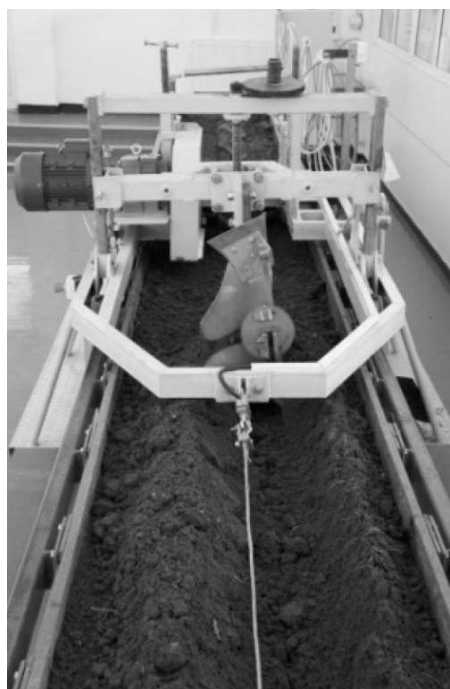
Применение электронных таблиц для комплектования МТА, согласно мнению авторов [8], позволяет эффективно подбирать машину к трактору или наоборот, а также полученные результаты



Рис. 6. Экспериментальная установка для тензометрирования дисковых рабочих органов в лабораторных условиях [6]



a



б

Рис. 7. Установка для измерения тягового сопротивления рабочих органов (*a* – опорного колеса) и элементов (*б* – корпуса плуга) почвообрабатывающих машин [7]

A5		MAJOR TILLAGE TOOLS																	
A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
Draft (kN) = Speed (kmh) =		17 7.5	35.7 1.00	Fuel Consumption (gal/h)= Mred 0		15.74 15.74		15.74 15.74		Use this to select tractor Given Implements		Calculated Tractor Power							
Soil Type =		1		Sizing Implements				Capacity Fuel Use		Width (Est)		Draft		Dn-hp		PTO-hp			
Implement		Est Depth (mm)	Depth (mm)	Width (m)		FE		ha/hr		spacing (mm) between t		m		KN		KW			
MAJOR TILLAGE TOOLS		spacing (mm) between tools																	
Subsoiler/Manure Injector		spacing (mm) between tools																	
7	narrow point	# tools	254	2	263.4	1.2	0.85	0.77	20.38	588	6	3.7	49.9	103	138				
8	12-in winged point	# tools	203	2	203.4	1.2	0.85	0.77	20.38	588	6	3.7	51.7	107	143				
9	12-in winged point + coulters	# tools	203	2	160.9	1.2	0.85	0.77	20.38	588	6	3.7	56.2	117	155				
Moldboard Plow (no coulters)		spacing (mm) between tools																	
11	no coulters	m	203	3	202.2	0.9	0.85	0.58	27.17	NA	12	3.7	69.3	144	192				
12	w/ smooth or ripple coulters	m	203	3	160.2	0.9	0.85	0.58	27.17	NA	6	1.8	39.2	81	108				
13	w/ bubble or flute coulters	m	203	3	153.9	0.9	0.85	0.58	27.17	NA	6	1.8	40.1	83	111				
Chisel Plow		spacing (mm) between tools																	
15	2-in straight point	# tools	203	6	219.8	1.2	0.85	0.77	20.38	196	18	3.7	47.9	99	132				
16	3-in shovel/14-in sweep	# tools	203	6	186.8	1.5	0.85	0.97	16.30	245	19	4.8	59.4	123	164				
17	4-in twisted shovel	# tools	203	5	195.0	1.5	0.85	0.97	16.30	294	14	4.3	50.3	104	139				
Sweep Plow		spacing (mm) between tools																	
19	primary tillage	m	203	5	213.9	1.5	0.8	0.91	17.32	NA	16	4.9	52.4	109	145				
20	secondary tillage	m	152	10	151.2	3.0	0.8	1.82	8.66	NA	14	4.3	24.3	50	67				
Disk Harrow, Tandem		spacing (mm) between tools																	
22	primary tillage	m	152	9	147.3	2.7	0.8	1.64	9.62	NA	30	9.1	59.5	123	164				
23	secondary tillage	m	102	19	100.0	5.8	0.8	3.45	4.56	NA	24	7.3	22.1	46	61				
Disk Harrow, Offset		spacing (mm) between tools																	
25	primary tillage	m	152	7	161.7	2.1	0.75	1.19	13.20	NA	18	5.5	41.8	87	115				
26	secondary tillage	m	102	16	99.9	4.9	0.75	2.73	5.77	NA	38	11.6	41.7	86	115				
Disk Gang, Single		spacing (mm) between tools																	
28	primary tillage	m	152	22	152.6	6.7	0.7	3.50	4.50	NA	52	15.8	40.7	84	112				
29	secondary tillage	m	102	46	101.9	14.0	0.7	7.32	2.15	NA	110	33.5	41.1	85	114				
Coulters		spacing (mm) between tools																	
31	smooth or ripple	# tools	76	Not a standalone unit	Not a standalone unit													NUM	
32	bubble or flute	# tools	76	Not a standalone unit	Not a standalone unit													NUM	
Field Cultivator		spacing (mm) between tools																	
34	primary tillage	# tools	127	21	124.8	4.0	0.85	2.54	6.21	196	71	14.3	58.9	122	163				
35	secondary tillage	# tools	127	28	128.7	5.3	0.85	3.38	4.66	183.75	40	7.6	24.3	50	67				
Row Crop Cultivator		spacing (mm) between tools																	
37	S-tine	# rows	127	7	128.3	1.8	0.8	1.06	14.85	245	10	2.5	24.4	51	67				

Рис. 8. Пример расчета для комплектования машинно-тракторных агрегатов, оформленный в виде электронной таблицы [8]

можно использовать для прогнозирования производительности и расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных операций.

Компьютерная программа TractorMatch (рис. 9) [9] разработана для платформы Windows и позволяет достаточно качественно комплектовать МТА. Тяговое сопротивление машин и орудий определяется по уравнениям, предложенным инженерами ASABE. Программа подключается к обширным базам данных тракторов и сельскохозяйственных машин и, по мнению авторов, может успешно использоваться на практике и в учебных целях.

Также алгоритмы комплектования трактора и сельскохозяйственной машины для различных почв и условий эксплуатации являются элементами комплексной системы принятия решений [10]. Согласно алгоритму работы, предварительно вычисляется мощность трактора, которая необходима для выполнения конкретных сельскохозяйственных операций в зависимости от почвенных условий и других факторов. Далее осуществляется выбор типа движителя трактора и особенности приводных осей. Исходными данными для вычислений являются мощность трактора, тип почвы, ширина захвата машины, тяговое сопротивление, эффективность комплектования, рабочая скорость движения и др. После выполнения вычислений программа выдает оптимальную мощность трактора для данной операции, максимальную ширину захвата машины и другие показатели.

Иранские ученые разработали десктопное приложение (рис. 10) [11] для комплектования МТА, которое актуально ввиду широкого распространения в Иране тракторов мощностью от 5,5 до 60,0 кВт и большого количества машин и орудий для почвообработки к ним. Программа подключается к базам данных испытательных станций, в которых информация накапливается с 1990 г.; также имеется внутренняя база тракторов и сельскохозяйственных машин.

Существует возможность указания не только общих характеристик тракторов и машин, но также условий их использования, сроков выполнения операций и других параметров.

Использование программы позволяет не только эффективно комплектовать агрегаты, но также определять резервы экономии энергии для различных условий эксплуатации.

Приложение Tracimp (рис. 11) [12] позволяет для выбранных энергосредства и сельскохозяйственной машины определить тяговое сопротивление и подобрать рабочую скорость движения для конкретных производственных условий. Также программа позволяет вычислить основные технико-экономические показатели операции, выполняемой скомплектованным агрегатом. Основными принципами, которые заложены в программу Tracimp для рационального комплектования, являются: учет конструктивных и технологических особенностей агрегируемой машины,

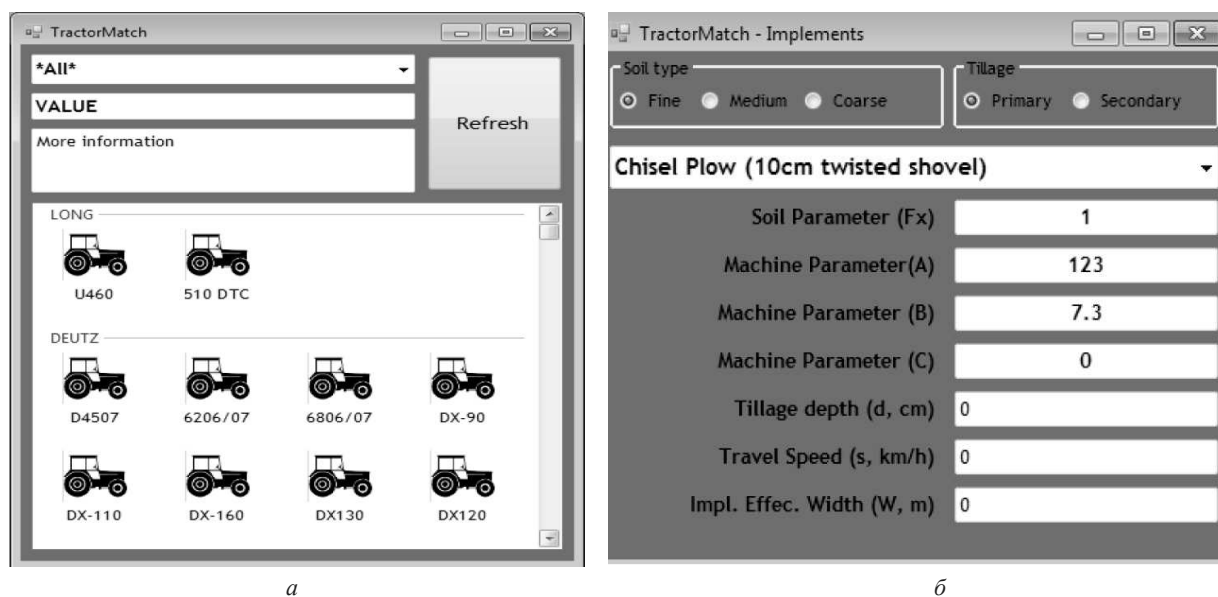


Рис. 9. Приложение для проверки правильности комплектования МТА.
База данных: а – тракторов; б – сельскохозяйственных машин

Selection of Tractor Size

View Process

Maximum Power Require		Engine (hp)	PTO (hp)	Draw bar (hp)	Tractor type
Power Needed For tillage	1	23.52	19.6	15.68	2WD
Power Needed For tillage	2	37.26	31.05	24.84	2WD
Power Needed For tillage	3	50.65	42.21	33.76	2WD
Power Needed For tillage		0	0	0	0

Chosen Tractor

Tillage_1	Tillage_2	Tillage_3	Tillage
Tractor Type <input type="text" value="2WD"/>	Tractor Type <input type="text" value="2WD"/>	Tractor Type <input type="text" value="2WD"/>	Tractor Type <input type="text"/>
Tractor Name <input type="text" value="ITM 942"/>	Tractor Name <input type="text" value="Darvana 604"/>	Tractor Name <input type="text" value="Universal1"/>	Tractor Name <input type="text"/>
PTO Power (HP) <input type="text" value="20"/>	PTO Power (HP) <input type="text" value="33"/>	PTO Power (HP) <input type="text" value="45"/>	PTO Power (HP) <input type="text"/>
Old of Tractor (yr) <input type="text" value="4"/>	Old of Tractor (yr) <input type="text" value="4"/>	Old of Tractor (yr) <input type="text" value="18"/>	Old of Tractor (yr) <input type="text"/>
Economic Age (hr) <input type="text" value="15000"/>	Economic Age (hr) <input type="text" value="12000"/>	Economic Age (hr) <input type="text" value="15000"/>	Economic Age (hr) <input type="text"/>

Рис. 10. Программа для комплектования машинно-тракторных агрегатов [11]

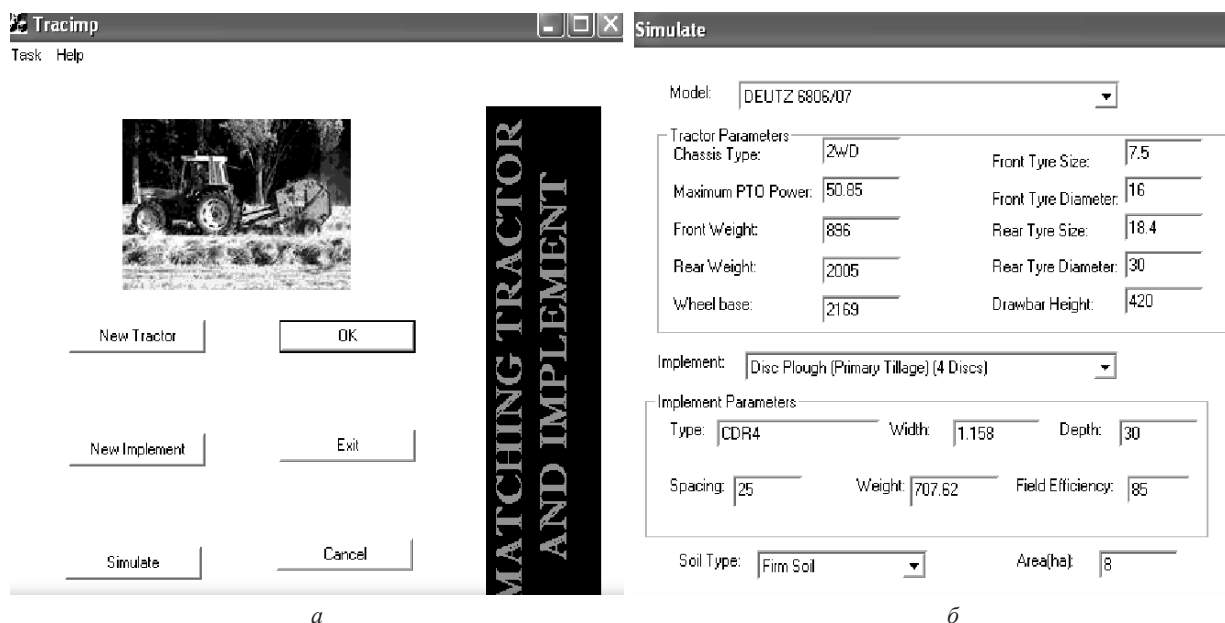


Рис. 11. Программа для комплектования машинно-тракторных агрегатов Tracimp [12]:
a – окно ввода исходных данных; *б* – окно ввода параметров агрегата

таких как ширина захвата, рабочая скорость, состояние почвы; а также параметры трактора: балансировка, распределение веса по осям, тип тягового устройства и условия эксплуатации. В модель заложены стандарты ASAE D497.5 и модель Brixius.

Существенным недостатком программы Tracimp является ее привязка к платформе Windows и невозможность интеграции с картографическими сервисами для уточнения контуров полей. Данную программу рекомендуют для использования в образовательных целях и на практике.

Таким образом, применяемые в настоящее время программные продукты являются десктопными приложениями, что существенно ограничивает возможность их применения на практике. Также отсутствует возможность интеграции с картографическими сервисами и серверами данных о метеонаблюдениях и погоде для уточнения результатов расчета по комплектованию МТА. В этой связи разработка онлайн-приложения и приложения для мобильных устройств для комплектования МТА с интеграцией с серверами погоды и картографическими сервисами является актуальной задачей.

Выводы

Проведенный аналитический обзор методов определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин и программных средств для комплектования МТА позволил сделать следующие выводы.

1. Лабораторные исследования по сравнению с полевыми опытами позволяют получить данные о тяговом сопротивлении рабочих органов вне зависимости от метеорологических условий и с наименьшими затратами труда и денежных средств, однако с некоторым отклонением от данных, полученных в реальных полевых условиях;

2. Применяемые в настоящее время программные продукты являются десктопными приложениями, что существенно ограничивает возможность их применения на практике. Также отсутствует возможность интеграции с картографическими сервисами для уточнения результатов расчета по комплектованию МТА.

Список использованных источников

1. Ленский, А. В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства / А. В. Ленский. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. – 377 с.
2. Universal equipment for determining traction resistance of working bodies and their combinations designed for soil treatment / Maxim P. Erzamaev [et al.] / BIO Web of Conferences 17, 00010. – 2020.

3. Ерзамаев, М. П. Повышение эффективности вспашки разработкой и применением способа ярусной обработки почвы и комбинированного плуга : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / М. П. Ерзамаев ; ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА». – Пенза, 2012. – 18 с.
4. Смирнов, М. П. Способ и устройство для измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов / М. П. Смирнов, П. А. Смирнов, Е. П. Алексеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2012. – № 1 (87). – С. 96–100.
5. Шабанов, М. Л. Изучение силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием тензометрических установок / М. Л. Шабанов, М. Н. Лысач, А. А. Шкильный // Молодой ученый : ежемес. науч. журн. – 2014. – № 6 (65). – С. 271–274.
6. Results of experiments to determine the traction resistance of a disk working body / R. Sakhapov [et al.] // Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad : International Scientific and Practical Conference (DAIC 2020), Yekaterinburg, October, 15–16, 2020. – Yekaterinburg, 2020. – Vol. 222. – doi:10.1051/e3sconf/202022203006
7. Impact of Agricultural Traffic and Tillage Technologies on the Properties of Soil / I. Tenu [et al.] // Resource Management for Sustainable Agriculture / University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. – Iasi, Romania, 2012. – doi:10.5772/47746
8. Grisso, Robert. Spreadsheet for Matching Tractors and Implements / Robert Grisso, John Perumpral, Frank Zoz / An ASABE Meeting Presentation. – Paper Number: 061085.
9. John, O. Awulu efficient matching of tillage implements with tractors using a computer program / O. John // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – ISSN (Online): 2319-1473. – 2001. – Vol. 4, iss. 6.
10. Omer, A. Abdalla Decision support system for matching tractor power and implement size in irrigated farming of Sudan / A. Omer // International Educational Applied Scientific Research Journal. – ISSN (Online): 2456-5040. – 2016. – Vol. 1, iss. 2.
11. Development of Decision Support Software for Matching Tractor Implement System Used on Iranian Farms / R. Loghmanpourzarini [et al.] // American Journal of Engineering Research. – ISSN 2320-0936. – 2013. – Vol. 2, iss. 7. – P. 86–98.
12. Ishola, T. A. An object-oriented program for matching tractors and implements / T. A. Ishola, A. O. Ogunlela, M. S. Abubakar // International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. – 2010. – Vol. 10, no. 2. – P. 1–10.