

**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

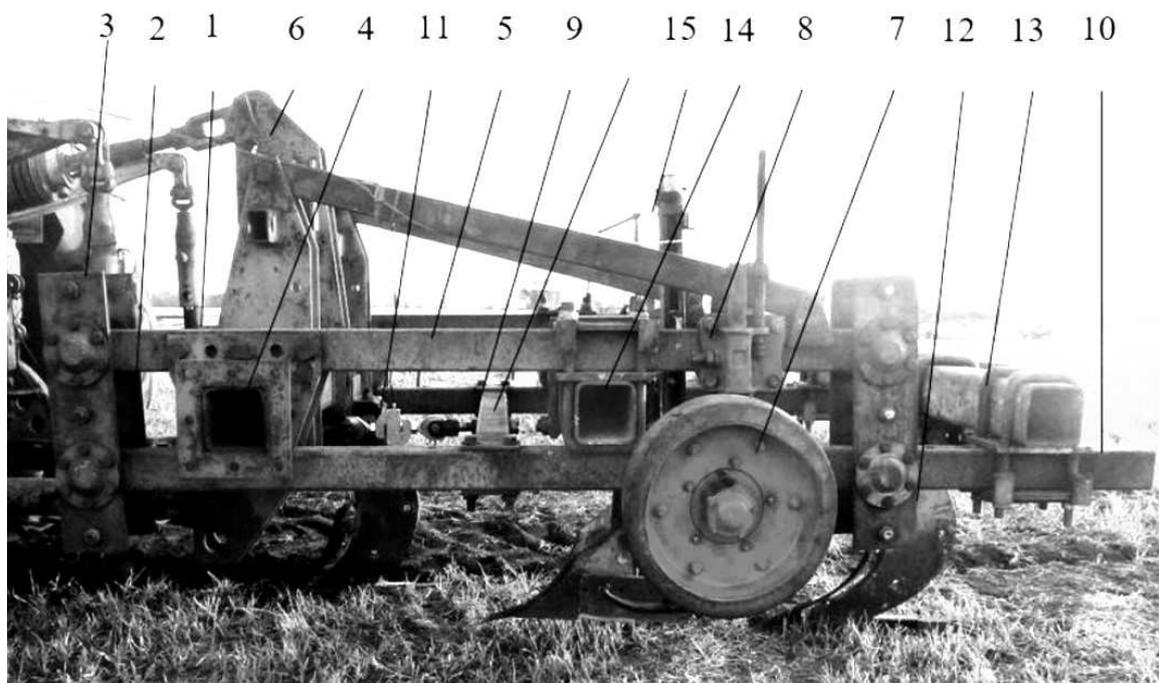


Рис. 1. Тензометрический измерительный комплекс [2]: 1 – рама; 2 – подвижная рамка; 3 – подшипниковый узел; 4 – поперечная балка; 5 – продольная балка; 6 – механизм крепления; 7 – колесо опорное; 8 – механизм регулирования глубины обработки; 9, 10 – поперечная и продольная дополнительные балки; 11 –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

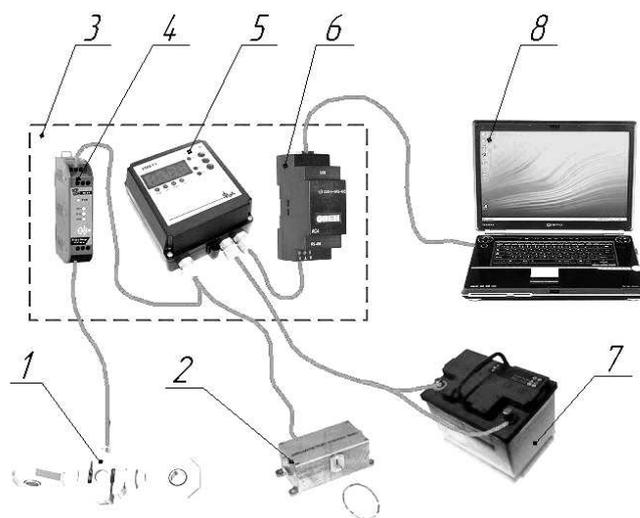


Рис. 2. Информационно-измерительная система [3]:  
 1 – тензорезистивный S-образный датчик сжатия-растяжения;  
 2 – датчик линейных перемещений; 3 – аналогово-цифровой преобразователь;  
 4 – нормализатор сигнала тензодатчика; 5 – измеритель сигнала;  
 6 – интерфейсный преобразователь; 7 – аккумуляторная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

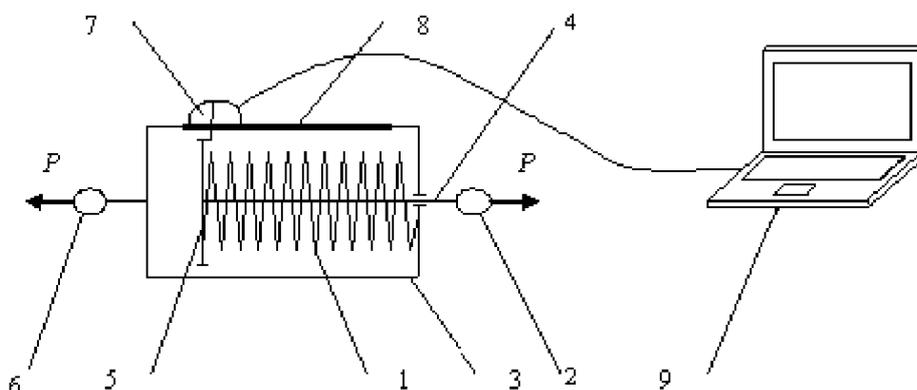


Рис. 4. Измерительный комплекс [4]: 1 – винтовая пружина; 2, 6 – серьги; 3 – корпус прибора; 4 – шток; 5 – подвижная опорная шайба; 7 – контроллер; 8 – дорожка; 9 – компьютер

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.

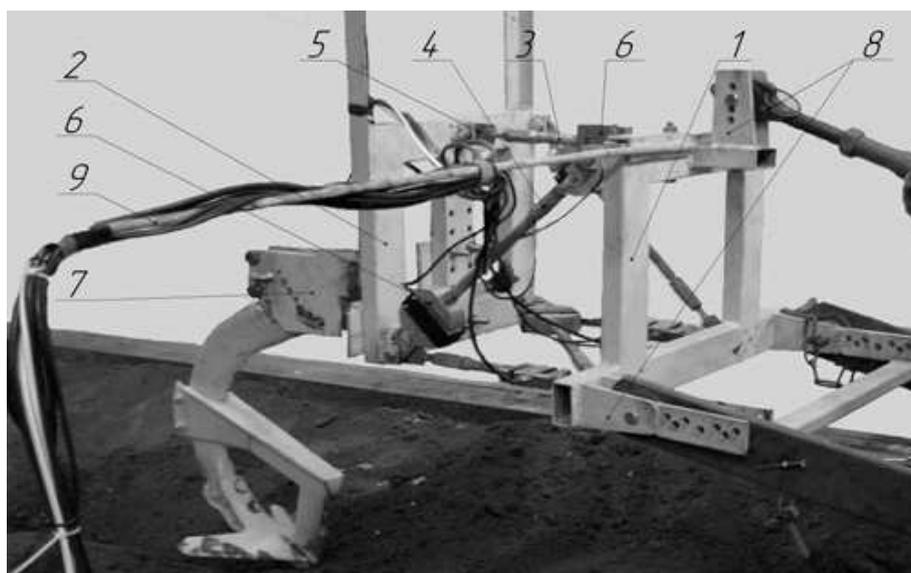


Рис. 5. Установка для пространственного тензометрирования в лабораторных условиях [5]:  
1, 2 – рамки; 3 – параллельные тяги; 4 – раскосы; 5 – шаровые шарниры; 6 – тензометрические звенья;  
7 – механизм регулирования угла установки рабочего органа; 8 – навеска; 9 – кабель

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
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	Given Implements										
38	39	40	41	42	Sizing Implements										
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202
203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218
219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266
267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298
299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314
315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346
347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362
363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394
395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426
427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442
443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458
459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474
475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506
507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538
539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554
555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586
587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602
603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618
619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634
635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682
683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698
699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714
715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730
731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746
747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762
763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778
779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794
795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826
827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842
843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858
859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874
875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890
891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906
907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922
923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938
939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970
971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986
987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002
1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018
1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034
1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050
1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066
1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082
1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114
1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130
1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146
1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162
1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178
1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194
1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210
1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226
1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242
1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258
1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	12

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,

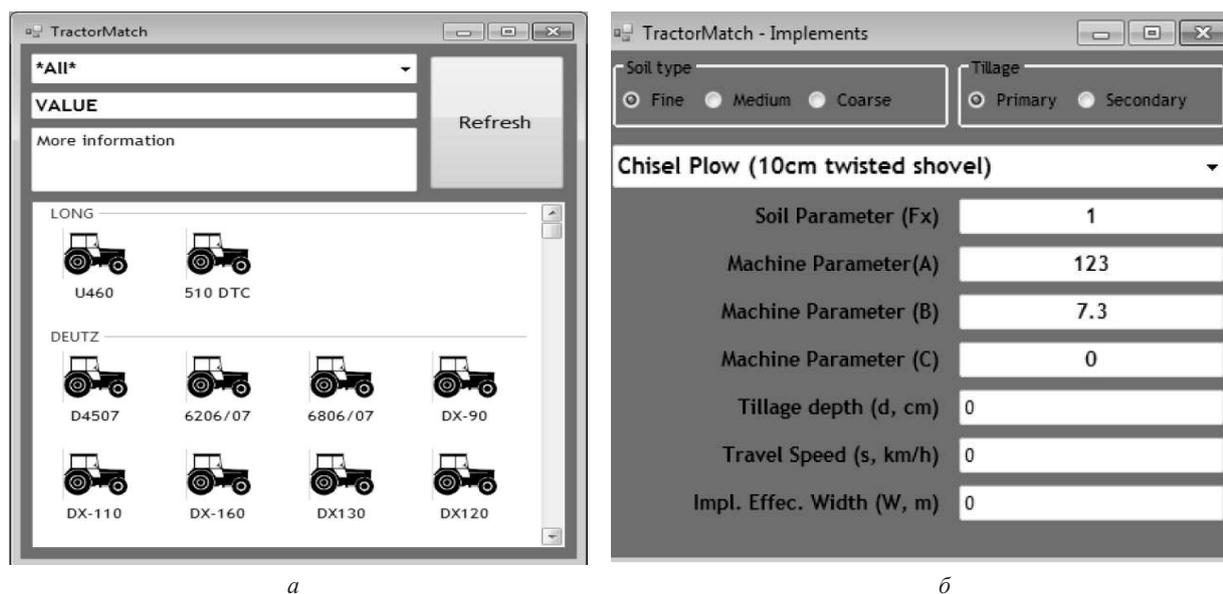


Рис. 9. Приложение для проверки правильности комплектования МТА. База данных: а – тракторов; б – сельскохозяйственных машин

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

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

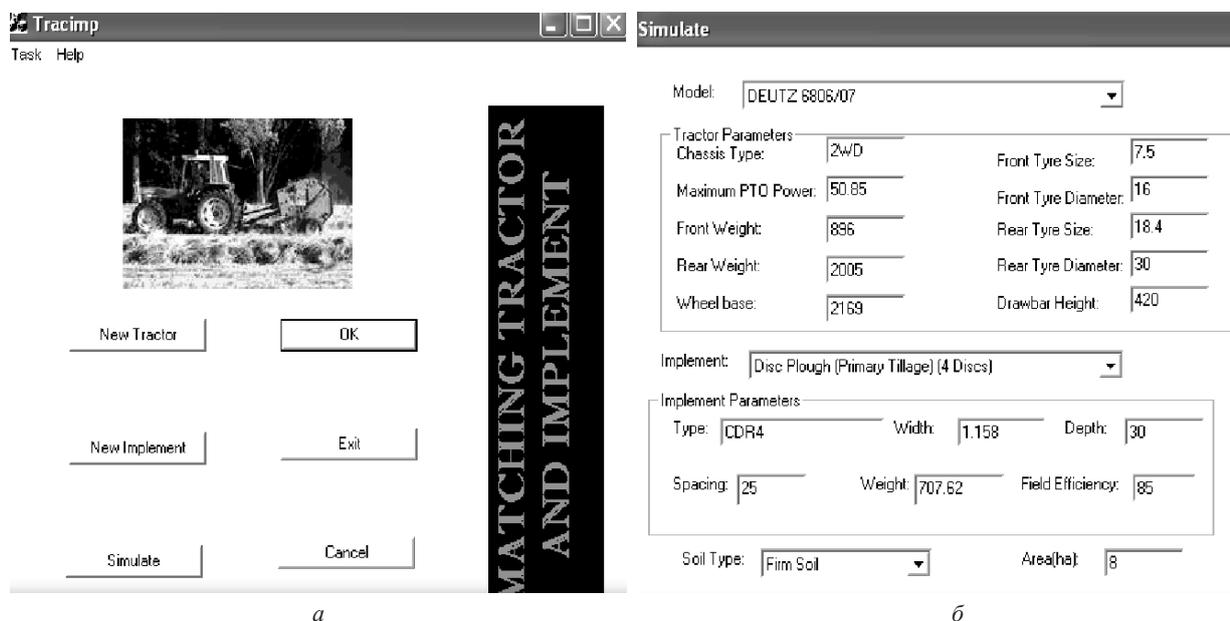


Рис. 11. Программа для комплектования машинно-тракторных агрегатов Tracimp [12]:  
*a* – окно ввода исходных данных; *б* – окно ввода параметров агрегата

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.