

УДК 629.113.004.67

Эксплуатационные свойства автопоездов -тяжеловозов

Карагодин Виктор Иванович¹,
профессор кафедры, доктор технических наук, профессор bik250248@yandex.ru
Шилимов Михаил Викторович²,
доцент кафедры, кандидат технических наук mshilimov@mail.ru
Кубышев Владимир Леонидович³,
заместитель главного инженера Kubyshev@bk.ru

¹ Кафедра «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин»,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

² Кафедра «Автомобильные перевозки», Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

³ Департамент проектной логистики, ПАО «Дальневосточное Морское Пароходство»,
Москва, Россия

Аннотация. Для перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ) используются автопоезда с модульными прицепами и полуприцепами. Задача обоснования комплекса эксплуатационных свойств и типоразмерного ряда подвижного состава автомобильного транспорта должна решаться на основе накопленного опыта выполненных перевозок КТГ. Статья использует экспериментальный материал по 233 единицам КТГ которые внесены в базу данных программы, равно как и технические характеристики подвижного состава, в том числе и прототипов для импортозамещения. На основании этих данных производится расчет эксплуатационных характеристик автопоездов-тяжеловозов при перевозке КТГ, рассматриваются методы достижения гарантированной безопасности при их эксплуатации.

Ключевые слова: крупногабаритные и тяжеловесные грузы, автопоезда, модульные прицепы, импортозамещение, эксплуатационные свойства

Heavy lift trailer exploitation properties

Karagodin Viktor Ivanovich¹,
Doctor of Technical Sciences, Professor bik250248@yandex.ru
Shilimov Mikhail Viktorovich²,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor mshilimov@mail.ru
Kubyshev Vladimir Leonidovich³,
Deputy Chief Engineer Kubyshev@bk.ru

¹ Department of "Production and repair of automobiles and road vehicles",
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

² Department of "Automobile transportation", Moscow Automobile and Road
Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

³ Department of Project Logistics, JSC "Far-Eastern Shipping Company", Moscow, Russia

Abstract. Road trains with modular trailers and semi-trailers are used for transportation of heavy lift and overdimensional cargoes. The task of substantiating the complex of opera-

tional properties and the typical range of rolling stock of motor transport should be solved on the basis of the accumulated experience of HL&ODC transportations. The article relies on experimental material of 233 HL&ODC cargoes, which are included into database of the program, together with technical characteristics of rolling stock, inclusive prototypes for import replacement. Calculation of exploitation properties of HL road trailers is conducted basing on these data. Methods of achievement of guaranteed safety during exploitation are considered.

Keywords: heavy lift and overdimensional cargoes, road trains, modular trailers, exploitation properties, import replacement

Введение. Современная промышленность выдвигает растущие требования к доставке крупногабаритных и тяжеловесных грузов, а постепенное совершенствование подвижного состава автомобильного транспорта позволяет реализовывать эти перевозки [1].

Однако, в отличие от ж/д транспорта, на автомобильном не разработан системный подход, позволяющий выполнять перевозки КТГ и техническое обслуживание ПС в индустриальном масштабе. В целом весь опыт накапливается и реализуется силами отдельных коммерческих предприятий, каждое из которых добивается высоких результатов ценой проб и ошибок, сталкиваясь с новыми вызовами [2].

Политика односторонних санкций со стороны западных стран сказывается на поставке новой техники и запчастей. Износ и списание прицепной техники еще имеет какой-то запас по времени в целом по отрасли, китайские и российские производители имеют компетенции и начинают закрывать потребность, догоняя передовые западные образцы техники.

Но вот износ парка тягачей в ближайшие 3–4 года достигнет критической отметки. Уже сейчас рост стоимости тягачей, закупаемых через 2х поставщиков, через 3 или 4 границы, приводит порой к непосильным затратам для АТП, а программы кредитования/лизинга в данных схемах практически не работают.

Состояние вопроса. Тягачи. Традиционно рынок как в России, так и за рубежом (Турция, Египет) насыщен тягачами МАН и Мерседес-Бенц. Эта техника является нишевым товаром, выпускается крайне малыми сериями. В отличие от магистральных тягачей, китайские производители до сих пор не освоили массовое производство аналогов.

В СССР традиционно тематикой многоосных тяжелых тягачей занимались в Минске, на МАЗе, и частично производство было передано в Курган, на КЗКТ. Впоследствии производство в Минске выделилось в отдельное предприятие МЗКТ, а вот в Кургане завод прекратил существование [3].

Тягачи на базе МАЗ-543 (Ураган) и МАЗ-537 хорошо зарекомендовали себя в общесоюзном «Спецтяжавтотрансе», где совместно с чешскими Татрами и немецкими Фаунами закрывали потребность бСССР в перевозках всей номенклатуры КТГ большой страны. В Минске и сейчас ведется серийное производство глубоко модернизированных конверсионных и военных

версий тягачей, что несомненно выводит МЗКТ в лидеры программы импортозамещения.

На КамАЗе и УралАЗе с одной стороны освоено широкое производство тягачей повышенной проходимости, а с другой стороны — самосвалов. Это свидетельствует о том, что при наличии экономической заинтересованности, заводы имеют технические возможности по производству необходимой техники.

Прицепная техника. При правильной эксплуатации ресурс прицепной техники существенно превышает ресурс тягачей. В СССР задача производства модульных прицепов решалась на ЧМЗАПе, но отставание в качестве продукции и эксплуатационных свойствах, была закрыта путем импорта из-за рубежа [4, 5]. Так, например, для реализации крупномасштабного строительства в каспийском регионе в конце 80-х годов, астраханский филиал «Спецтяжавтотранса» (впоследствии «Атлант») был полностью укомплектован прицепами «Николя» французского производства.

Политика слияния и поглощения привела к тому, что из дюжины уникальных зарубежных предприятий остались лишь два интернациональных конгломерата. Несомненно, это благоприятно сказалось на эксплуатации, так как продукция этих двух конгломератов максимально унифицирована и взаимозаменяема. Но этим воспользовались китайские производители, наладив широкое производство вначале запчастей, а затем и полнокомплектной прицепной техники. Конструктивные параметры рам, электрические и гидравлические системы полностью совместимы как с современными образцами западной техники, так и со снятыми с производства.

Эксплуатационные свойства автопоездов-тяжеловозов. Тематикой создания подвижного состава для размещения на нем комплексов различных вооружений широко занимались, в т. ч. и на кафедре КМ МАДИ.

Тематика эксплуатации гражданских магистральных автопоездов также достаточно хорошо проработана в работах Фаробина Я.И. и др. на кафедрах АТ и ЭАТ.

Но уже в начале 2000х, экономисты начали отмечать коренное различие в подходах при реализации коммерческой деятельности предприятия. Так, например, Имаметдинов Р.И. указывает на полное несоответствие бизнес-планов построения коммерческой деятельности предприятий автомобильного транспорта, использующих магистральные автопоезда для АТП, работающих в сфере перевозки КТГ.

В современных реалиях АТП приходится учитывать и сложности международной обстановки, и малую изученность проблем конструирования и эксплуатации ПС. Попытки решать такую многофакторную задачу на «страх и риск» отдельного предприятия могут привести к тяжелым экономическим последствиям либо, что еще хуже, возникновению аварийных ситуаций при перевозке КТГ.

Для оценки эксплуатационных свойств автопоездов-тяжеловозов написана программа для ЭВМ, которая производит расчет приспособленности существующего и перспективного подвижного состава к выполнению перевозок КТГ.

Описание программы для ЭВМ. На главном экране приведена таблица (рис. 1), в которую сведены данные по 233 единицам КТГ, морская перевозка которых была выполнена в 2024–2025 гг. компанией ФЕСКО. Интересно отметить, что к борту судна в порту погрузки и от борта судна перевозка, зачастую выполнялась различными типами ПС АТ ввиду особенностей регулирования в России, Турции, Китае. Пользователь имеет возможность выбрать любой из этих 233 грузов и рассмотреть вариант его перевозки на том или аналогичном ПС АТ, из числа имеющихся в парке.

На следующем экране, рис. 2, приведены существующие и перспективные типы тягачей, типы модульных прицепов, широко используемых в России в настоящее время.

ID	DWGName	TagNum	Quantity	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	V11
F.001	3032	H-12231-BM-1	1	17	9715	4664	2279	0,5	0	1150	4	1568	3115	1
F.002	3055	H-12231-RS-11	1	38,34251	21260	2440	2523	0	20	1300	5	2000	4000	0
F.003	3021	V-72801	1	92,85	20164	3644	6459	19	0	3074	2	8797	13600	1
F.004	3029	V-12330	1	188,65	16216	5739	6098	12	0	2800	2	4881	9800	1
F.005		H-12231-RS-2	1	18,84985	17000	3850	2819	0	0	1200	6	2000	2020	0
F.006	3032	E-12337	1	33	14738	1778	2778	78	0	1490	4	898	2850	1
F.007	3033	E-12375A	1	212,6	16237	3135	2355	499,5	0	2850	4	727	2800	1
F.008	3034	E-12375B	1	212,6	16237	3135	2359	499,5	0	2850	4	727	2800	1
F.009	3042	K-12371	1	27,12	3900	3300	2259	0	0	1200	3	36	1100	0
F.010	3044	K-12371	1	52,9	6110	5878	2859	0	120	1800	2	1840	2700	0
F.011	3045	K-12371	1	35,66	11910	5070	3700	0	0	1970	4	2325	2650	0
F.012	3046	K-12371	1	67	6120	5850	4450	175	0	2225	6	338	1000	0
F.013	3047	H-12231-RU-1	1	28	19144	4098	2394	2	0,5	1197	5	0	3600	0
F.014	3048	H-12231-RU-2	1	28	19144	4098	2394	2	0,5	1197	5	0	3600	0
F.015	3049	H-12231-OM-1	1	75	11500	5200	3300	0	0	1644	4	1568	3115	0
F.016	3050	H-12231-OM-2	1	88	11300	5200	2730	0	0	1148	4	1900	3600	0
F.017	3051	H-12231-OM-3	1	83	11500	5200	3650	0	0	1678	4	1568	3115	0
F.018	3053	H-12231-RS-1	1	33,1	21170	4300	2140	0	0	1000	5	2500	3055	0
F.019	3056	H-12231-RS-5	1	18,786	9970	4820	2239	0	364	1200	5	0	1959	0
F.020	3057	H-12231-OM-1	1	27,5	15988	3415	3757	230,5	0,5	2684	2	7885	15280	0
F.021	3058	H-12232-RU-1	1	33	19171	4098	2954	0	0	1477	7	0	2565	1
F.022	3059	H-12232-RU-2	1	33	19171	4098	2954	0	0	1477	7	0	2565	0
F.023	3060	H-12232-OM-1	1	88,25	13800	5200	3300	0	0	1644	4	1800	3600	0
F.024	3061	H-12232-OM-2	1	66,7	12000	5200	2750	0	0	1148	4	1900	3600	0
F.025	3062		1	94,3	12500	5200	3699	0	0	1676	4	1800	3600	0
F.026	3063	H-12232-BM-1	1	18	11110	4664	2279	0	0	1150	4	1900	3600	0

Рис. 1. Главный экран разработанной программы

ID	TractorModel	WheelFormula	TractorType	PayloadType	PayloadTN	PowerKW	TorqueNM	TorqueRPM	AxleLoad1	AxleLoad2	AxleLoad3	AxleLoad4	HydraulicClutch	GearBoxesRatio
1	KAMA-544CS-S...	4x2	Тягач сцепля...	на ССУ	10,3	309	0	0	7,1	11,5	0	0	0	0
2	KAMA-5480T-S...	4x2	Тягач сцепля...	на ССУ	10,35	325	2400	1400	8	11,5	0	0	0	0
3	KAMA-6430CS-S...	6x4	Тягач сцепля...	на ССУ	15,45	309	0	7	9,5	9,5	0	0	0	0
4	KAMA-6511E-S...	6x4	Тягач сцепля...	на ССУ	15,3	215	1987	1300	5,65	8,9	8,9	0	0	9,48
5	KAMA-6430CS-B...	6x4	Тягач сцепля...	на ССУ	22,7	309	1985	1300	7,3	13	13	0	0	13,8
6	KAMA-6521S-S...	6x4	Тягач сцепля...	на ССУ	22	294	1766	1300	7,5	12,93	12,93	0	0	13,8
7	URAL-63754E-G...	6x6	Тягач сцепля...	на ССУ	21,3	309	1985	1300	8	13	13	0	0	0
8	KAMA-6520T-S...	6x4	Самосвал	Полн.ЛП	32,57	267	1682	1400	8,5	8,5	16	16	0	13,8
9	KAMA-6516CS-S...	6x4	Самосвал	Полн.ЛП	29,4	310	2000	1300	9	13,4	13,4	0	0	13,8
10	MAZ-741100	6x8	Тягач сцепля...	на ССУ	27	294	1715	1300	9,3	9,3	12,6	12,6	0	10,08
11	MAZ-741105 (...)	6x8	Тягач сцепля...	на ССУ	17,9	386	2015	1400	9,5	10,45	10,45	1	0	6,016
12	MAZ-741331	6x8	Тягач сцепля...	на ССУ	28	367	0	0	12,4	12,4	13	13	0	0
13	KAMA-6591T-S...	6x4	Самосвал	Полн.ЛП	30,7	325	2400	1400	9	0	16	16	0	13,8

ID	TrailerModel	ModuleWidthMM	TractorCoupleMM	DistanceBetween	LoadingHeightM	SuspensionStroke	MaxAxleLoadTN	MinAxleLoadTN	TireDesignation	TirePerWheel	WheelPerAxle	AxleLineWeight	SteeringHeight
1	THV-SL-S	3080	1820	1500	1100	300	15,6	0	245/70 R 17,5	1	4	2,4	53
2	THV-SL-L	3080	1800	1500	1175	300	26,1	0	215/75 R 17,5	2	4	2,70	53
3	THV-SL	3080	1800	1500	1175	300	40	18,4	215/75 R 17,5	2	4	3,55	53
4	THV-SL-S	3080	1820	1500	1250	250	23	0	285/70 R 19,5	1	4	2,55	53
5	THV-SL1800	3080	1800	1500	1175	300	45	0	215/75 R 17,5	2	4	3,55	53
6	InterCombi ES	3080	1780	1500	1100	225	36	18	215/75 R 17,5	2	4	2,25	60
7	InterCombi XL	3080	0	1500	1190	325	21,9	18	245/70 R 17,5	1	4	2,48	60
8	FlatCombi M1	2750	0	1500	1038	250	23	12	285/65 R 17,5	2	4	2,93	60
9	EuroCombi L6	2430	0	1500	1260	300	29	12	285/70 R 19,5	1	4	2,88	60

Рис. 2. Таблицы типов тягачей и модульных прицепов

Далее, при нажатии на клавишу «Старт» программа выводит в окно результаты расчета (рис. 3).

В первую очередь — акцент сделан на свойствах, влияющих на безопасность перевозки: Это поперечная устойчивость и маневренность.

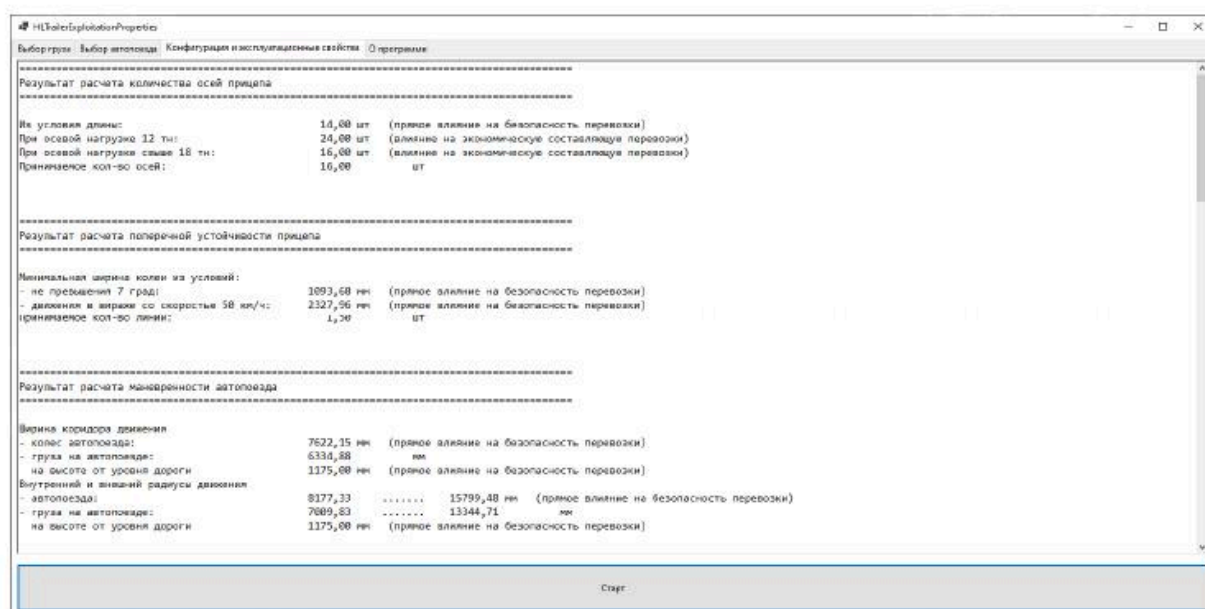


Рис. 3. Результат расчета

Традиционно, поперечную устойчивость в западной литературе оценивают по углу между вертикалью и осью, соединяющую точку опрокидывания (центр оси — применительно к модульным прицепах).

А по аналогии с ж/д добавлен расчет и для скоростного движения в установившейся кривой автомагистрали с радиусом 600 м и возвышением виража 60 мм, в соотв. с СП 34.13330.2012. Минимальная скорость принята равной 40–50 км/ч в рамках ограничений ПДД.

Таким образом, из приведенного примера видно, что груз с индексом F.007 может быть перевезен на прицепе в 2 файла (1 линия) по автомагистрали лишь с нарушением ПДД, что принципиально создает угрозу ДТП. А вот для движения по территории предприятия, где большие скорости недопустимы и не требуются, безопасность перевозки в рамках западной методики оценки устойчивости выполняется.

В программе реализован алгоритм расчета количества осей прицепа где особый акцент сделан на аварийной безопасности. Так, при длине прицепа, меньшей чем длина КТГ, груз будет выступать за пределы автопоезда сзади. И при попутном столкновении транспортных средств возникает риск смертельной травмы невнимательного водителя и критического повреждения перевозимого КТГ.

С этой целью длина модульного прицепа рассчитывается (с учетом продольного смещения ЦТ КТГ) таким образом, чтобы не допускать заднего свеса. При наступлении ДТП, кинетическая энергия будет рассеиваться специ-

ально спроектированными для этих целей в рамках национальных стандартов безопасности конструктивными элементами ТС, участвующих в ДТП.

Расчет тягово-скоростных характеристик влияет на безопасность лишь косвенно, но здесь ему необходимо уделить отдельное внимание. Во-первых, ранее в столь полном объеме он не выполнялся, во-вторых он важен для оценки перспективных конфигураций автопоезда с учетом импортозамещаемых тягачей.

Расчет выполняется для двух режимов:

Тяжелый — трогание в подъем на грунтовой дороге и установившееся движение со скоростью 2,5 км/ч на пониженной передаче.

Дорожный — установившееся движение с минимально допустимой скоростью по автомагистрали с асфальто-бетонным покрытием на руководящем подъеме для дорог 1-й категории согласно СП.

В расчете максимальная сила тяги сравнивается с силой сцепления колес с дорогой, и в случае возникновения риска буксования, ограничивается последней, на экран выдается предупреждение.

В качестве оценки вводятся такие безразмерные параметры как фактор тяги и фактор мощности. Практическая интерпретация выглядит следующим образом:

В приведенном расчете фактор тяги для тяжелых условий движения составляет 2,41. Это происходит, в том числе, и вследствие превышения силы тяги тягача над силой сцепления колес с дорогой. Единственный в данном случае вариант реализации перевозки — это увеличение количества тягачей до 3 штук.

Фактор тяги в расчете для дорожных условий при движении на прямой передаче составляет 13,62. Однако, ставить 14 тягачей в «упряжь» для разгона и движения со скоростями до 50 км/ч, конечно же, никто не будет. Здесь фактор тяги необходимо соотносить с передаточными числами КПП и делителя. Но так как тягач МЗКТ-740100 имеет передаточное число меньше, чем фактор тяги, то увы, автопоезд с 1 тягачом не преодолеет подъем.

Предположим, в/у тягач имел бы передаточное число КПП и делителей, превышающее фактор тяги. И здесь решающую роль будет уже играть фактор мощности.

Ввиду того, что расчеты физических величин в том числе и в программе, выполняются в системе СИ, а приборы ТС традиционно тарированы в км/ч и об/мин фактор мощности безразмерно показывает отношение регламентированной скорости (в данном случае до 50 км/ч) к фактически реализуемой с учетом мощности двигателя конкретного тягача. Т. е. $50 / 10,9 = 4,6$ км/ч. Очевидно, что для увеличения скорости движения для данной конфигурации автопоезда требуется большая мощность двигателя.

В академической литературе всегда рассматриваются особенности торможения автопоездов. При перевозке КТГ масса прицепа, а следовательно, и тормозные силы всегда превышают массу и тормозные силы тягача. Исключение составляют лишь подъемы, тангенс которых равен или превышает

коэффициент сцепления на руководящем уклоне автодороги. Эта величина составляет 0,17...0,3, что существенно превышает нормативы, указанные в СП для руководящих уклонов автомобильных дорог.

Таким образом, полное торможение и удержание груженого прицепа в неподвижном состоянии, а также отсутствие риска складывания и заноса при движении на спуске гарантированно реализуются лишь на дорогах, выполненных в соответствии с требованиями СП и в установившихся режимах. Неустановившиеся режимы в академической литературе практически нигде подробно не рассмотрены.

В заключении производится расчет поперечной силы и изгибающих нагрузок в хребтовой раме полуприцепа с указанием критических сечений и максимальных значений. Этот расчет является ключевым для обеспечения длительной, аккуратной эксплуатации, как дорабатывающей свой ресурс западной техники, так и вновь поступающей китайской.

Аналогичное ПО, реализующее прочностной расчет, как правило, закупается АТП отдельно, у западных производителей прицепной техники, расценки на него весьма высоки, а в силу действия санкций недружественных стран, поставки ПО, как и техники, невозможны.

Выводы. В результате проделанной работы:

- собрана, структурирована и внесена в базу данных информация о серийно выпускаемом ПС АТ с целью определения направления импортозамещения в современных реалиях многополярного мира;
- написан код программы и графический интерфейс пользователя для оценки эксплуатационных свойств располагаемой и импортозамещаемой техники на примере собранной ранее информации о 233 КТГ, фактически перевезенных в 2024–2025 годах;
- замещен функционал фирменного ПО импортных изготовителей ПС прицепной техники в части расчета конфигурации автопоездов и допускаемых нагрузок на хребтовую раму;
- созданы предпосылки для реализации гарантированного безопасного подхода к индустриальной перевозке КТГ по сети автомобильных дорог.

Список источников

- [1] Олещенко Е.М., Горев А.Э. *Основы грузоведения*. Москва, Академия, 2005, 288 с.
- [2] Малышенко Н.А. *Грузоведение. Транспортные характеристики отдельных категорий грузов*. Владивосток, Дальрыбвтуз, 2011, 206 с.
- [3] Вахламов В.К. *Автомобили: эксплуатационные свойства*. Москва, Академия, 2006, 240 с.
- [4] Фаробин Я.Е., Якобашвили А.М., Иванов А.М. и др. *Трехзвенные автопоезда*. Москва, Машиностроение, 1993, 223 с.
- [5] Троицкая Н.А., Шилимов М.В. *Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных видов грузов*. Москва, КноРус, 2010, 232 с.