

УДК 656.13

UDC 656.13

**ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНОВКИ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ВЫВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ**

**STUDY OF COMPOSITIONS TRANSPORT
SYSTEM FOR TRANSPORTING LONG CARGO**

Грязин Владимир Альбертович
к.т.н.

Gryazin Vladimir Albertovich
Cand.Tech.Sci.

Ласточкин Денис Михайлович
к.т.н.

Lastochkin Denis Mikhailovich
Cand.Tech.Sci.

Коротков Петр Анатольевич
к.э.н.
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Korotkov Petr Anatolyevich
Cand.Econ.Sci.
*Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola,
Russia*

В работе представлен оригинальный материал исследования, направленного на определение влияния почвенных условий на показатели проходимости транспортной системы. Полученные данные позволяют определить границы эффективности изменения компоновки транспортной системы, предназначенной для перевозки длинномерных грузов

The article presents the original study material designed to determine the influence of soil properties on the cross rate of the transport system. These data allow us to determine the efficiency changes compositions transport system for transporting long cargo

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПОНОВКА
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ,
ДЛИННОМЕРНЫЕ ГРУЗЫ, ПРОХОДИМОСТЬ

Keywords: MATHEMATICAL MODELING,
COMPOSITION, TRANSPORT SYSTEM, LONG
CARGO, CROSS RATE

Введение

При выполнении производственных работ, связанных с перемещением длинномерных грузов в условиях бездорожья, зачастую используют транспортные системы на базе гусеничной техники. Применение гусеничных машин обосновано высокими тягово-сцепными свойствами, обеспечивающими высокие показатели проходимости независимо от природно-климатических условий. При этом, для обеспечения сохранности самого длинномерного груза и/или несущего грунта (дороги) используются дополнительные прицепные устройства: прицепы-ропуски, полуприцепы, тралы и пр. При этом, проходимость транспортной системы по различным несущим поверхностям может значительно изменяться в зависимости от распределение груза между базовой машиной и прицепным устройством.

Цель исследования: определение конструктивно-эксплуатационных ограничений накладываемых на компоновку транспортной системы для вывозки длинномерных грузов по критерию проходимости.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы включают:

- составление алгоритма формирования эффективной компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов по критерию проходимости;
- разработка математической модели определения тяговых характеристик транспортной системы с переменной компоновкой;
- формализация показателей, определяющих проходимость транспортной системы для вывозки длинномерных грузов;
- анализ результатов моделирования компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов;
- формирование комплекта рекомендаций.

Методы, применяемые для решения поставленных задач:

- методы теории решения научных и изобретательских задач для формирования компоновки транспортной системы по заданным ограничениям и требованиям [1];
- метод дискретно-событийного моделирования тяговых характеристик транспортной системы с переменной компоновкой [2];
- методы классической механики при формировании расчетной схемы сил и моментов, действующих на транспортную систему с переменной компоновкой при движении с длинномерным грузом [3];
- методы математического планирования научных исследований при разработке плана вычислительных экспериментов на разработанной математической модели определения тяговых характеристик транспортной системы с переменной компоновкой позволит получить более полные, достоверные и точные данные для оценки количественных взаимосвязей между входными и выходными параметрами исследуемой системы [4];

– метод прямого перебора.

В качестве основных допущений, применяемых в процесс формирования обобщенной математической модели используем следующие:

1) несущая поверхность является однородной с постоянными характеристиками;

2) изменение компоновки транспортной системы выполняется с учетом конструктивных особенностей базовой машины и прицепного устройства;

3) длинномерный груз является абсолютно жесткой конструкцией расположенной без возможности сдвига/смещения относительно транспортной системы в процессе вывозки;

4) деформацию несущей поверхности и движителей транспортной системы считаем незначительной и не влияющей на результаты моделирования;

5) влияние внешних возмущающих факторов рассматриваем как постоянное с установившимися параметрами.

Для выполнения расчетов примем в качестве базовой машины: машина трелевочная бесчokerная ЛП-18К с максимально допустимой полезной нагрузкой [5], а в качестве прицепного устройства – прицеп-ропуск ТавМЗ 802К-010/802Р-010 [6].

Алгоритм формирования эффективной компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов по критерию проходимости

А) Формирование исходных данных, включая: технические характеристики базовой машины и прицепного устройства; массово-геометрические параметры груза; параметры характеризующих несущую поверхность;

Б) Расчет сил сопротивления движению базовой машины для различных типов несущей поверхности;

В) Расчет сил сопротивления движению прицепного устройства для различных типов несущей поверхности;

Г) Расчет сил сцепного веса транспортной системы для вывозки длинномерных грузов;

Д) Многовариантная оценка возможных изменений компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов по критерию проходимости;

Е) Определение ограничений по распределению веса вывозимого длинномерного груза для различных типов несущей поверхности по критерию проходимости;

Ж) Выводы и рекомендации.

Математическое моделирование

Основой для формирования математической модели является схема сил и моментов, действующих на транспортную систему с переменной компоновкой при движении с длинномерным грузом, см. рисунок 1.

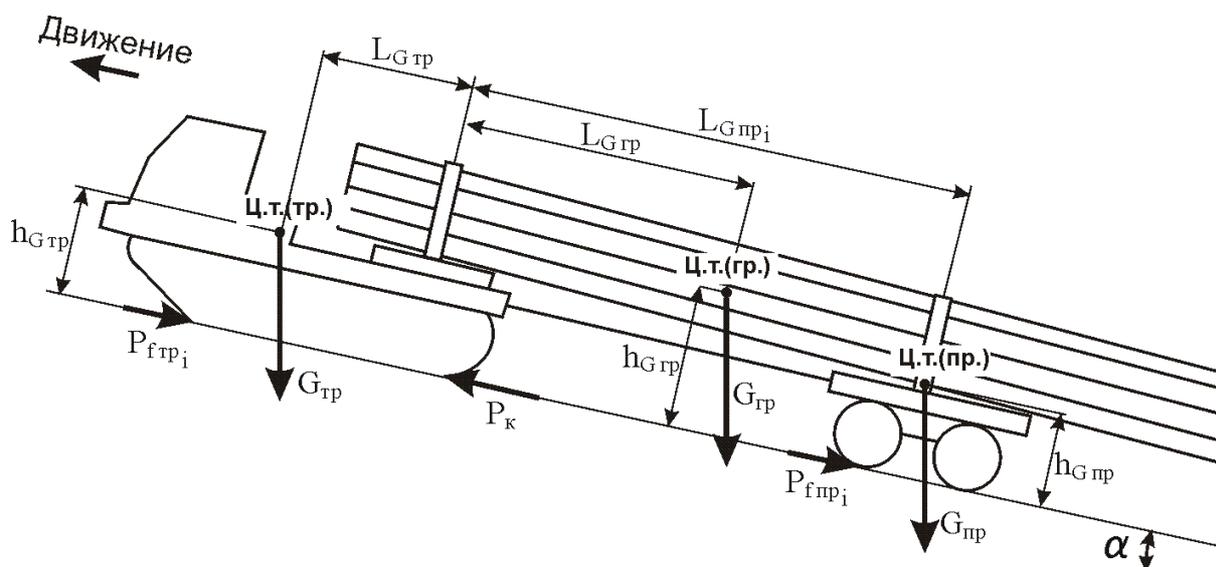


Рисунок 1 – Расчетная схема транспортной системы с переменной компоновкой при движении с длинномерным грузом

Исходные данные для расчета: G_{mp} – вес базовой машины; G_{np} – вес прицепа; G_{gp} – вес груза; f_{mpj} – коэффициент сопротивления движения базовой машины, характерный для j -го ряда изменяемых параметров, зависящих от свойств несущей поверхности [7]; f_{npj} – коэффициент сопротивления движения прицепа, характерный для j -го ряда изменяемых параметров, зависящих от свойств несущей поверхности [7]; j_j – коэффициент сцепления ведущего двигателя с несущей поверхностью, характерный для j -го ряда изменяемых параметров, зависящих от свойств несущей поверхности [7]; P_{fmp} – сила сопротивления движению базовой машины; P_{fnp} – сила сопротивления движению прицепа; P_k – касательная сила тяги; координаты центров тяжести базовой машины Ц.т.(тр.), прицепа Ц.т.(пр.) и груза Ц.т.(гр.); α – угол наклона несущей поверхности; i – ряд изменяемых параметров, зависящих от компоновки транспортной системы.

Результаты расчета

Изменение компоновки транспортной системы выполняется варьированием длины дышла прицепа, что приводит к изменению координаты его центра тяжести $L_{G_{np_i}}$ относительно коника базовой машины. Как следствие, изменяются силы сопротивления движению базовой машины P_{fmp} и прицепа P_{fnp} :

$$P_{fmp_i} = f_{mpj} (G_{mp} + m_i G_{gp}) \cos \alpha,$$

$$P_{fnp_i} = f_{npj} (G_{np} + (0,65 - m_i) G_{gp}) \cos \alpha,$$

$$\forall m \in [0; 0,65],$$

где m – коэффициент характеризующий часть веса груза, расположенную на базовой машине. Значение «0» означает, что весь груз располагается на

прицепе, то есть координаты центра тяжести груза совпадают с координатами центра тяжести прицепа:

$$L_{G_{zp}} = L_{G_{np}}.$$

Используя метод прямого перебора для варьирования ряда изменяемых параметров, зависящих от компоновки транспортной системы и ряда изменяемых параметров, зависящих от свойств несущей поверхности, при помощи математической модели выполняем расчеты:

– сил сопротивления движению базовой машины для различных типов несущей поверхности:

$$P_{f_{mp_i}} + (G_{mp} + m_i G_{zp}) \sin a,$$

– сил сопротивления движению прицепного устройства для различных типов несущей поверхности:

$$P_{f_{np_i}} + (G_{np} + (0,65 - m_i) G_{zp}) \sin a,$$

– сил сопротивления движению транспортного средства для различных типов несущей поверхности:

$$P_{conp_i} = P_{f_{mp_i}} + (G_{mp} + m_i G_{zp}) \sin a + P_{f_{np_i}} + (G_{np} + (0,65 - m_i) G_{zp}) \sin a,$$

– сил сцепного веса транспортной системы для вывозки длинномерных грузов:

$$G_{c_{ij}} = (G_{mp} + m_i G_{zp}) j_j \cos a.$$

Выполняются проверочные расчеты:

– достаточности сцепного веса для преодоления сил сопротивления движению транспортной системы:

$$G_{c_{ij}} \geq P_{conp_i},$$

– достаточности касательной силы тяги, развиваемой базовой машиной для преодоления сил сопротивления движению транспортной системы:

$$P_k \geq P_{conp_i}.$$

По результату выполнения проверочных расчетов производится уточнение силы тяги, которую может развить базовая машина с учетом величины сцепного веса. А также рассчитывается разница между развиваемой силой тяги P_k^p и силами сопротивления движению транспортной системы в абсолютном

$$\Delta = P_k^p - P_{сопр\ i}$$

и относительном выражении

$$\Delta\% = (P_k^p - P_{сопр\ i}) / G_{сц\ i\ j} * 100\% .$$

В качестве платформы для выполнения математического моделирования и вычислительного эксперимента используем лицензионный программный продукт Microsoft Excel.

В результате выполненных расчетов были получены и обработаны ряды значений искомых параметров в Microsoft Excel, как показано на рисунке 2.

Исходные данные															
Вес трактора	кН	161,7	ЛП-18К												
Вес прицепа	кН	29,4													
Вес груза	кН	78,4													
Rк	кН	116,1													
Исходные данные															
fтр	fпр	фи	m	Уклон	Gсц	Pf тр	Pf пр	Pi тр	Pi пр	Pсопр	Условие	Rк	Условие		
снег уплотненный	гус+дор			град	рад	кН	кН	кН	кН	кН	Gсц>P сопр кН	Rк	Rк>P сопр		
0,1	0,15	0,6	0	15	0,261799	93,71412	15,61902	11,64327	41,8510396	20,7986985	89,91203	1	116,1		
0,1125	0,175	0,575	0	15	0,261799	89,80937	17,5714	13,58381	41,8510396	20,7986985	93,80495	0	116,1		
0,125	0,2	0,55	0	15	0,261799	85,90461	19,52378	15,52436	41,8510396	20,7986985	97,69787	0	116,1		
0,1375	0,225	0,525	0	15	0,261799	81,99986	21,47615	17,4649	41,8510396	20,7986985	101,5908	0	116,1		
0,15	0,25	0,5	0	15	0,261799	78,0951	23,42853	19,40545	41,8510396	20,7986985	105,4837	0	116,1		

Рисунок 2 – Вид части окна математической модели и вычислительного эксперимента, реализованного в Microsoft Excel

Рассмотрим в качестве примера результаты расчета тяговых характеристик транспортной системы переменной компоновки при движении с грузом по снегу уплотненному (коэффициенты $f_{тр\ j} \in [0,1;0,15]$; $f_{пр\ j} \in [0,15;0,25]$; $j \in [0,5;0,6]$). Для удобства, на графике

предоставлены только результаты вычислений по граничным условиям (минимальное и максимальное значение), см рис.3.

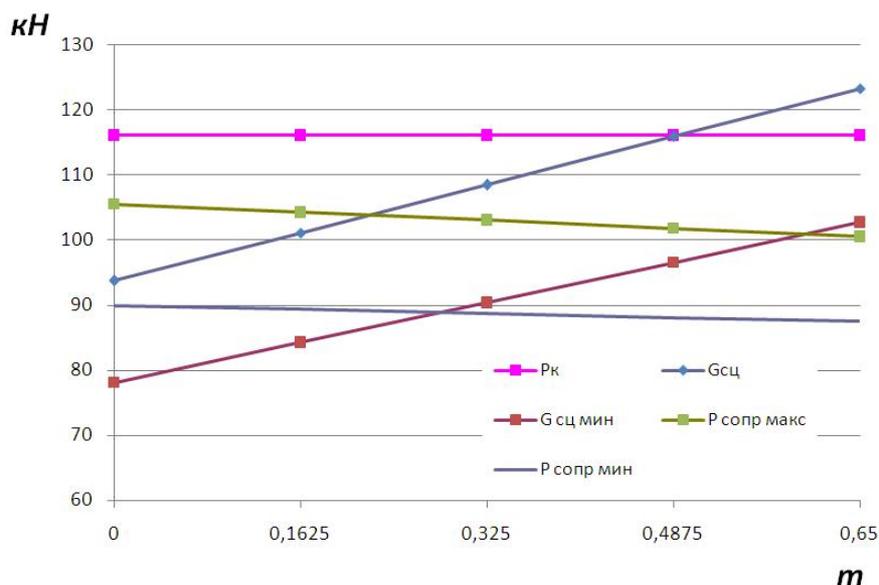


Рисунок 3 – Результат расчетов тяговых характеристик транспортной системы переменной компоновки при движении с грузом по снегу уплотненному

Анализируя данные расчетов, представленные на рисунке 3, можно сделать следующие выводы: для приведенного случая, касательная сила тяги P_k превышает максимальное сопротивление движению $P_{сопр макс}$ при любой компоновке транспортной системы. При этом, до значения коэффициента $m = 0,4875$, касательная сила тяги P_k превышает сцепной вес $G_{сц}$, что может привести к пробуксовке ведущих движителей.

Для выявления способности транспортной системы к преодолению заданного участка маршрута (проходимости) более информативно представить разницу между развиваемой силой тяги P_k^p и силами сопротивления движению транспортной системы в относительном выражении, см. рисунок 4 (промежуточные кривые не пронумерованы).

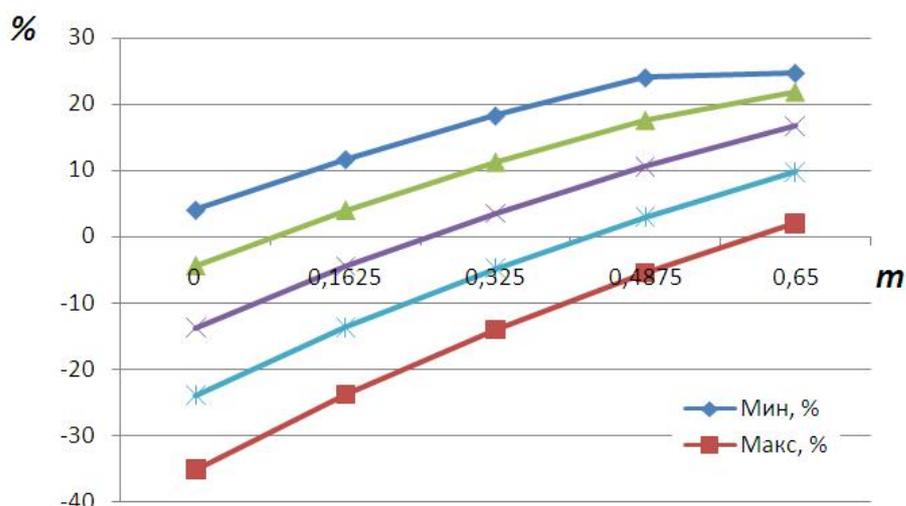


Рисунок 4 – Результат расчетов разницы между развиваемой силой тяги P_k^p и силами сопротивления движению транспортной системы в относительном выражении при движении с грузом по снегу уплотненному

Анализируя данные расчетов, представленные на рисунке 4, можно сделать следующие выводы: в зависимости от состояния несущей поверхности (значений коэффициентов f_{mpj} ; f_{npj} и j_j), для устойчивого движения транспортной системы при движении с грузом по снегу уплотненному следует изменять длину соединительного дышла прицепа роспуска для обеспечения заданного значения развесовки длинномерного груза. Так, для самых неблагоприятных условий движения (значения коэффициентов f_{mpj} и f_{npj} – максимальны, а j_j – минимально) для обеспечения движения транспортной системы с грузом по снегу уплотненному следует 65% от веса груза расположить на конике базовой машины. Для наиболее благоприятных условий движения подходит любой вариант размещения груза.

Обобщенные результаты расчетов способности транспортной системы к преодолению заданного участка маршрута (проходимости) по различным несущим поверхностям объединены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента m , характеризующего часть веса груза, расположенную на базовой машине

Условия движения	Тип несущей поверхности			
	Снег уплотненный	Грунт мокрый	Песок сухой	Суглинок увлажненный
наименее благоприятные	$\geq 0,65$	Любое	-	$\geq 0,4865$
наиболее благоприятные	Любое	Любое	$\geq 0,4865$	Любое

В результате выполненного анализа можно сделать вывод, что для большинства из исследуемых типов несущей поверхности, транспортная система в составе машины трелевочной бесчokerной ЛП-18К и прицепа-ропуск ТавМЗ 802К-010/802Р-010 способна преодолевать заданный маршрут с длинномерным грузом при загрузке коника базовой машины на 65%, за исключением песка сухого в наименее благоприятных условиях. В последнем случае, транспортная система не способна к вывозке груза с сохранением максимально допустимой полезной нагрузки.

Выводы

В результате выполненных расчетов и анализа полученных данных можно сделать следующие выводы.

1) Представленный алгоритм формирования эффективной компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов по критерию проходимости является универсальным и позволяет выполнять предварительные изыскания без существенных переработок в предоставленной методологии;

2) Разработанная математическая модель определения тяговых характеристик транспортной системы с переменной компоновкой позволяет выполнить аналитические исследования для всех возможных вариантов базовых машин и прицепного оборудования;

3) Использование разницы между развиваемой силой тяги P_k^p и силами сопротивления движению транспортной системы представляется как достаточно информативный формализованный показатель, определяющий проходимость транспортной системы для вывозки длинномерных грузов;

4) Результаты анализа моделирования компоновки транспортной системы для вывозки длинномерных грузов могут быть использованы в инженерных расчетах при предварительных научно-технических изысканиях.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.1535

Список литературы

1. Мазуркин, П.М. Функционально-структурные преобразования и риски в процессах материализации инновационных идей / П.М. Мазуркин, В.А. Грязин // Научно-практический журнал «Природообустройство». – №2. – 2012. – С.83-88.
2. Грязин, В.А. Влияние природных условий на энергоёмкость трелевки древесины тракторами с чокерным оборудованием / В.А. Грязин // Известия высших учебных заведений. «Лесной журнал». – Архангельск: Издательство Архангельского государственного технического университета, 2009. – №3. – С. 68-73.
3. Математическое моделирование взаимодействия двигателя трактора 4×4 с дорогой с целью расчёта распределения касательного тягового усилия по ведущим осям / Mircea NĂSTĂSOIU, Vasile PĂDUREANU, Stelian NĂSTĂSOIU – [Электронный ресурс]: Polish Academy of Sciences Branch in Lublin – Режим доступа: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol5/NastasoIU.pdf> – 10.05.2013.
4. Математическое моделирование работы малогабаритной валочно-пакетирующей машины / Ю.Н. Сидыганов, Е.М. Онучин, Д.М. Ласточкин, А.В. Шемякин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – № 185. – С. 123-133.
5. Машина трелёвочная бесчокерная ЛП-18К [Электронный ресурс]: Концерн «Тракторные заводы» – Режим доступа: <http://klm.tplants.com/ru/products/lp18k/> – 10.05.2013.
6. ТавМЗ 802К-010/802Р-010 [Электронный ресурс]: ООО «Тавдинский машиностроительный завод» – Режим доступа: <http://www.stroyteh.ru/wiki/ТавМЗ%20802К-010802Р-010> – 10.05.2013.
7. Кутьков, Г.М. Теория трактора и автомобиля / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 1996. – 287 с.

References

1. Mazurkin, P.M. Funkcional'no-strukturnye preobrazovanija i riski v processah materializacii innovacionnyh idej /P.M. Mazurkin, V.A. Grjazin // Nauchno-praktičeskij zhurnal «Prirodoobustrojstvo». – №2. – 2012. – S.83-88.
2. Grjazin, V.A. Vlijanie prirodnyh uslovij na jenergoemkost' trelevki drevesiny traktorami s chokernym oborudovanijem / V.A. Grjazin // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. «Lesnoj zhurnal». – Arhangel'sk: Izdatel'stvo Arhangel'skogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2009. – №3. – S. 68-73.
3. Matematicheskoe modelirovanie vzaimodejstvija dvizhitelja traktora 4×4 s dorogoj s cel'ju raschjota raspredelenija kasatel'nogo tjavogovo usilija po vedushhim osjam / Mircea NĂSTĂSOIU, Vasile PĂDUREANU, Stelian NĂSTĂSOIU – [Jelektronnyj resurs]: Polish Academy of Sciences Branch in Lublin – Rezhim dostupa: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol5/Nastasoiu.pdf> – 10.05.2013.
4. Matematicheskoe modelirovanie raboty malogabaritnoj valochno-paketirujushhej mashiny /Ju.N. Sidyganov, E.M. Onuchin, D.M. Lastochkin, A.V. Shemjakin // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotehničeskoi akademii. – 2008. – № 185. – S. 123-133
5. Mashina treljovochnaja beschokernaja LP-18K [Jelektronnyj resurs]: Koncern «Traktornye zavody» – Rezhim dostupa: <http://klm.tplants.com/ru/products/lp18k/> – 10.05.2013.
6. TavMZ 802K-010/802R-010 [Jelektronnyj resurs]: OOO «Tavdinskij mashinostroitel'nyj zavod» – Rezhim dostupa: <http://www.stroyteh.ru/wiki/TavMZ%20802K-010802R-010> – 10.05.2013.
7. Kut'kov, G.M. Teorija traktora i avtomobilja / G.M. Kut'kov. – M.: Kolos, 1996. – 287 s.