

Экспериментальные исследования длиннобазной сочленённой транспортно-технологической системы

09, сентябрь 2010

автор: Баженов Е. Е.

УДК 629.113.028

*Уральский Федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»*

Частным случаем сочленённой транспортно-технологической системы является автопоезд (АП) с активным прицепом-ропуском (АПП). Прицепы-ропуски применяются для перевозки длинномерных грузов: труб в нефтегазовой, деревьев в лесозаготовительной отраслях. Движение активной транспортно-технологической системы сопровождается возникновением в контуре «трансмиссия – движитель – опорная поверхность» упругого момента, направление которого в общем случае не совпадает с направлением ведущего момента на движителе. На величину упругого момента влияет кинематическое рассогласование в приводе движителей прицепа. С целью определения величины кинематического рассогласования в приводе АПП, соответствующей минимальным значениям упругого момента и, соответственно, максимальной свободной силы тяги на крюке, проведены экспериментальные исследования на натурном образце АПП при различных видах опорной поверхности.

Особенностью перевозки длинномерных грузов является то, что в грузовом направлении усилие со стороны первой секции – тягача (Т) – на прицепное звено передается че-

рез груз за счет его трения о коники Т и прицепа (П). Поворот прицепа-ропуска и движение его колёс по траектории, практически не отличающейся от траектории колёс Т, осуществляется посредством крестовой сцепки. Часто кроме крестового тросового механизма поворота прицепа, вместо дышла используется тросовая сцепка. Порожнее движение происходит либо в режиме прицепной схемы (рис. 1 а), либо в режиме погруженного прицепа на тягач.

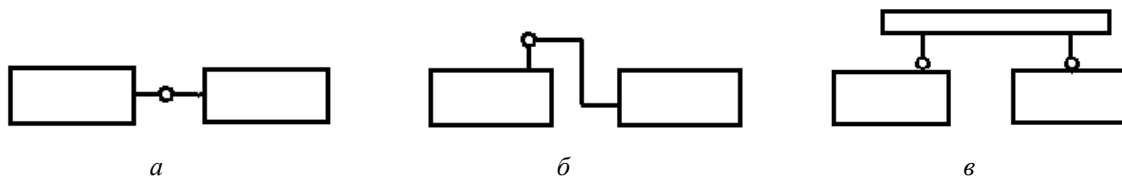


Рисунок. 1 - Схемы АСТС:

а – тяговая; *б* – опорно-тяговая; *в* – комбинированная (с грузом)

Характеристика объекта исследований.

Исследования проводятся с АПП на базе автомобиля КраЗ-255Л с активным прицепом-ропуском ГКБ-9383.

В задачи исследования входит:

- определение характеристик дорожных условий, наиболее характерных для эксплуатации лесовозного автопоезда;
- оценка величины кинематического рассогласования в приводе движителей первой и второй секций;
- оценка распределения тягового усилия между колёсами первой и второй секций;
- определение свободной силы тяги на крюке при различных значениях кинематического рассогласования на разных типах грунтов;
- оценка влияния угла поворота управляемых колёс на кинематическое рассогласование и свободную силу тяги на крюке ААП.

Привод колёс прицепа-ропуска осуществляется гидромеханической передачей. Насосная станция имеет приводной редуктор и аксиально-поршневой гидронасос. Приводная

станция, расположенная на прицепе, имеет приводной редуктор и радиально поршневой гидромотор. Изменение рассогласования обеспечивается дроссельным регулированием, введённым в привод колёс прицепа. Дроссель располагается параллельно гидромотору, что позволяет отводить выделяемое при дросселировании тепло, минуя гидромотор, в сливную магистраль. Такая схема регулирования позволяет изменять рассогласование от величины конструктивного в сторону увеличения (т.е. частота вращения колёс прицепа уменьшается по отношению к колёсам тягача).

Факторы, исследуемые на натурном образце активного автопоезда.

Факторы влияющие на свободную силу тяги, разделены на три группы и приведены в таблице:

- динамические;
- кинематические;
- опорно-сцепные.

Факторы, влияющие на свободную силу тяги на крюке

Группа	Фактор	Обозначение
Динамические	Крутящий момент на коленчатом валу двигателя	$M_{\text{дв}}$
	Крутящий момент на ведущих колёсах	M_c
	Передаточное отношение трансмиссии	i
	Вертикальная нагрузка на колёса	G
Кинематические	Тип шин	
	Кинематическое рассогласование	φ
Опорно-сцепные	Влажность грунта	W
	Гранулометрический состав грунта	R
	Сопротивление сдвигу грунта	τ_c
	Сопротивление вертикальным нагрузкам (несущая способность)	q_c
	Липкость почвы	τ_c

Ввиду большого разнообразия опорно-сцепных факторов их целесообразно заменить двумя, широко используемыми на практике: коэффициентом сцепления колёс с опорной поверхностью φ и коэффициентом суммарного сопротивления движению ψ .

Включение привода колёс прицепа-ропуса производится только на участках дорог с низкими сцепными свойствами. Эти участки преодолеваются АП, как правило, на пониженных передачах и практически с максимальной нагрузкой на двигатель. Этот режим соответствует правой ветви динамической характеристики, её верхней части. В этом случае двигатель реализует максимальный регламентируемый крутящий момент. В этом случае можно считать величины $M_{\partial\partial}$ и i - постоянными, соответствующими первой пониженной передаче, и неизменными в процессе активного эксперимента.

Крутящий момент на ведущих колёсах M_k , вертикальная нагрузка G и сцепные свойства грунта с двигателями φ являются линейно коррелированными факторами. Учитывая это обстоятельство один из них можно отбросить [1]. Это целесообразно сделать с крутящим моментом на ведущих колёсах ввиду сложности фиксирования уровней при варьировании фактора.

Таким образом, при проведении активного эксперимента по определению свободной силы тяги на крюке ААП наиболее информативными и важными факторами, влияющими на тяговую динамику, являются:

- вертикальная нагрузка на ААП (G);
- коэффициент сцепления φ ;
- коэффициент суммарного сопротивления движению ψ ;
- кинематическое рассогласование ξ .

Перечисленные выше факторы (за исключением кинематического рассогласования) определяются по общепринятым методикам. Операциональное определение требуется только для кинематического рассогласования.

Учитывая то обстоятельство, что экспериментальная установка имеет гидромеханический привод колес П, для регулирования кинематического рассогласования, определения крутящего момента и мощности на валу гидромотора в качестве варьируемого показателя применяется давление в нагнетающей и сливной магистралях.

Управление прицепом-ропуском у автопоезда осуществляется крестообразной сцепкой, которая не в полной мере обеспечивает движение колёс П по колее колёс Т. При движении по кривой колея колёс П смещается в сторону центра поворота, П движется по кривой меньшего радиуса и его колёса должны проходить меньший путь за единицу времени, чем колёса Т. Возникающее при этом рассогласование напрямую зависит от угла поворота управляемых колёс и оказывает влияние на свободную силу тяги ААП.

Учитывая то обстоятельство, что испытания ААП проводились на лесовозной дороге определённого рельефа и неизменной в плане, угол складывания звеньев ААП необходимо отнести к числу неварьируемых факторов, значения которых регистрируются, но не могут быть воспроизведены произвольным образом.

Крутящий момент на ведущих колёсах П и кинематическое рассогласование – факторы линейно коррелируемые, т.е. для проведения исследований целесообразно воспользоваться одним из них. В данном случае, с точки зрения удобства фиксирования, в качестве варьируемого фактора необходимо принять крутящий момент на ведущих колёсах П, который изменяется в зависимости от давления в нагнетающей и сливной магистралях привода.

Таким образом, при проведении исследований варьируются и фиксируются следующие факторы:

- вертикальная нагрузка;
- давление в нагнетающей магистрали;
- дорожные условия.

Характеристика условий испытаний

От выбора условий, в которых проводятся испытания, зависят значения исследуемых параметров и их достоверность.

Исследование ААП проводились в производственных условиях Уральского учебно-опытного лесхоза (г. Екатеринбург) и на лесозаготовках в г. Добрянка Пермского края. Условия испытаний наиболее полно соответствовали стохастической природе функционирования ААП в реальных условиях эксплуатации и характеризовались сочетанием участков с различной несущей способностью, прямолинейной и криволинейной траектории. Испытания проводились в осенне-зимний период года на лесовозной дороге протяженностью 2 000 м, соединяющей лесосеку с магистралью. Дорога имеет два виража радиусом 300 м и три прямолинейных участка. Дорога проходит по трём участкам местности и в зависимости от времени года имеет дорожное полотно:

1 участок – вырубка. Летом – частично задернённый магистральный волок с суглинистой почвой. Зимой – снежная целина;

2 участок – лес. Летом – разбитая грунтовая дорога преимущественно с глинистым грунтом (сухая и после дождя). Зимой – укатанная снежная дорога;

3 участок – луг. Летом – грунтовая дорога с глинистым грунтом (сухая и после дождя). Зимой – обледевшая снежная дорога.

Характеристики дорожного полотна получены с помощью прибора Ковалёва Н.П.

Система измерения и контроля

Проведение исследований предусматривает оценку соотношения величин тяговых усилий на колёсах Т и П. Для этой цели на полуосях одного борта Т размещены тензорезисторы. Посредством тензорезисторов замеряется та часть крутящего момента двигателя, которая реализуется на колёсах тягача при включении привода П. Для оценки величины крутящего момента на колёсах активного П необходимо замерять перепад давлений в нагнетающей и сливной магистралях гидропривода и знать объёмную постоянную гидромотора.

Угол поворота управляемых колёс Т определяется через угол между продольной осью Т и дышлом прицепа.

При исследованиях замерялись следующие параметры:

- давление в нагнетающей магистрали привода активного прицепа;
- давление в сливной магистрали привода активного прицепа;
- крутящие моменты на полуосях Т;

На рис. 2 – 4 показаны фрагменты исследовательских испытаний и расположение элементов системы измерения и контроля.



Рисунок 2 – Расположение концевых токосъёмников на ступицах колёс ААП во время исследовательских испытаний



Рисунок 3 – Расположение датчика угла складывания на тягаче

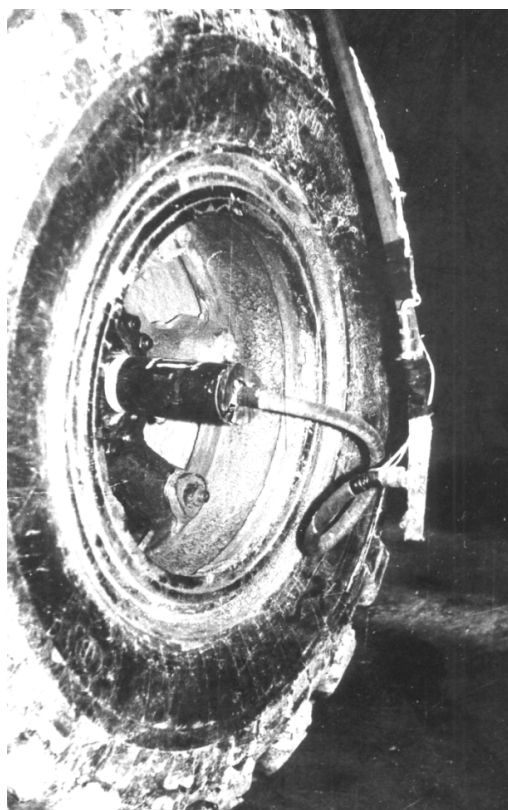


Рисунок 4 – Расположение концевой токосъёмника на ступице колеса

Исследовательские испытания проводились по униформ-ротатбельному плану второго порядка.

Методика обработки экспериментальных данных проведена в соответствии с изложенной в [1].

Статистические характеристики результатов опытов рассчитываются с использованием программы *WIRRA*. Однородность дисперсий опытов проверяется по критерию Кохрена, однородность выборочных средних - критерия Стьюдента. Результаты экспериментальных исследований аппроксимировались с автоматическим поиском степени полинома. В результате получен полином, описывающий зависимость свободной силы тяги на крюке от описанных ранее факторов. Адекватность математической модели проводилась по критерию Фишера в соответствии с [1].

На рис. 5 - 7 представлены графические зависимости свободной силы тяги на крюке от кинематического рассогласования и вертикальной нагрузки на ААП.

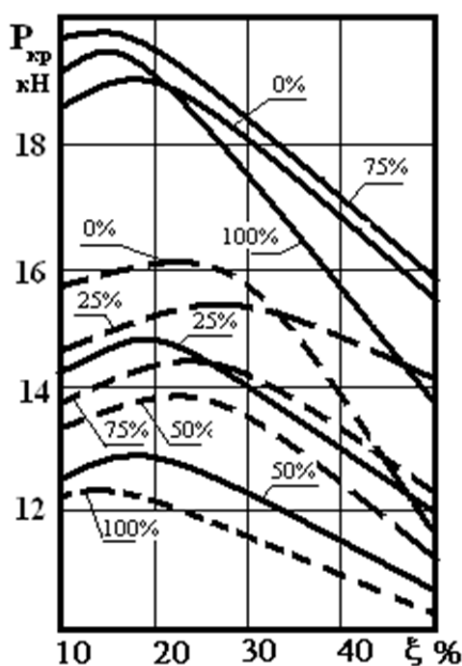


Рисунок 5 – Зависимость силы тяги на крюке ($P_{кр}$) от кинематического рассогласования (ξ) при различных нагрузках на ААП и коэффициентах (φ) сцепления колёс с опорной поверхностью (натурный эксперимент)

— — — — — $\varphi = 0,05 - 0,15$
 ————— $\varphi = 0,15 - 0,25$

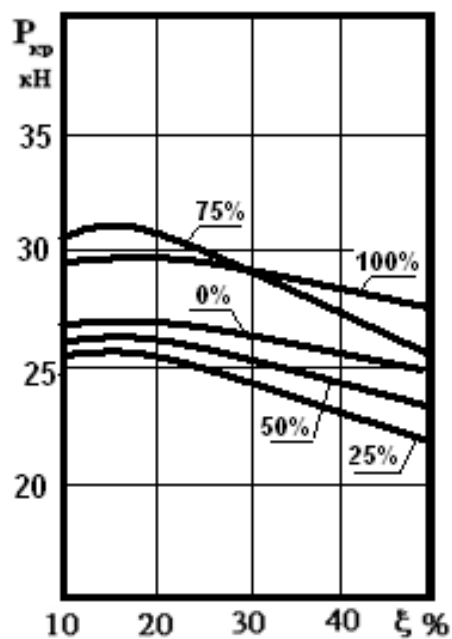


Рисунок 6 – Зависимость силы тяги на крюке ($P_{кр}$) от кинематического рассогласования (ξ) при различных нагрузках на ААП при коэффициенте сцепления колёс с опорной поверхностью $\varphi = 0,25 - 0,35$

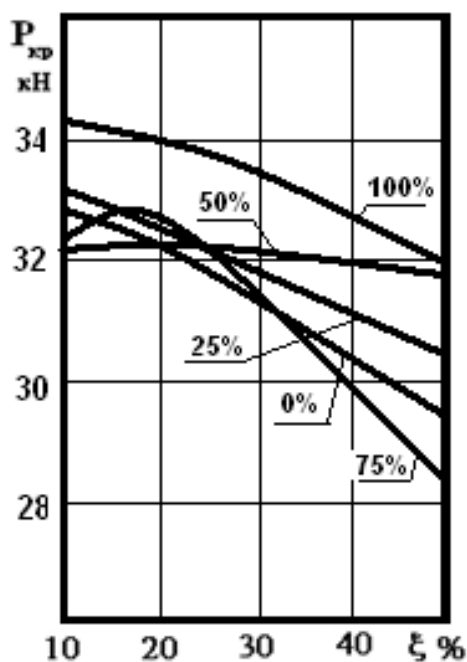


Рисунок 7 – Зависимость силы тяги на крюке ($P_{кр}$) от кинематического рассогласования (ξ) при различных нагрузках на ААП при коэффициенте сцепления колёс с опорной поверхностью $\varphi = 0,35 - 0,5$

На дороге с $\varphi = 0,25 - 0,35$ экстремальные значения силы тяги на крюке лежат в пределах диапазона изменения кинематического рассогласования для всех нагрузок на ААП.

Максимальное значение тягового усилия реализуется при 10 – 15-процентном кинематическом рассогласовании. Абсолютное значение тягового усилия у не полностью гружёного ААП (75% от максимального) превышает силу тяги ААП под полной нагрузкой.

На дороге с $\varphi = 0,05 - 0,15$ по мере роста вертикальной нагрузки уменьшается значение тягового усилия.

Таким образом, максимальное значение суммарной силы тяги на крюке на дорогах с низким коэффициентом сцепления (обледенелых, снежных укатанных) в приводе колёс второй секции должно быть реализовано кинематическое рассогласование в пределах 20 – 25 %. На дорогах грунтовых после дождя – в пределах 15 – 20 %. При этом в замкнутом контуре «двигатель – трансмиссия – движитель – опорная поверхность» существует упругий момент, величина которого минимальна и компенсируется проскальзыванием одного из движителей по опорной поверхности.

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. Наука. 1976 – 254 с.