

УДК 629.1

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ФОРВАРДЕРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Клубничкин Евгений Евгеньевич
к.т.н., доцент

Scopus Author ID: 57203352852

РИНЦ SPIN-код: 8158-0700

klubnichkin@mgul.ac.ru

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-
я Институтская, д. 1*

Карташов Александр Борисович
к.т.н., доцент

Директор НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»

Scopus Author ID: 57193455903

РИНЦ SPIN-код: 9896-2452

kartashov@bmstu.ru

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1*

Муравьев Александр Сергеевич
ведущий программист НОЦ «КАМАЗ-БАУМАН»
aleksandr.muravev@bmstu.ru

*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1*

Проведенные исследования направлены на определение устойчивости колесного форвардера при выполнении технологических операций. Представлены расчетные схемы устойчивости форвардера. Был проведен анализ предельных режимов работы форвардера по устойчивости на опрокидывание при выполнении технологических операций погрузки и разгрузки сортиментов. Представлены массовые характеристики и коэффициенты запаса по опрокидыванию для проектируемого форвардера при выполнении технологических операций как в снаряженном, так и в полностью груженном состоянии

Ключевые слова: УСТОЙЧИВОСТЬ,
ФОРВАРДЕР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
ОПЕРАЦИЯ, ОПРОКИДЫВАНИЕ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-174-016>

Введение

Отличительной особенностью современных лесозаготовительных машин является то, что они создаются на базе существующих машин.

<http://ej.kubagro.ru/2021/10/pdf/16.pdf>

UDC 629.1

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**INVESTIGATION OF FORWARDER
STABILITY DURING TECHNOLOGICAL
OPERATIONS**

Klubnichkin Evgeny Evgenievich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Scopus Author ID: 57203352852

RSCI SPIN-code: 8158-0700

klubnichkin@mgul.ac.ru

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical
University, Russia, 141005, Moscow region,
Mytishchi, 1-ya Institutskaya, 1*

Kartashov Alexander Borisovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Director of KAMAZ-BAUMAN R&D

Scopus Author ID: 57193455903

RSCI SPIN-code: 9896-2452

kartashov@bmstu.ru

*Bauman Moscow State Technical University, Russia,
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1*

Muravev Aleksandr Sergeevich
Lead software engineer in KAMAZ-BAUMAN
aleksandr.muravev@bmstu.ru
*Bauman Moscow State Technical University, Russia,
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya 5, str. 1*

The conducted research is aimed at determining the stability of the wheel forwarder when performing technological operations. The calculated schemes of forwarder stability are presented. The analysis of the maximum modes of operation of the forwarder for rollover stability during technological operations of loading and unloading of sortings was carried out. The mass characteristics and rollover reserve coefficients for the designed forwarder are presented when performing technological operations both in the loaded and fully loaded state

Keywords: STABILITY, FORWARDER,
TECHNOLOGICAL OPERATION, ROLLOVER

Поэтому такие показатели как устойчивость во много определяют эффективность лесозаготовительных машин и зачастую играют главенствующую роль.

В тяжёлых грунтово-почвенных условиях лесосек основными видами вредных факторов определяющих устойчивость являются: предельные углы подъема, крена и критическая скорость движения на повороте [1, 2].

Расчет устойчивости форвардера на опрокидывание

У колесных лесозаготовительных машин критерием устойчивости является допустимый угол склона поверхности, на котором колесная лесозаготовительная машина может находиться без опрокидывания (в равновесии) под действием внешних сил [3 – 5].

Различают первичное и полное опрокидывание колесной лесозаготовительной машины; первичное опрокидывание – обратимый процесс, состоящий в отрыве одной или нескольких опор лесозаготовительной машины от рабочей поверхности; при снятии внешних нагрузок (сбор сортиментов и др.) колесная лесозаготовительная машина возвращается в рабочее положение [6, 7].

Опрокидывается колесная лесозаготовительная машина по грани, иногда выходящей за опорный контур. Форма и размеры опорного контура зависят от типа и конструкции ходовой части, принятой системы поворота машины, а также от места расположения погрузочного оборудования на машине [8, 9].

Для колесных форвардеров определяют собственную и грузовую устойчивость, т. е. без груза и с грузом на манипуляторе при полностью заправленной машине и с оператором на рабочем месте. Расчет устойчивости рассматривают при различных вылетах стрелы манипулятора.

На проектируемом колесном шарнирно-сочлененном форвардере манипулятор располагается на технологическом модуле, сразу за защитным ограждением кониковой площадки. Основание манипулятора крепится болтовым соединением к площадке находящейся над шарнирным сочленением (рисунок 2).

Был проведен анализ предельных режимов работы форвардера по устойчивости на опрокидывание при выполнении технологических операций погрузки и разгрузки сортиментов. Расчетные схемы вид спереди и сверху представлены на рисунках 1 и 2.

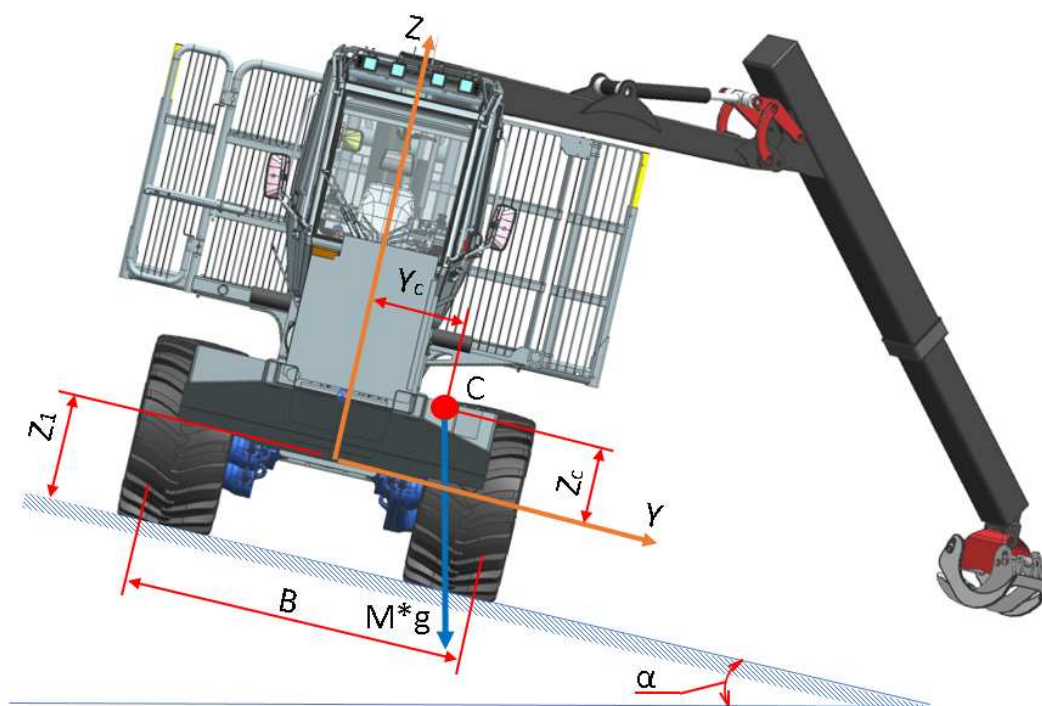


Рисунок 1 – Расчетная схема устойчивости форвардера, вид спереди

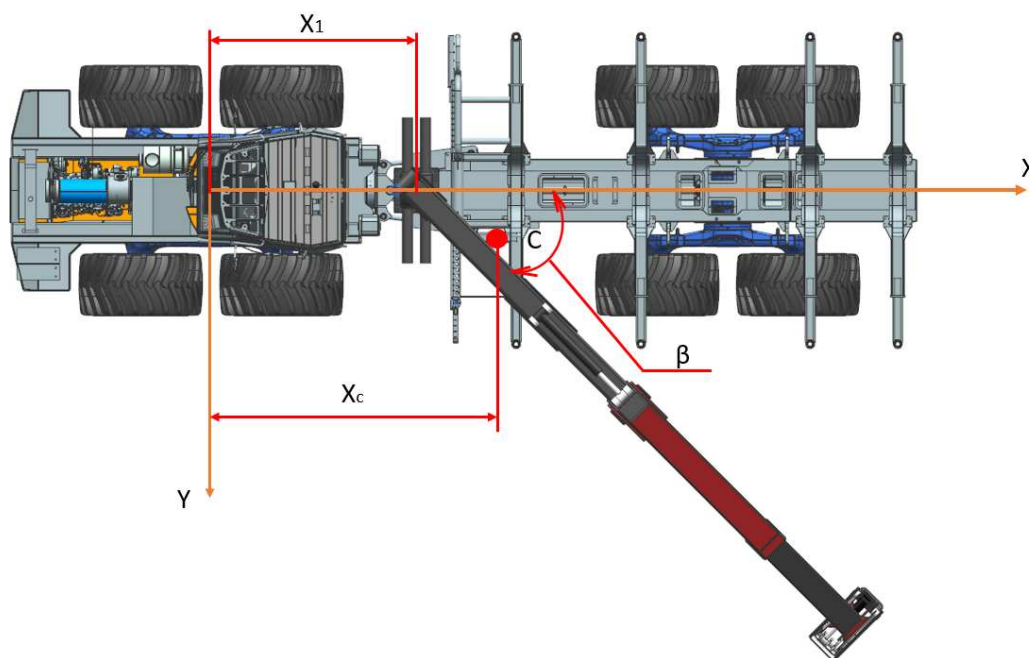


Рисунок 2 – Расчетная схема устойчивости форвардера, вид, сверху

При повороте манипулятора координаты центра тяжести манипулятора, грейферного захвата и груза (сортиментов) относительно нулевого положения (манипулятор направлен вперед) будут изменяться согласно формулам:

$$x_{ci} = (x_{c0i} + x_1) \cdot \cos(\beta) - x_1 \quad (1)$$

$$y_{ci} = y_{c0i} + (x_{c0i} + x_1) \cdot \sin(\beta) \quad (2)$$

$$z_{ci} = z_{c0i} \quad (3)$$

где x_{ci} , y_{ci} , z_{ci} – координаты при различных значениях угла поворота манипулятора β центров тяжести подвижных элементов (манипулятор, грейферный захват, груз);

x_{c0i} , y_{c0i} , z_{c0i} – координаты при нулевом значении угла поворота манипулятора β центров тяжести подвижных элементов;

x_1 – координата x оси вращения манипулятора, $x_1 = 1333$ мм;

z_1 – расстояние между центром ведущего моста и опорным основанием, $z_1 = 768$ мм.

Устойчивое положение форвардера возникнет в случае, когда будет соблюдаться неравенство:

$$y_c + (z_c + z_1) \cdot \tan \alpha \leq \frac{B}{2} \quad (5)$$

где y_c, z_c – координаты центра тяжести форвардера;

B – ширина опорного основания ($B = 2650$ мм)

Коэффициент запаса по опрокидыванию определяется по формуле:

$$k_{\text{опрф}} = \frac{B}{2(y_c + (z_c + z_1) \cdot \tan \alpha)} \quad (6)$$

Результаты исследований

В таблицах 1 - 4 представлены результаты проведенных расчетов.

Таблица 1 – Массовые характеристики форвардера в снаряженном состоянии при повороте манипулятора

Наименование весового комплекта (В. К.)		ВЕС	Координаты Ц. Т. В. К.		
		(кгс)	OX см	OY см	OZ см
Неподвижная часть форвардера (форвардер в снаряженном состоянии без учета манипулятора, грейферного захвата и груза в захвате)					
ИТОГО		19 515	269,75	0,00	36,65
Подвижные части форвардера					
Манипулятор с грейферным захватом при:	$\beta = 0^\circ$	2300	350	0	200
	Груз в захвате при:	$\beta = 0^\circ$	3 772	267	0
Итого подвижные части при:	$\beta = -90^\circ$	6 072	246	-253	200
	$\beta = -45^\circ$		425	178	
	$\beta = 0^\circ$		499	0	
	$\beta = 45^\circ$		425	178	
	$\beta = 90^\circ$		246	253	
Форвардер в снаряженном состоянии при выполнении технологических операций					
Итого форвардер снаряженной массы при:	$\beta = -90^\circ$	25 587	264,3	-59,9	74,4
	$\beta = -45^\circ$		306,6	-42,4	
	$\beta = 0^\circ$		324,1	0,00	
	$\beta = 45^\circ$		306,6	42,4	
	$\beta = 90^\circ$		264,3	59,9	

Таблица 2 – Массовые характеристики форвардера полной массы при повороте манипулятора

Наименование весового комплекта (В. К.)		ВЕС	Координаты Ц. Т. В. К.		
		(кгс)	OX см	OY см	OZ см
Неподвижная часть форвардера (форвардер полной массы без учета манипулятора, грейферного захвата и груза в захвате)					
ИТОГО		38515	427,74	0,00	141,90
Подвижные части форвардера					
Манипулятор с грейферным захватом при:	$\beta = 0^\circ$	2300	350	0	200
	Груз в захвате при:	$\beta = 0^\circ$	3 772	267	0
Итого подвижные части при:	$\beta = -90^\circ$	6 072	246	-253	200
	$\beta = -45^\circ$		425	178	
	$\beta = 0^\circ$		499	0	
	$\beta = 45^\circ$		425	178	
	$\beta = 90^\circ$		246	253	
Форвардер полной массы при выполнении технологических операций					
Итого форвардер полной массы при:	$\beta = -90^\circ$	44587	403	-344	149,8
	$\beta = -45^\circ$		427,3	-243	
	$\beta = 0^\circ$		437,4	0	
	$\beta = 45^\circ$		427,3	243	
	$\beta = 90^\circ$		403	344	

В таблице 3 и 4 представлены коэффициенты запаса по опрокидыванию для проектируемого форвардера как в снаряженном, так и в полностью груженном состоянии при выполнении технологических операций.

Таблица 3 – Коэффициенты запаса по опрокидыванию при выполнении технологических операций форвардером в снаряженном состоянии, $k_{опр}$

β , град	α , град					
	0	5	10	15	20	25
-90	2,21	2,9	4,2	7,9	8,3	8,6
-45	3,1	4,7	9,5	9,2	8,1	4
0	∞	9,3	4,7	3,1	2,3	1,8
45	3,1	2,3	1,9	1,5	1,3	1,1
90	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9

Таблица 4 – Коэффициенты запаса по опрокидыванию при выполнении технологических операций форвардером полной массы, $k_{опр}$

β , град	α , град					
	0	5	10	15	20	25
-90	3,9	9,6	18,4	4,6	2,6	1,8
-45	5,4	36	7,7	3,4	2,2	1,5
0	∞	6,4	3,2	2,1	1,5	1,2
45	5,4	2,9	2	1,5	1,2	1
90	3,9	2,4	1,7	1,4	1,1	0,9

Выводы

Из полученных результатов в таблицах 1 – 4 видно, что коэффициент запаса по опрокидыванию для всех представленных режимов работы больше 1, за исключением работ на уклоне свыше 20 градусов. Представленные результаты свидетельствуют об отсутствии риска опрокидывания при выполнении технологических операций на уклонах до 20 градусов. Осуществляя технологические операции на уклонах свыше 20 градусов рекомендуется снижение массы поднимаемых грузов (сортиментов).

Благодарности: Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования

Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.

Литература

1. Клубничкин, В.Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 3 (130). – С. 93–102.
2. Шегельман, И.Р. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов // Ученые записки ПетрГУ. 2010. № 4. С. 66-75.
3. Клубничкин, В.Е. Расчет устойчивости колесной валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины на опрокидывание / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов, И.О. Наказной // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – № 3(134). – С. 99–106.
4. Karpachev, S.P. Simulation of Salix Harvesting and Processing Technology Using Soft Containers (2020) E3S Web of Conferences, 161, art. no. 01047. www.e3s-conferences.org/doi: 10.1051/e3sconf/202016101047
5. Котиков, В.М. Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов. - М.: Лесная промышленность, 2004. - 336 с.
6. Макуев, В.А. Переходный режим при повороте колесной шарнирно-сочлененной лесозаготовительной машины / В.А. Макуев, В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.В. Шняков // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2015. Т. 19. №1. С. 107-110.
7. Stampfer, K. Efficiency of mechanised steep terrain harvesting systems. / K. Stampfer. // COFE-CWF Conference, 2000. – P. 1-4.
8. Клубничкин, В.Е. Разработка узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Ю. Горбунов, Д.Ю. Дручинин // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 4 (40). С. 217-226.
9. Klubnichkin, V.E. Analysis of the developed hinged joint assembly of the wheeled harvester / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov, K.V. Vasilyeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 1086, 012007.

References

1. Klubnichkin, V.E. Kratkij analiz tendencij razvitija lesozagotovitel'nyh mashin / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2020. – № 3 (130). – S. 93–102.
2. Shegel'man, I.R. Analiz pokazatelej raboty i ocenka jeffektivnosti lesozagotovitel'nyh mashin v razlichnyh prirodno-proizvodstvennyh uslovijah / I.R. Shegel'man, V.I. Skrypnik, A.V. Kuznecov // Uchenye zapiski PetrGU. 2010. № 4. С. 66-75.
3. Klubnichkin, V.E. Raschet ustojchivosti kolesnoj valочно-suchkorezno-raskryazhevochnoj mashiny na oprokidyvanie / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov, I.O. Nakaznoj // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2021. – № 3(134). – S. 99–106.
4. Karpachev, S.P. Simulation of Salix Harvesting and Processing Technology Using Soft Containers (2020) E3S Web of Conferences, 161, art. no. 01047. www.e3s-conferences.org/doi: 10.1051/e3sconf/202016101047

5. Kotikov, V.M. Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny / V.M. Kotikov, N.S. Eremeev, A.V. Erhov. - M.: Lesnaja promyshlennost', 2004. - 336 s.

6. Makuev, V.A. Perehodnyj rezhim pri povorote kolesnoj sharnirno-sochlenennoj lesozagotovitel'noj mashiny / V.A. Makuev, V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.V. Shnjakov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. 2015. T. 19. №1. S. 107-110.

7. Stampfer, K. Efficiency of mechanised steep terrain harvesting systems. / K. Stampfer. // COFE-CWF Conference, 2000. – P. 1-4.

8. Klubnichkin, V.E. Razrabotka uzla sochlenenija lesnoj pogruzochno-transportnoj mashiny / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.Ju. Gorbunov, D.Ju. Druchinin // Lesotehničeskij zhurnal. 2020. T. 10. № 4 (40). S. 217-226.

9. Klubnichkin, V.E. Analysis of the developed hinged joint assembly of the wheeled harvester / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov, K.V. Vasilyeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 1086, 012007.