

УДК 630.377

DOI: 10.46960/1816-210X_2021_3_99

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСНОЙ ВАЛОЧНО-СУЧКОРЕЗНО-РАСКРЯЖЕВОЧНОЙ МАШИНЫ НА ОПРОКИДЫВАНИЕ**В.Е. Клубничкин**ORCID: 0000-0002-1231-8185 e-mail: vklubnichkin@gmail.comМосковский государственный технический университета им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***Е.Е. Клубничкин**ORCID: 0000-0002-4086-1011 e-mail: klubnichkin@mgul.ac.ruМосковский государственный технический университета им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***А.Б. Карташов**ORCID: 0000-0003-0160-6293 e-mail: kartashov@bmstu.ruМосковский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***И.О. Наказной**ORCID: 0000-0001-5295-4031 e-mail: nakaznoy@bmstu.ruМосковский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия

Представлен расчет устойчивости колесной валочно-сучкорезно-раскряжевой машины на опрокидывание. Приведены расчетные схемы, проанализированы предельные режимы работы по устойчивости на опрокидывание. Определены значения моментов манипулятора, не приводящих к опрокидыванию колесной валочно-сучкорезно-раскряжевой машины. Даны варианты компоновок машины для увеличения устойчивости к опрокидыванию. Полученные результаты могут быть использованы для эффективного проектирования и принятия мер, действительно расширяющих безопасный диапазон режимов работ валочно-сучкорезно-раскряжевых машин при выполнении технологических операций.

Ключевые слова: колесная валочно-сучкорезно-раскряжевая машина, манипулятор, харвестерная головка, центр тяжести, устойчивость, опрокидывание, ведущий мост.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Клубничкин, В.Е. Расчет устойчивости колесной валочно-сучкорезно-раскряжевой машины на опрокидывание / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов, И.О. Наказной // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. №3. С. 99-106. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_3_99

CALCULATING THE RESISTANCE AGAINST OVERTURNING OF A WHEELED FELLER-DELIMBER-SLASHER MACHINE**V.E. Klubnichkin**ORCID: 0000-0002-1231-8185 e-mail: vklubnichkin@gmail.comMoscow State Technical University named after N.E. Bauman
Moscow, Russia

E.E. Klubnichkin

ORCID: **0000-0002-4086-1011** e-mail: **klubnichkin@mgul.ac.ru**
 Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
Moscow, Russia

A.B. Kartashov

ORCID: **0000-0003-0160-6293** e-mail: **kartashov@bmstu.ru**
 Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
Moscow, Russia

I.O. Nakaznoy

ORCID: **0000-0001-5295-4031** e-mail: **nakaznoy@bmstu.ru**
 Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
Moscow, Russia

Abstract. The calculation of the resistance against overturning of a wheeled feller-delimber-slasher machine (FDSM) is presented. The calculation schemes are given and the ultimate operating conditions with resistance to overturning are analyzed. The values of manipulator moments are found, which do not result in overturning of the wheeled FDSM. Variants of machine layout are given to increase resistance against overturning. The results obtained can be used for effective design and for taking measures to actually extend the safe limits of FDSM functioning while executing technological operations.

Key words: wheeled feller-delimber-slasher machine, manipulator, harvester end, centre of gravity, resistance, overturning, driving axle.

FOR CITATION: V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov, I.O. Nakaznoy. Calculating the resistance against overturning of a wheeled feller-delimber-slasher machine. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2021. №3. Pp. 99-106. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_3_99

Введение

При неправильных режимах работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСПМ) на различных углах опорного основания и при разных положениях манипулятора есть вероятность потери устойчивости к опрокидыванию [1-6]. В данной работе проводится анализ предельных режимов работы по устойчивости на опрокидывание [7-10]. Расчетные схемы представлены на рис. 1 и 2.

При повороте манипулятора координаты центра тяжести манипулятора, харвестерной головки и груза относительно нулевого положения (манипулятор направлен вперед) будут изменяться согласно формулам (1-3):

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

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

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

где x_{ci} , y_{ci} , z_{ci} – координаты центров тяжести подвижных элементов (манипулятор, харвестерная головка, груз) при различных значениях угла поворота манипулятора β ; x_{c0i} , y_{c0i} , z_{c0i} – координаты центров тяжести подвижных элементов при нулевом значении угла поворота манипулятора β ; x_1 – координата x оси вращения манипулятора, $x_1 = 1333$ мм; z_1 – расстояние между центром моста и опорным основанием, $z_1 = 768$ мм.

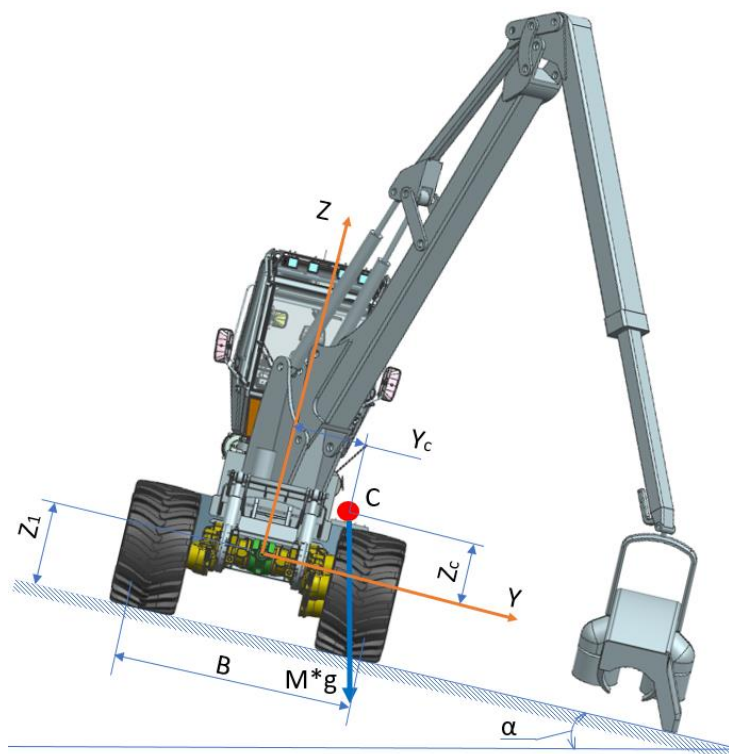


Рис. 1. Расчетная схема, вид спереди

Fig. 1. Calculation scheme, front view

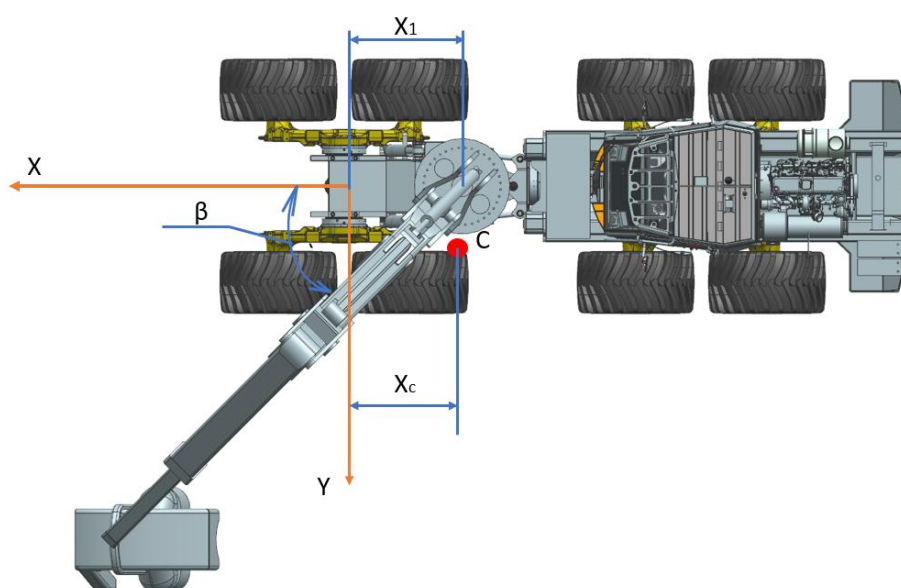


Рис. 2. Расчетная схема, вид сверху

Fig. 2. Calculation scheme, top view

Расчет устойчивости колесной валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины

ВСРМ будет иметь устойчивое положение, когда будет соблюдаться неравенство (4):

$$y_c + (z_c + z_1) \cdot \tan \alpha \leq \frac{B}{2}, \tag{4}$$

где y_c, z_c – координаты центра тяжести всей ВСРМ, B – ширина опорного основания ($B = 2482$ мм).

Коэффициент запаса по опрокидыванию (5):

$$k_{\text{опр}} = \frac{B}{2(y_c + (z_c + z_1) \cdot \tan \alpha)} \quad (51)$$

Результаты расчетов

Результаты проведенных расчетов занесены в табл. 1 и 2.

Таблица 1.

Массовые характеристики при повороте манипулятора

Table 1.

Mass characteristics during manipulator swinging

Наименование весового комплекта (В. К.)	ВЕС (кгс)	Координаты Ц. Т. В. К.			
		OX см	OY см	OZ см	
Неподвижная часть ВСРМ (ВСРМ полной массы без учета манипулятора, головки и груза)					
ИТОГО	16 273	-262,93	0,00	28,09	
Подвижные части ВСРМ					
Манипулятор при:	3895	$\beta = -90^\circ$	-133	-274	323
		$\beta = -45^\circ$	61	-194	
		$\beta = 0^\circ$	128	0	
		$\beta = 45^\circ$	61	194	
		$\beta = 90^\circ$	-133	274	
Головка при:	1380	$\beta = -90^\circ$	-133	-400	40
		$\beta = -45^\circ$	150	-283	
		$\beta = 0^\circ$	267	0	
		$\beta = 45^\circ$	150	283	
		$\beta = 90^\circ$	-133	400	
Груз при:	4020	$\beta = -90^\circ$	-133	-400	30
		$\beta = -45^\circ$	150	-283	
		$\beta = 0^\circ$	267	0	
		$\beta = 45^\circ$	150	283	
		$\beta = 90^\circ$	-133	400	
Итого подвижные части при:	9295	$\beta = -90^\circ$	-133	-342.1	154,3
		$\beta = -45^\circ$	109	-241.9	
		$\beta = 0^\circ$	208	0	
		$\beta = 45^\circ$	109	241.9	
		$\beta = 90^\circ$	-133	342.1	
ВСРМ полной массы					
Итого ВСРМ полной массы при:	25 568	$\beta = -90^\circ$	-215,8	-126,3	73,96
		$\beta = -45^\circ$	-127,9	-87,9	
		$\beta = 0^\circ$	-91,4	0,00	
		$\beta = 45^\circ$	-127,9	89,3	
		$\beta = 90^\circ$	215,8	124,4	

Таблица 2.

Коэффициенты запаса по опрокидыванию, $k_{\text{опр}}$

Table 2.

Turnover safety margins, k_{to}

β , град	α , град					
	0	5	10	15	20	25
-90	1	1,116	1,269	1,478	1,786	2,296
-45	1,411	1,66	2,023	2,611	3,754	7,041
0	∞	9,408	4,668	3,072	2,262	1,765
45	1,411	1,277	1,084	0,967	0,869	0,784
90	1	0,902	0,822	0,753	0,692	0,638

Методом подбора определены значения моментов манипулятора, не приводящих к опрокидыванию ВСРМ (табл. 3). Светло-коричневым цветом указаны режимы, в которых стрелу можно выдвигать на максимальный вылет, красным – режимы, входящие в диапазон моментов, требуемых для движения манипулятора с головкой при всех значениях вылета стрелы 126...217 кНм), при которых при вылете стрелы до определенного значения произойдет переворот, темно-красным – режимы, при которых переворот произойдет в любом случае.

Таблица 3.

Максимальный реализуемый момент брутто манипулятора, не приводящий к опрокидыванию ВСРМ, T брутто, кН·м

Table 3.

Maximum actual manipulator gross moment not resulting in FDSM overturning, T gross, kN·m

β , град	α , град					
	0	5	10	15	20	25
-90	310	310	310	310	310	310
-45	310	310	310	310	310	310
0	310	310	310	310	310	310
45	310	310	310	287	214	145
90	310	262	214	175	134	92

По результатам расчетов видно, что работа манипулятора при его развороте на 90° в сторону уклона может привести к перевороту ВСРМ даже при минимальном уклоне. Также опасными являются случаи работы манипулятора при его развороте на 45° в сторону уклона при значении уклона от 15° . Для предотвращения опрокидывания необходимо ограничивать момент подъема манипулятора при указанных опасных режимах работы в соответствии со значениями, указанными в табл. 2. Для этого необходимо разработать конструктивные или организационные решения, определяющие недопустимые режимы работы: уклон, положение манипулятора, реализуемый момент (вылет, поднимаемый груз) [11-13].

Возможные варианты увеличения устойчивости опрокидыванию

В данном разделе производится оценка возможности применения двух вариантов компоновок для увеличения устойчивости к опрокидыванию: 1) использование мостов более тяжелой серии НАФТАР 76 (применяемых в разрабатываемой погрузочно-транспортной машины (ПТМ)) и более широких колес с шинами размерностью 750/55B26.5 (прототип 2 в табл. 4); 2) использование более легкого манипулятора Mesera 240H, обладающего меньшим подъемным моментом (прототип 3 в табл. 4).

Таблица 4.

**Основные характеристики прототипов
в зависимости от комплектации покупными агрегатами**

Table 4.

Basic characteristics of prototypes depending on their completing with purchased units

Характеристики прототипов			
Основные характеристики прототипов в зависимости от комплектации покупными агрегатами	Прототип 1 (основной вариант)	Прототип 2	Прототип 3
Количество колес	8	8	8
Максимальная мощность двигателя, кВт при об/мин		242 2 100	
Емкость топливного бака, л	400	400	400
Мосты	Тандемная тележка НАФТАР 75	Тандемная тележка НАФТАР 76	Тандемная тележка НАФТАР 75
Модель манипулятора	Kesla 1809H	Kesla 1809H	Mesera240H
Максимальный вынос стрелы, м	8,7	8,7	10
Максимальный крутящий момент подъема, кНм	310	310	240
Грузоподъемность на вылете 8м, кг	2700	2700	2250
Диапазон моментов, требуемых для движения манипулятора с головкой при всех значениях вылета стрелы, кНм	126..217	126..217	124..205
Угол наклона манипулятора вперед/назад/угол поворота	20°/20°/280°	20°/20°/280°	20°/20°/240°
Длина шасси, мм	7 890		7890
Ширина шасси, мм	2996	3150	2996
Колесная база, мм	4 080		4080
Максимальная скорость на передачах, км/ч	7/23	6,7/21	7/23
Дорожный просвет, мм	630	740	630

Использование комплектации прототипа 2 позволит увеличить опорную ширину ВСРМ, а также снаряженную массу, что повышает устойчивость к опрокидыванию. Кроме этого, применение одинаковых колес и мостов на разрабатываемых ВСРМ и ПТМ позволят полностью унифицировать полураму, на которой установлены силовой агрегат и кабина. Использование комплектации прототипа 3 позволит уменьшить опрокидывающий момент, тем самым уменьшит вероятность опрокидывания ВСРМ. Результаты расчета параметров устойчивости прототипа 2 представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5.

Коэффициенты запаса по опрокидыванию прототипа 2, $k_{опр}$

Table 5.

Turnover safety margins of prototype 2, k_{to}

β , град	α , град					
	0	5	10	15	20	25
-90	1,143	1,288	1,479	1,746	2,154	2,868
-45	2,616	1,923	2,382	3,162	4,811	10,837
0	∞	10,121	5,022	3,305	2,433	1,899
45	1,616	1,393	1,222	1,085	0,971	0,873
90	1,143	1,027	0,931	0,849	0,777	0,713

Таблица 6.

Максимальный реализуемый момент брутто манипулятора, не приводящий к опрокидыванию прототипа 2, T брутто, кН·м

Table 6.

Maximum actual manipulator gross moment not resulting in prototype 2 overturning, T gross, kN·m

β, град	α, град					
	0	5	10	15	20	25
-90	310	310	310	310	310	310
-45	310	310	310	310	310	310
0	310	310	310	310	310	310
45	310	310	310	310	287	208
90	310	310	272	224	178	131

Таблица 7.

Коэффициенты запаса по опрокидыванию прототипа 3, k_{т0}

Table 7.

Turnover safety margins of prototype 3, k_{t0}

β, град	α, град					
	0	5	10	15	20	25
-90	1.158	1.31	1.51	1.792	2.228	3.01
-45	1.638	1.958	2.441	3.276	5.104	12.597
0		10.037	4.98	3.277	2.413	1.883
45	1,638	1.408	1,223	1,092	0,976	0,876
90	1,158	1,039	0,94	0,856	0,783	0,717

Таблица 8.

Максимальный реализуемый момент брутто манипулятора, не приводящий к опрокидыванию прототипа 3, T брутто, кН·м

Table 8.

Maximum actual manipulator gross moment not resulting in prototype 3 overturning, T gross, kN·m

β, град	α, град					
	0	5	10	15	20	25
-90	240	240	240	240	240	240
-45	240	240	240	240	240	240
0	240	240	240	240	240	240
45	240	240	240	240	225	164
90	240	240	216	178	141	70

Выводы

Предложенные меры действительно расширяют безопасный диапазон режимов работ ВСРМ. Однако имеются недостатки, из-за которых применение данных вариантов затруднительно. При варианте прототипа 2 (табл. 4) основным недостатком является увеличение снаряженной массы до значения 23 395 кг и ее превышение указанного в техническом задании значения (22 000 кг). Кроме этого, использование мостов более тяжелой серии и колес большей размерности ведет к удорожанию конструкции. Недостатком прототипа 3 (табл. 4) является низкое значение подъемного момента на безопасных режимах работы. Также комплект поставки манипуляторов компании Mesera не предусматривает возможности поставки ком-

плексного решения установки манипулятора, ротатора и харвестерной головки. При решении данной проблемы, возможно дальнейшее рассмотрение данного варианта.

В качестве основного принимается вариант на мостах серии *TAP75* и с использованием манипулятора *Kesla 1809H* (прототип 1).

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.

Библиографический список

1. **Лаптев, А.В.** Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера / А.В. Лаптев, А.В. Матросов // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 5. С. 77-85.
2. **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.
3. **Чайка, О.Р.** Моделирование работы харвестера на выборочных рубках леса / О.Р. Чайка // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 2 (55).
4. **Karpachev, S.P.** Simulation modelling of the felling-bunching machine logging operation with the multiple-tree accumulating head / S.P. Karpachev, M A Bykovskiy // IOP Conference Series: Earth Environ. Sci. 2019. V. 226, 012021.
5. **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.
6. **Редкозубов, А.В.** Математическая модель поверхности движения лесных дорог / А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2014. – № 4 (106). – С. 348–352.
7. **Visser, R.** Expanding Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review / R. Visser, K. Stampfer // Croat. j. for. eng. – 2015. – V. 36. – P. 321–331.
8. **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.
9. **Karpachev, S.P.** Simulation modelling of the multioperational felling-bunching machine / S.P. Karpachev, M A Bykovskiy // IOP Conference Series: Earth Environ. 2019. V. 316, 012018.
10. Комплексная Оценка Эффективности Технологий Лесосечных Работ (на примере конкретных природно-производственных условий) // LAP Lambert Academic Publishing. 2011 № 15
11. **Клубничкин, В.Е.** Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2020. № 3. С. 93-102.
12. **Stampfer, K.** Efficiency of mechanised steep terrain harvesting systems. / K. Stampfer. // COFE-CWF Conference, 2000. – P. 1-4.
13. Виды лесосечных работ, порядок и последовательность их проведения, Формы технологической карты лесосечных работ, Формы акта осмотра лесосеки и Порядка осмотра лесосеки [Приказ Минприроды России от 27.06.2016 N 367].

*Дата поступления
в редакцию: 15.01.2021*