

УДК 621.878

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОГРЕЙДЕРА

В.А. Шевченко, доц., к.т.н., А.М. Чаплыгина, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Показано, что для описания параметров землеройно-транспортных машин (ЗТМ) целесообразно использовать боковое смещение и угол поворота машины относительно продольной оси. Скорость движения автогрейдера оказывает незначительное влияние на формирование показателей курсовой устойчивости. Наиболее существенное влияние на параметры курсовой устойчивости автогрейдера оказывает угол установки отвала в плане.

Ключевые слова: землеройно-транспортная машина, курсовая устойчивость, траектория движения, автогрейдер, боковое смещение.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ АВТОГРЕЙДЕРА

В.О. Шевченко, доц., к.т.н., О.М. Чаплигіна, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Показано, що для опису параметрів землерійно-транспортних машин (ЗТМ) доцільно використовувати бічний зсув і кут повороту машини відносно поздовжньої осі. Швидкість руху автогрейдера справляє неістотний вплив на формування показників курсової стійкості. Найбільш істотний вплив на параметри курсової стійкості автогрейдера має кут установки відвала у плані.

Ключові слова: землерійно-транспортна машина, курсова стійкість, траєкторія руху, автогрейдер, бічний зсув.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE IMPACT OF THE MOTOR-GRADER COURSE STABILITY PARAMETERS

V. Shevchenko, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., A. Chaplygina, postgraduate,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Both a side shift of earth-moving machines and the rotation angle relative to the machine longitudinal axis have been shown to describe the parameters of earth-moving machines. The travel speed of the motor-grader has an insignificant impact on the formation of course stability parameters. The blade angle in the plane has the most influential impact on motor-grader course stability parameters.

Key words: earth-moving machines, course stability, motion path, motor grader, side shift.

Введение

Основными рабочими операциями автогрейдера являются профилирование и планирование дорожного полотна, перемещение и распределение грунта и строительных мате-

риалов. При выполнении указанных операций, в зависимости от рабочих условий, основной отвал рекомендуется располагать с углом захвата 90°–45° (при вырезании кюветов 40°–20°) и углом перекоса в вертикаль-

ной плоскости 0° – 18° (при срезании откосов до 60°).

Подобное расположение отвала по отношению к основной траектории движения машины приводит к формированию сложной пространственной схемы его нагружения. В частности, помимо продольной горизонтальной составляющей сопротивления качению, возникают дополнительные боковые и вертикальные силы сопротивления. Воздействие последних приводит к смещению автогрейдера с прямолинейной траектории движения в процессе выполнения рабочей операции.

На практике для обеспечения курсовой устойчивости оператору приходится постоянно корректировать положение машины. Тем не менее, потеря курсовой устойчивости приводит к снижению качественных показателей выполняемых рабочих операций, необходимости реализации дополнительных проходов. В конечном итоге это ведет к падению производительности, увеличению себестоимости выполняемых работ и удельного расхода топлива.

Анализ публикаций

Проблема курсовой устойчивости широко дискутируется применительно к технологическим объектам, испытывающим значительные боковые нагрузки во время движения.

При движении на поворотах, а также по поверхностям, имеющим поперечный уклон, происходит поперечная деформация шин транспортных средств [1]. Происходит это вследствие воздействия боковой нагрузки Y . Наиболее распространенным показателем курсовой устойчивости для этой группы машин является угол бокового увода δ или коэффициент сопротивления боковому уводу

$$K_y = \frac{dY}{d\delta}. \quad (1)$$

Данный подход к оценке курсовой устойчивости не может быть в полной мере реализован для колесных землеройно-транспортных машин (ЗТМ), поскольку, в связи с особенностями выполнения рабочих операций, на них устанавливаются многослойные шины, обладающие значительной поперечной жесткостью. Кроме того, для ЗТМ, по сравнению с транспортной техникой, реализуется иная

картина формирования сил, дестабилизирующих параметры курсовой устойчивости. В работе [2] авторы обратили внимание на экспериментально зафиксированную потерю устойчивости хода автогрейдера за счет бокового скольжения переднего моста. По мнению авторов, причиной этого является неправильное распределение опорных реакций на мостах машины. Оценку этого показателя предлагается выполнять с помощью коэффициентов

$$C_1 = \frac{G_1}{G}, C_2 = \frac{G_2}{G}, \quad (2)$$

где G – сила тяжести автогрейдера; G_1, G_2 – сила тяжести, приходящаяся соответственно на передний и задний мост машины.

Для оценки степени курсовой устойчивости автогрейдера рекомендуется использовать коэффициент [2]

$$k_x = \frac{R_x}{R_{x\max}}, \quad (3)$$

где R_x – наибольшая продольная составляющая реакции грунта на нож, при которой еще не теряется устойчивость хода в данных условиях работы и при данной развеске по мостам; $R_{x\max}$ – наибольшая продольная составляющая реакции грунта на нож, при которой еще не теряется устойчивость хода в тех же условиях работы, но при наимыгоднейшей развеске по мостам.

Недостаток данного подхода заключается в том, что авторы не учитывают действие вертикальной и боковой составляющих сопротивления качению, действующих на отвал. Кроме этого, оценка курсовой устойчивости проводится для режима статического нагружения рабочего органа, в то время как для любой ЗТМ рабочий процесс разработки грунта сопровождается появлением дополнительных инерционных нагрузок, вызванных неустановившимся режимом движения машины.

В работе [3] рассмотрены условия обеспечения курсовой устойчивости универсальных землеройных машин с качающимся рабочим органом. Автор предлагает использовать в качестве оценки курсовой устойчивости ЗТМ с гусеничным ходовым оборудованием ко-

эффицент $k_{\text{ку}}$, который определяется отношением момента, удерживающего машину от поворота, $M_{\text{оп}}$, к действующему разворачивающему моменту $M_{\text{п}}$

$$k_{\text{ку}} = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{п}}} > 1. \quad (4)$$

В работе автор отмечает, что машины, рабочий процесс которых сопряжен с возвратно поступательным движением рабочего органа, должны быть оборудованы системами снижения динамических нагрузок. Поэтому в зависимости (4) учитываются предельные статические моменты и не учитываются динамические составляющие внешнего сопротивления.

Цель и постановка задачи

Целью работы является экспериментальная оценка влияния параметров рабочего процесса автогрейдера на показатели курсовой устойчивости.

Исследование влияния показателей курсовой устойчивости автогрейдера

Для достижения поставленной цели в условиях УНПБ ХНАДУ были подготовлены и проведены экспериментальные исследования на автогрейдере ДЗк–251. При проведении опытов реализовывался процесс резания грунта II категории углом основного отвала стружкой поперечного сечения. Относительная влажность грунта составляла 19–25 %. В качестве варьируемых параметров были выбраны начальная скорость автогрейдера и угол поворота отвала в плане (табл. 1).

Таблица 1 Уровни варьирования факторов

Варьируемая величина	Обозначение	Единицы измерения	Уровни варьирования фактора
Угол установки отвала в плане	α	град	45°
			90°
			13°
Скорость движения машины	V	м/с	1,01
			1,4
			1,57

Параметры факторов задавались на основе рекомендованных значений для основных

режимов работы автогрейдера. В процессе проведения экспериментов было отмечено, что потеря курсовой устойчивости автогрейдера происходит за счет бокового скольжения переднего моста (рис. 1).



Рис. 1. Наглядное представление движения машины в ходе проведения эксперимента

При этом траектория движения машины состоит из прямолинейных участков и участков, где происходит разворот автогрейдера (рис. 2).

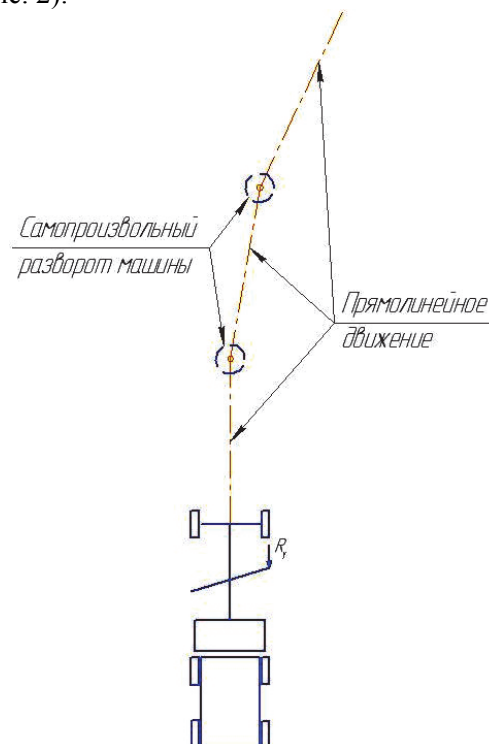


Рис. 2. Схема движения машины

В связи с изложенным, критериями оценки потери курсовой устойчивости автогрейдера были приняты боковое смещение и угол поворота машины относительно продольной оси.

Замеры бокового смещения и угла поворота относительно продольной оси машины производились по схеме, указанной на рис. 3.

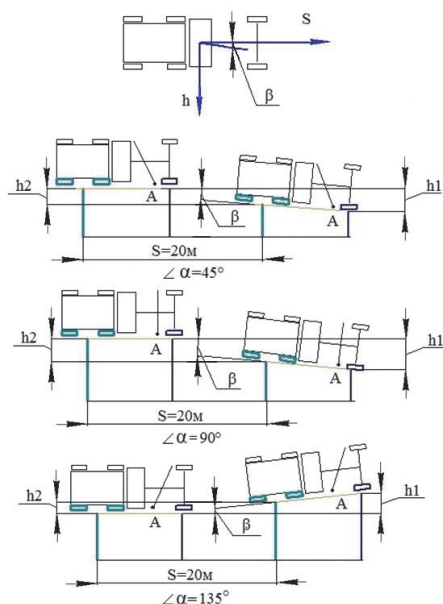


Рис. 3. Схема замера параметров, характеризующих курсовую устойчивость автогрейдера

Точкой А обозначен край отвала, которым производилось резание грунта. Данные замеров, соответствующие приведенной системе координат, представлены в табл. 2.

Таблица 2 Параметры, характеризующие курсовую устойчивость автогрейдера

Экспериментальные данные		Смещение, м		β – угол поворота машины
α, град	V, м/с	h ₁ – передние колеса	h ₂ – задние колеса	
45	1,01	3,471	2,575	47°44'
	1,4	0,339	0,764	22°26'
	1,57	0,160	0,228	3°57'
90	1,01	0,339	0,299	2°17'
	1,4	1,454	1,352	6°4'
	1,57	2,411	2,306	6°5'
135	1,01	1,427	1,329	5°50'
	1,4	0,937	0,674	17°6'
	1,57	0,287	1,567	65°31'

Таблица 3 Параметры, характеризующие траекторию движения автогрейдера

Угол установки отвала	Скорость, м/с	Величина смещения, м										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
90°	1,01	0	0,09	0,55	0,28	0,45	0,51	0,69	0,7	0,69	0,73	0,84
	1,4	0	0	–0,06	0,21	0,23	0,45	0,37	0,52	0,71	0,91	1
	1,57	0	–0,4	–0,2	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,7
45°	1,01	0	0,23	0,43	0,73	1	1,23	1,43	1,63	1,91	2,18	2,43
	1,4	0	0,2	0,36	0,4	0,35	0,2	0,25	0,23	0	0,01	0,12
	1,57	0	0,12	0,25	0,33	0,59	0,74	0,75	0,75	0,66	0,7	0,7
135°	1,01	0	0,09	0,02	–0,03	–0,19	–0,31	–0,57	–0,72	–0,83	–1,03	–1,04
	1,4	0	–0,12	–0,26	–0,48	–0,66	–0,81	–0,76	–0,83	–0,87	–0,83	–0,88
	1,57	0	–0,05	–0,13	–0,3	–0,42	–0,6	–0,79	–0,99	–1	–1,23	–1,4

Продолжение табл. 3 Параметры, характеризующие траекторию движения автогрейдера

Угол установки отвала	Скорость, м/с	Уравнение регрессии
90°	1,01	$R = -0,0014 + 0,0664S + 0,0406S^2$
	1,4	$R = 0,0016 + 0,0210S - 0,0410S^2$
	1,57	$R = -0,0010 + 0,1206S - 0,2193S^2$
45°	1,01	$R = 0,1210 - 0,0100S$
	1,4	$R = -0,0076 + 0,2509S$
	1,57	$R = -0,0033 + 0,1032S - 0,0576S^2$
135°	1,01	$R = -0,0017 - 0,0287S + 0,1121S^2$
	1,4	$R = 0,0032 - 0,1088S + 0,0495S^2$
	1,57	$R = -0,0009 - 0,0561S + 0,0517S^2$

Анализ экспериментальной информации показывает, что предельные боковые смещения передней оси на захватке 20 м составляют 3,5 м, а заднего моста – 2,6 м. Угол поворота продольной оси машины соответственно равен 20°–65°. Резание опережающим углом отвала приводит к смещению и повороту машины в сторону прикладываемой нагрузки. В случае, когда резание выполняется отстающим углом отвала, смещение и поворот машины происходят в противоположном направлении.

Обработка полученных данных с помощью программного обеспечения MATLAB позволила получить ряд регрессионных зависимостей, представленных в табл. 3.

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 4–6 в виде траекторий движения машины при сменных факторах.

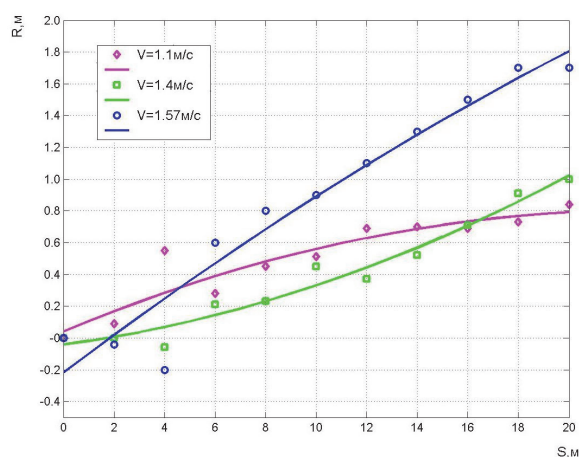


Рис. 4. График уравнений регрессии при угле захвата $\alpha = 45^\circ$

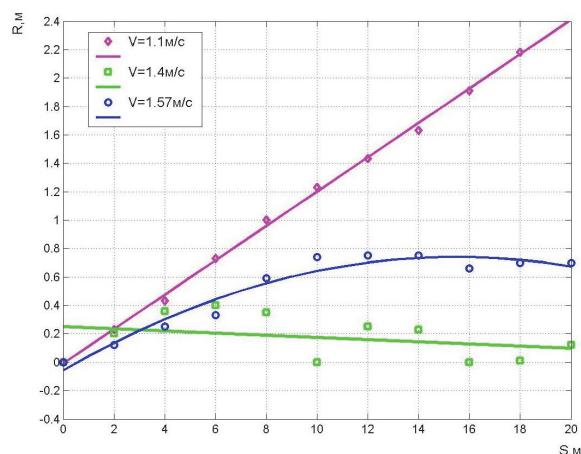


Рис. 5. График уравнений регрессии при угле захвата $\alpha = 90^\circ$

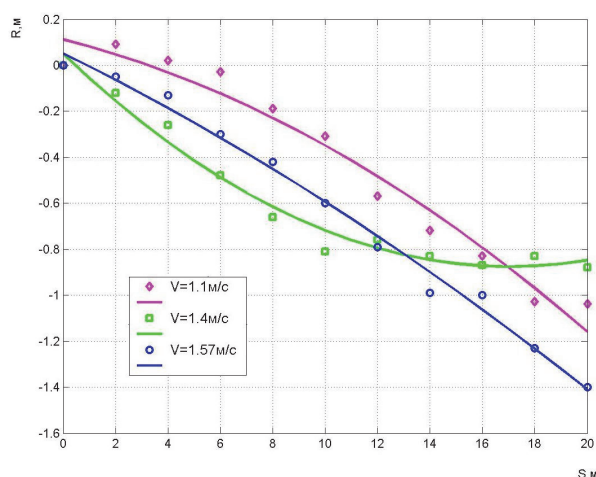


Рис. 6. График уравнений регрессии при угле захвата $\alpha = 135^\circ$

Анализ результатов показал, что наиболее характерно движение машины воспроизводится уравнением регрессии второй степени. Так, при увеличении скорости от 1,01 до 1,57 м/с боковое смещение носило случайный характер: в одних случаях наблюдался его рост пропорционально скорости, в других, при малых показателях скорости, – значение смещения увеличивалось. Не было замечено строгой закономерности изменения показателей курсовой устойчивости относительно изменения скорости машины. Высокие значения показателей экспериментальных данных объясняются повышенной влажностью поверхностного слоя грунта, малым коэффициентом сцепления движителей с грунтом, высоким коэффициентом скольжения.

Вывод

Для более точного описания параметров курсовой устойчивости ЗТМ, в частности автогрейдера, целесообразно использовать два показателя – боковое смещение и угол поворота машины относительно продольной оси.

Скорость движения автогрейдера оказывает несущественное влияние на формирование показателей курсовой устойчивости. В ходе эксперимента не было замечено строгой закономерности изменения показателей курсовой устойчивости относительно изменения скорости машины.

Наиболее существенное влияние на показатели курсовой устойчивости автогрейдера оказывает угол установки отвала в плане.

Резание опережающим или отстающим углом отвала приводит к изменению направления бокового смещения, которое лежит в пределах: при резании опережающим углом – 0,12–2,43 м; при резании отстающим углом – 0,8–1,4 м; при угле захвата 90° внецентренное приложение сопротивления качению приводит к боковому смещению 0,8–1,7 м на длине забоя 20 м.

Литература

1. Севров К.П. Автогрейдеры. Конструкции, теория, расчет / К.П. Севров, Б.В. Горячко, А.А. Покровский. – М.: Машиностроение, 1970. – С. 95–121.
2. Коваль А.Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних зе-

млерийних машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт» / А.Б. Коваль. – Дніпропетровськ, 2014. – 21 с.

3. Работа автомобильной шины / под ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 10 июня 2014 г.
