

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2.032

DOI 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА НА ДАВЛЕНИЕ НА ПОЧВУ И МАНЕВРЕННОСТЬ

Василий Петрович Горобей¹, Сергей Сергеевич Старчиков¹, Вадим Юрьевич Москалевич^{1,2}

¹Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», Ялта, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» – Институт «Агротехнологическая академия», Аграрное, Республика Крым, Россия

Автор, ответственный за переписку: Василий Петрович Горобей, trial237@rambler.ru

Аннотация

Приведены результаты исследований влияния опорной поверхности гусеничного трактора, оборудованного механизмом изменения продольной базы, на показатели давления на почву и его маневренность. Экспериментальные исследования проводились на гусеничных траках в почвенном канале (влажность почвы в пределах 13–17 % определялась весовым методом, твердость почвы в пределах 24–27 Н/см² определялась твердомером Ревякина на глубину 0–30 см по каждому варианту опытов). Для исследований взяты сдвоенные стальные гусеницы виноградникового трактора Т-70В (ширина 300 мм, длина 420 мм, масса 13,64 кг), сдвоенные стальные гусеницы трактора ДТ 75 (ширина 420 мм, длина 420 мм, масса 21,47 кг) и фрагмент РАГ – резино-армированной гусеницы (ширина 300 мм, длина 900 мм, с фиксированной длиной опорной части 420 мм, масса 19,64 кг) от заданного веса (максимальный 1 т) водоналивного катка длиной 1200 мм, диаметром 750 мм. Давление на почву определяли при помощи тензостанции ZET 017-Т, датчика мембранного модели ДМТ-2Т, программного обеспечения ZETlab и обработки числовых значений в программе Microsoft Excel. Расчетные параметры ширины гусениц 200, 300, 360 и 400 мм, опорной длины – 1030 и 1455 мм. Определено, что при массе трактора $m = 5070$ кг давление на почву металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и РАГ $b = 300$ мм не превышает допустимых значений и составляет соответственно $q = 4,41$ Н/см² и $q = 4,06$ Н/см². Проведен кинематический и силовой анализ маневренности гусеничного трактора с конструктивными особенностями ходовой системы. Результаты исследований могут быть использованы на стадии проектирования ходовой системы виноградникового гусеничного трактора тягового класса 2.

Ключевые слова: трактор, ходовая система, опорная поверхность, тип гусениц, продольная база, тензостанция, давление, почва, сила сопротивления, поворотливость

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет бюджетных средств

Для цитирования: Горобей В. П., Старчиков С. С., Москалевич В. Ю. К определению влияния опорной поверхности специального гусеничного трактора на деформационные показатели почвы // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 76–87. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008.

DETERMINING THE EFFECT OF THE GROUND-CONTACT SURFACE OF A SPECIAL CRAWLER TRACTOR ON SOIL PRESSURE AND MANEUVERABILITY

Vasily P. Gorobey¹, Sergey S. Starchikov¹, Vadim Yu. Moskalevich^{1,2}

¹Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the National Research Center "Kurchatov Institute", Yalta, Russia

²Vernadsky Crimean Federal University – Institute of Agrotechnological Academy, Agrarnoye, the Republic of Crimea, Russia

Corresponding author: Vasily P. Gorobey, trial237@rambler.ru

Abstract

The results of studies of the influence of the ground-contact surface of a crawler tractor equipped with the mechanism for changing the longitudinal base on the pressure indicators, on the soil and its maneuverability are presented. The experiments were conducted on crawler tracks in a soil channels (soil moisture within the range of 13–17% was determined gravimetrically; soil hardness within the range of 24–27 N/cm² was determined with a Revyakin hardness tester at a depth of 0–30 cm for each experimental variant). The following tracks were used in the research: twin steel tracks of the T-70V vineyard tractor (300 mm wide, 420 mm long, 13.64 kg in weight), twin steel tracks of the DT 75 tractor (420 mm wide, 420 mm long, 21.47 kg in weight), and the fragment of the RAG rubber-reinforced track (300 mm wide, 900 mm long, with a fixed support length of 420 mm, 19.64 kg in weight) from a given weight (maximum 1 t) of a water-filled roller 1200 mm long and 750 mm in diameter. The pressure on soil was determined using a ZET 017-T strain gauge, a DMT-2T membrane model sensor, ZETlab software and numerical value processing in Microsoft Excel. The calculated parameters of the track width are 200, 300, 360 and 400 mm, the support length is 1030 and 1455 mm. It was found out that with the tractor mass $m = 5070$ kg, the pressure of metal tracks with a width of $b = 400$ mm and RAG $b = 300$ mm on the soil does not exceed the permissible values and is $q = 4.41$ N/cm² and $q = 4.06$ N/cm², respectively. The kinematic and power analysis of the maneuverability of a tracked tractor with the design features of the undercarriage was carried out. The research results can be used in the design phase of the undercarriage system for a class 2 vineyard crawler tractor.

Keywords: tractor, undercarriage, ground-contact surface, track type, longitudinal base, strain gauge station, pressure, soil, drag force, maneuverability

Funding: the study on which this article is based was funded by public funds

For citation: Gorobey VP, Starchikov SS, Moskalevich VYu. Determining the effect of the ground-contact surface of a special crawler tractor on soil pressure and maneuverability. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):76–87. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.31.30.008. (In Russ.).

Введение. Известно, что одним из направлений повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения при этом энергетических затрат является поддержание и регулирование свойств почвы в оптимальном состоянии [1, 2]. Уплотнение почвы происходит под воздействием естественных факторов – дождя, особенно при отсутствии растительного покрова, сил гравитации. Однако ученые и специалисты основной причиной уплотнения считают механическое воздействие ходовой системы тракторов, комбайнов, почвообрабатывающих машин, средств для внесения в почву органических и минеральных удобрений, извести и др. Отрицательные последствия уплотнения почвы разнообразны: ухудшаются водно-воздушный режим почвы и условия минерального питания растений, снижается урожайность, усиливается эрозия почвы,

возрастают затраты материальных ресурсов на обработку почвы [3]. К основным физическим свойствам почвы относят плотность, структурное состояние, твердость, пористость (общая, межагрегатная и отдельных агрегатов) [4]. Исследованиями, посвященными установлению закономерностей деформации почвы, из-за сложности материала, получить исчерпывающие зависимости пока не удастся [5]. В решении проблемы устранения и предупреждения избыточного уплотнения почв на первое место должен быть выдвинут комплекс инженерно-технических, организационных и агротехнических мероприятий [3]. Отмечается, что применение комплексов техники с допустимым воздействием на почву позволит снизить недобор урожая, в частности зерновых, в среднем на 2–3 ц/га, затраты топлива на проведение полевых работ на 15–20 %, а также повысит производительность МТА на 20–25 % [1]. На уплотненных тракторах деланках происходит снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Достоверное снижение урожайности овса получили при трех- и пятикратном уплотнении колесными тракторами и при пятикратном уплотнении гусеничным трактором [6]. Развитие конструкций ходовых систем гусеничных тракторов направлено на снижение уплотняющего воздействия движителя на почву, повышение их тягово-сцепных качеств, обеспечение требуемой долговечности узлов и механизмов и улучшение условий труда тракториста [7]. Резиноармированные гусеницы (РАГ) начинают находить все более широкое применение в современных тракторах с меньшим на 25–30 % уплотняющим воздействием на почву при одинаковой ширине с металлическими гусеницами [8]. Создание мобильных энергосредств, способных уменьшить вредное уплотняющее воздействие на почву, позволяет повысить урожайность возделываемых культур и сохранить верхний плодородный слой почвы от эрозии [9].

Известно также, что при передних ведущих колесах, расположении центра тяжести на расстоянии около 400 мм от передней оси вследствие обратного реактивного момента нагрузка на задние поддерживающие колеса увеличивается, на передние ведущие – уменьшается, давление обоих колес на гусеницу несколько выравнивается. Описанная комбинация позволяет не опасаться опрокидывания трактора и расположить крюк значительно выше сравнительно с обычными гусеничными тракторами [10]. Обосновано, что при движении на подъём по косогору для трактора с передним приводом смещение центра давления меньше, чем для трактора с задним приводом, соответственно, трактор с передним приводом способен преодолевать больший предельный угол подъёма как с металлическими, так и с резиноармированными гусеницами [11].

Для снижения давления движителя на почву у болотоходных тракторов предусмотрены движители с широкими гусеницами, кроме того, продольную базу у этих тракторов обычно увеличивают, опуская направляющее колесо. При опущенных направляющих колесах ухудшается маневренность, поэтому на тракторах устанавливают механизм, позволяющий поднимать и опускать направляющие колеса [12].

Определение влияния опорной поверхности специального (виноградникового) переднеприводного гусеничного трактора, оборудованного механизмом изменения продольной базы, на деформационные характеристики почвы и его маневренность представляет интерес.

Материалы и методы. Для обоснования ходовой системы при разработке предпосылок создания виноградникового гусеничного трактора класса 2, отвечающего современным требованиям (прототип – универсально-пропашной трактор Т-70, его свекловичная и виноградниковая модификации) [13], экспериментальные исследования проводились на гусеничных траках в почвенном канале (влажность почвы в пределах 13–17 % определялась весовым методом, твердость почвы в пределах 24–27 Н/см² определялась твердомером Ревякина на глубину 0–30 см по каждому варианту опытов). Для проведения исследований по определению зависимости деформационных характеристик почвы были взяты сдвоенные стальные гусеницы виноградникового трактора Т-70В (ширина 300 мм, длина 420 мм, масса 13,64 кг), сдвоенные стальные гусеницы трактора ДТ 75 (ширина 420 мм,

длина 420 мм, масса 21,47 кг) и фрагмент резиновой гусеницы РАГ (ширина 300 мм, длина 900 мм, с фиксированной длиной опорной части 420 мм, масса 19,64 кг) от заданного веса (максимальный 1 т) водоналивного катка длиной 1200 мм, диаметром 750 мм. Общие виды металлических гусеничных траков и фрагмента РАГ приведены на рисунке 1.

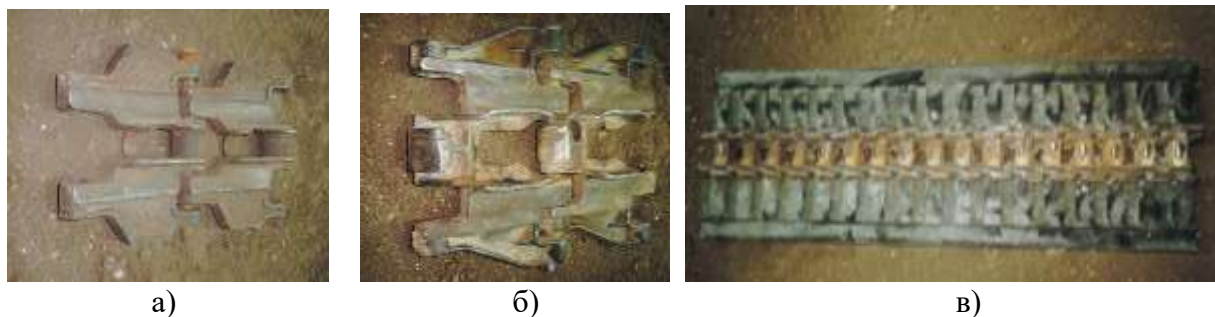


Рисунок 1. Общие виды сдвоенных металлических траков:

а) гусеницы шириной 300 мм; б) гусеницы шириной 420 мм;
в) фрагмента РАГ шириной 300 мм

При исследованиях усилие давления на почву определяли при помощи тензостанции ZET 017-T с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) и выводом данных на персональный компьютер (ПК). Применялся тензодатчик мембранный модели ДМТ-2Т (2024 г. выпуска) класс точности – С (по ГОСТ 8.631-2013 (OIMLR 60:2000), максимальная нагрузка (E_{MAX}) – 2 т, предел допустимой нагрузки (E_{LIM}), % от E_{MAX} – 150 %, длина кабеля 12 м. Управление работой тензостанции и регистрация данных осуществлялись программным обеспечением ZETLAB, обработка числовых значений – в программе Microsoft Excel. Общие виды узлов установки для исследований деформационных характеристик почвы в почвенном канале Института «Агротехнологическая академия» представлены на рисунке 2.

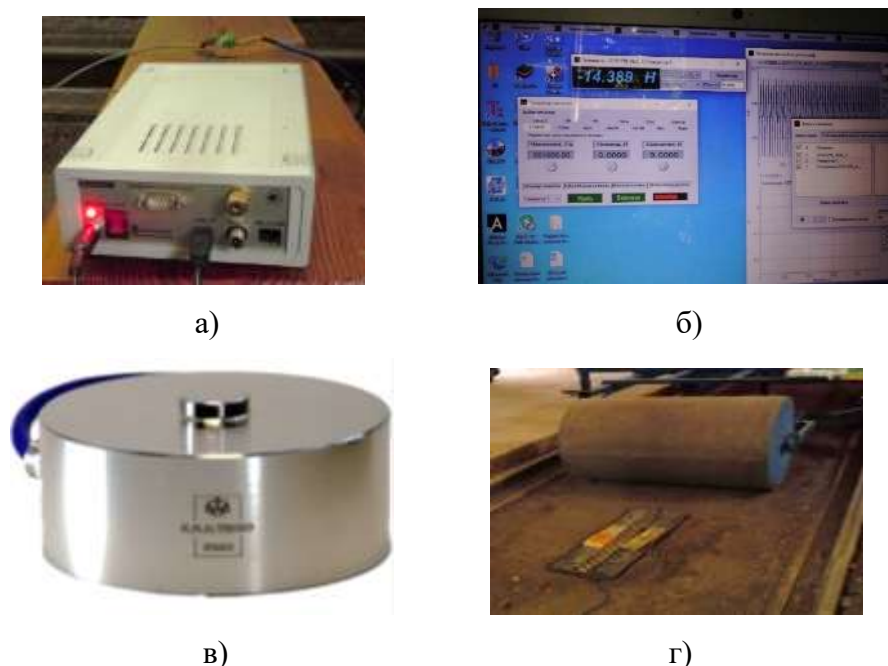


Рисунок 2. Общие виды узлов установки для исследований деформационных характеристик почвы:

а) тензостанция; б) скриншот окна ноутбука с программным обеспечением ZETLab; в) датчик;
г) резиновоармированная гусеница и каток

Показатели, определяемые динамометрированием, являются исходными для решения основных задач машиностроения и использования машин, во многих случаях экспериментальные работы являются почти единственным источником получения данных, необходимых для расчета сельскохозяйственных машин и тракторных агрегатов [14].

Результаты и обсуждение. В результате исследований в почвенном канале давления на почву фрагментов опорных элементов гусеничных тракторов Т-70В, ДТ-75 и РАГ (рисунок 1) построена диаграмма (рисунок 3) зависимости влияния типа гусениц (1 – металлических шириной $b = 400$ мм; 2 – металлических шириной $b = 300$ мм; 3 – РАГ шириной $b = 300$ мм) на давление на почву.

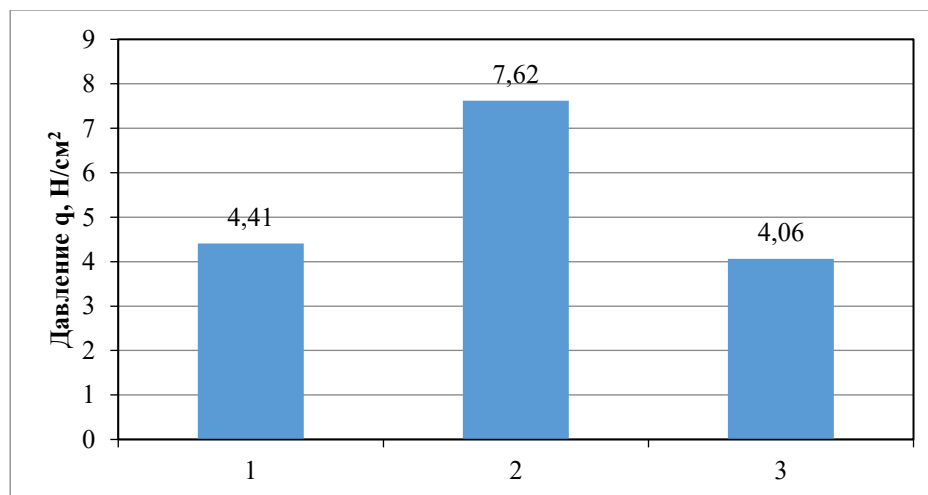


Рисунок 3. Диаграмма показателей давления трактора на почву через опорную поверхность гусениц:

1 – металлических шириной $b = 400$ мм; 2 – металлических шириной $b = 300$ мм;
3 – РАГ шириной $b = 300$ мм

Анализ данных диаграммы, приведённой на рисунке 3, показывает, что при массе трактора $m = 5070$ кг давление на почву металлических гусениц шириной $b = 300$ мм превышает допустимые значения ($q = 4\text{--}5$ Н/см²) и составляет $q = 7,62$ Н/см². Давление на почву металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и резиноармированных гусениц (РАГ) $b = 300$ мм не превышает допустимых значений и составляет соответственно $q = 4,41$ Н/см² и $q = 4,06$ Н/см². Наименьшее давление на почву оказывают резиноармированные гусеницы ($q = 4,06$ Н/см²), которое меньше давления металлических гусениц шириной $b = 400$ мм и $b = 300$ мм соответственно в 1,1 и 1,9 раза.

Для кинематического и силового анализа процесса поворота специального гусеничного трактора рассмотрим схему, приведённую на рисунке 4, на которой показаны основные параметры ходовой части: ширина колеи B , ширина гусениц b , длина опорной поверхности гусениц L . Поворот гусеничного трактора с угловой скоростью ω обеспечивается различными силами тяги P_1 и P_2 , силами сопротивления поступательному движению P_{f1} и P_{f2} на каждом гусеничном борту. Гусеница, движущаяся с большей скоростью (забегающая гусеница), поворачивает трактор в сторону отстающей гусеницы. При этом трактор совершает одновременно два движения: поступательное и вращательное вокруг центра поворота O (рисунок 4), положение которого зависит от типа механизма поворота, распределения сил по длине гусениц и сцепления гусениц с почвой.

При повороте гусеницы сминают и срезают грунт в направлении, перпендикулярном к продольной оси трактора (рисунок 4), вследствие чего возникают силы сопротивления повороту R_1 , R_2 , действующие в направлении, перпендикулярном к направлению движения,

на расстоянии от центров поворота гусениц O_1 и O_2 , зависящем от длины опорной поверхности гусениц L и коэффициента k_L , учитывающего давление под опорной поверхностью гусениц.

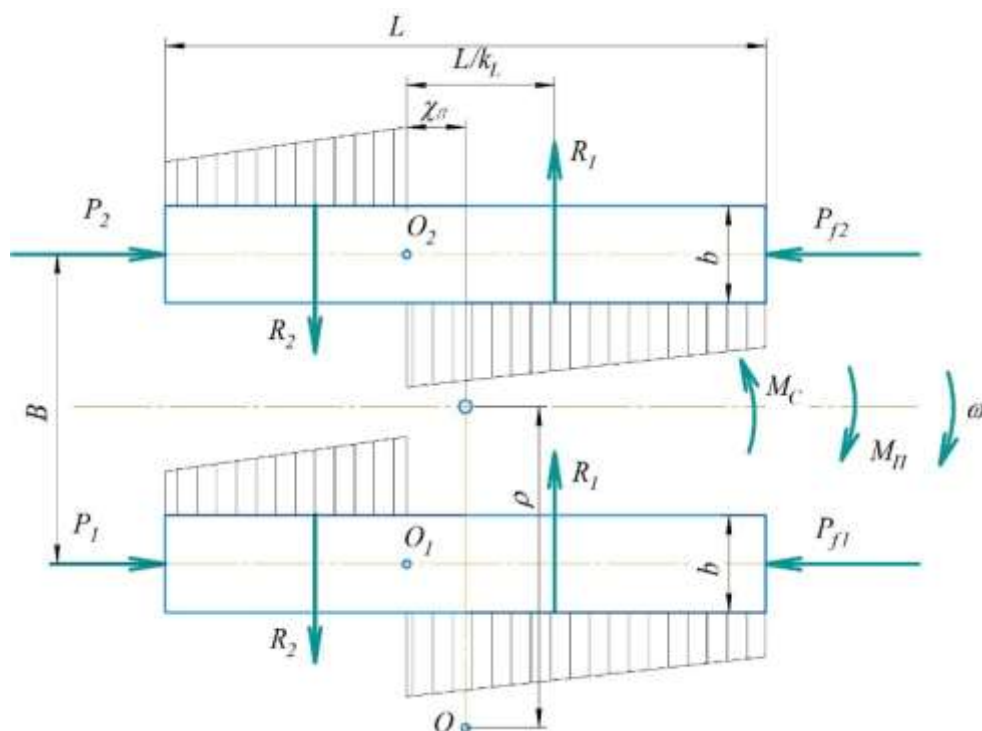


Рисунок 4. Схема поворота гусеничного трактора

Радиус поворота ρ – расстояние от центра поворота до продольной плоскости симметрии трактора – можно определить по выражению

$$\rho = 0,5B \cdot \frac{v_2(1-\delta_2) + v_1(1-\delta_1)}{v_2(1-\delta_2) - v_1(1-\delta_1)}, \quad (1)$$

где B – ширина колеи трактора;

v_2 и v_1 – теоретические скорости движения соответственно забегающей и отстающей гусениц, создаваемые механизмом поворота;

δ_2 и δ_1 – буксование соответственно забегающей и отстающей гусениц.

Внешний радиус поворота трактора

$$\rho_{\pi} \approx 0,5\sqrt{(2\rho + B + b)^2 + (L + 2\chi_{\pi})^2}, \quad (2)$$

где b – ширина гусеницы;

L – длина опорной поверхности гусениц (рисунок 5).

На рисунке 5 (а – вид сбоку, б – вид сверху) приведена схема ходовой части трактора с параметрами для расчетов, где 1 – приводное колесо, 2 – передняя каретка, 3 – задняя каретка, 4 – механизм «подъема – опускания» направляющего колеса, 6 – направляющее колесо, L_1 – длина опорной поверхности гусеничного обвода при поднятом направляющем колесе, L_2 – длина опорной поверхности гусеничного обвода при опущенном направляющем колесе, и шириной гусеницы, мм: $b_1 - 200$; $b_2 - 300$; $b_3 - 360$; $b_4 - 400$.

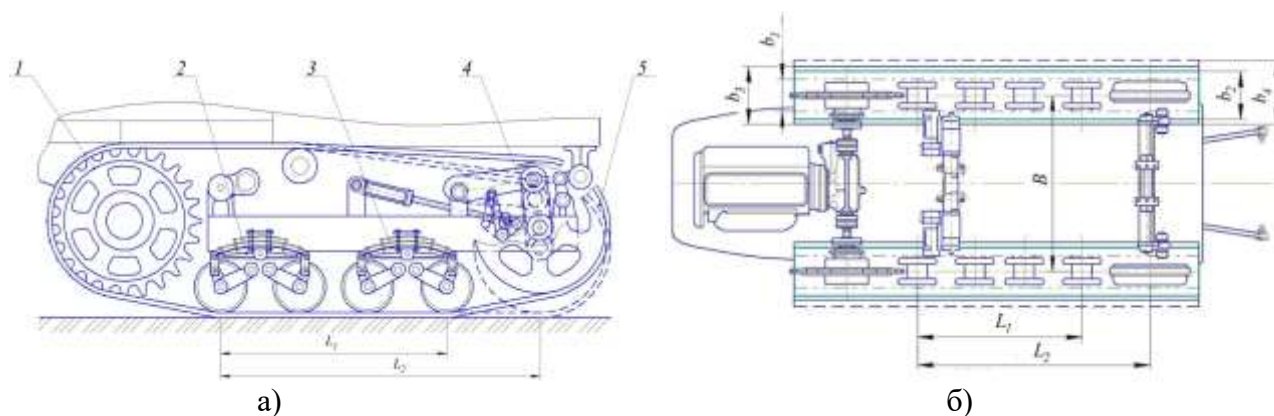


Рисунок 5. Схема ходовой части гусеничного трактора:
а) вид сбоку; б) вид сверху

Длину поворота S_{Π} и ширину поворотной полосы E_{Π} определяют по формулам [15], приняв коэффициент поворачиваемости

$$K_{пов} = \frac{J_T v^2}{M_{\Pi T}}, \quad (3)$$

где J_T – момент инерции трактора относительно вертикальной оси, проходящей через точку, сохраняющую при повороте скорость прямолинейного движения v , при расположении этой точки на оси продольной симметрии трактора

$$J_T = \frac{G}{12g} [L^2 + (B + b)^2]; \quad (4)$$

$M_{\Pi T}$ – избыточный поворачивающий момент:

$$M_{\Pi T} = M_{\Pi} - M_{рез}, \quad (5)$$

где M_{Π} – поворачивающий момент;

$M_{рез}$ – результирующий момент сопротивления повороту.

Для определения поворачивающего момента применили выражение [15]

$$M_{\Pi} = 0,5B[(P_2 - P_1) + (f_{\Pi}G_1 - f_{\Pi}G_2)], \quad (6)$$

где f_{Π} – коэффициент сопротивления самопередвижению трактора при повороте

$$f_{\Pi} \approx f \left(1 + \frac{10}{10 + \rho_B} \right). \quad (7)$$

Силу сопротивления поступательному движению каждой гусеницы можно определить произведением коэффициента сопротивления движению f и приходящейся на неё нагрузки G' [16]:

$$P_f = f G'. \quad (8)$$

Величина коэффициента сопротивления движению f зависит от качества грунта, конструкции гусениц и подвески. Его значения находятся в пределах 0,06–0,15 [15].

При повороте трактора центр поворота смещается относительно середины опорных поверхностей гусениц на величину χ_{Π} в результате действия смещающих моментов от продольных и поперечных сил. При действии только поперечных сил центр поворота сместится назад относительно оси, проходящей через середины опорных поверхностей гусениц, на величину

$$\chi_Y = \frac{P_Y - P_{\Pi Y}}{\mu_{\Pi \max} G} \cdot \frac{L}{2}, \quad (9)$$

где $\mu_{\Pi \max}$ – коэффициент сопротивления повороту, $\mu_{\Pi \max} = 0,5$ [15].

Смещение центра поворота трактора в результате смещения центра давления и действия поперечных сил определяется по выражению

$$\chi_0 = -\frac{1}{3x_0} + \sqrt{\frac{1}{9x_0^2} + 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\chi_{0Y}}{x_0}}, \quad (10)$$

где $x_0 = \frac{2x_D}{L}$; $\chi_{0Y} = \frac{2\chi_Y}{L}$.

Силы сопротивления повороту зависят от веса трактора G и конструкции ходовой части, что позволяет выразить их через коэффициент трения при боковом сдвиге гусениц по почве, называемый коэффициентом сопротивления повороту μ_{Π} . Момент сопротивления повороту трактора определяется по выражению

$$M_C = \frac{\mu_{\Pi} GL}{k_L} k_C, \quad (11)$$

где μ_{Π} – коэффициент сопротивления повороту, зависящий от радиуса поворота [15]

$$\mu_{\Pi} = \frac{\mu_{\Pi \max}}{a + (1-a) \cdot (\rho / B + 0,5)}, \quad (12)$$

где a – коэффициент, принимающий значения в пределах 0,8–0,9 для плотных почв и 0,75–0,85 для полевых условий;

k_C – поправочный коэффициент момента сопротивления [15]

$$k_C = (1 + x_0^2) \cdot (1 + x_0 \chi_0) - 4x_0 \chi_0; \quad (13)$$

k_L – коэффициент, учитывающий давление под опорной поверхностью гусениц.

Из уравнений (8), (9), (11) следует, что момент сопротивления повороту трактора зависит от коэффициента сопротивления движению f , коэффициента сопротивления повороту μ_{Π} , длины опорной поверхности гусениц L и ширины колеи трактора B .

Согласно расчётам по выражениям (2), (10), (11), (12), (13) построены графики зависимостей внешнего радиуса поворота трактора ρ_{Π} от ширины гусениц b и момента сопротивления повороту M_C от коэффициента k_L для различных значений длины опорной поверхности гусениц L , представленные на рисунке 6.

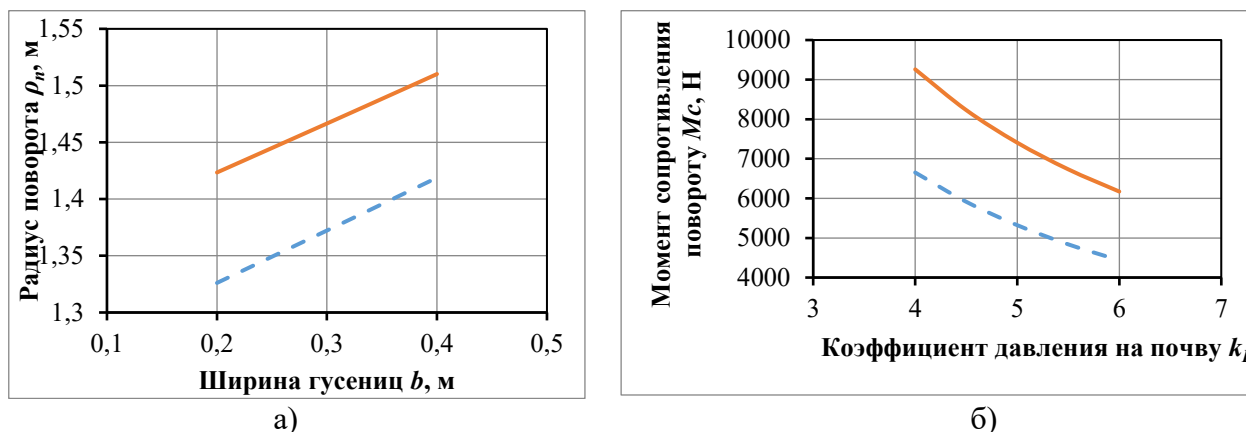


Рисунок 6. Графики зависимостей:

- а) внешнего радиуса поворота трактора ρ_n от ширины гусениц b ;
б) момента сопротивления повороту M_c от коэффициента k_L при различной опорной длине продольной базы - - - $L_1 = 1,03$ м, — $L_2 = 1,46$ м

Анализ представленных на рисунке 6 графиков показывает, что при подъёме направляющего колеса трактора с гусеницами шириной b от 200 до 400 мм радиус его поворота ρ_n уменьшается в 1,1 раза. Меняя высоту расположения направляющего колеса, можно изменить распределение давления по опорной поверхности гусениц, что приведёт к увеличению значения коэффициента k_L с 4–4,5 до 5,5–6 и, следовательно, позволит уменьшить в 1,4–2 раза значение момента сопротивления повороту трактора со стороны почвы.

Согласно графическим зависимостям (рисунок 6), для улучшения поворотливости трактора следует уменьшить величину момента сопротивления повороту путем снижения коэффициента сопротивления повороту μ_n , увеличения коэффициента k_L или уменьшения отношения L/B . Положение направляющего колеса позволяет изменять продольную базу и распределение давления по опорной поверхности гусениц и, следовательно, изменить значение момента сопротивления повороту со стороны почвы, а изменением давления на почву под опорной поверхностью гусениц можно улучшить поворотливость трактора за счёт уменьшения сопротивления его повороту.

Заключение. По результатам экспериментальных исследований определения зависимости деформационных характеристик почвы под фрагментами гусеничных трактов в почвенном канале установлены закономерности уплотняющего воздействия на почву специального трактора с металлическими и резиноармированными гусеницами различной опорной поверхности.

Проведен кинематический и силовой анализ маневренности гусеничного трактора с конструктивными особенностями ходовой системы.

Полученные данные могут быть использованы на стадии проектирования ходовой системы специального гусеничного трактора.

Список источников

1. Русанов В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М. : ВИМ, 1998. 368 с.
2. Кушнарев А. С., Мацепуро В. М. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении промышленных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. М. : Всесоюзный ордена «Знак Почета» сельскохозяйственный институт заочного образования, 1986. 56 с.

3. Черепанов Г. Г., Чудиновских В. М. Уплотнение пахотных почв и пути его устранения. М. : МС Агроинформ, 1987. 62 с. (Серия «Обзоры по важнейшим научно-техническим проблемам»).
4. Определение нормативов допустимых давлений на почву / А. Г. Бондарев, В. А. Рusanов, П. М. Сапожников [и др.] // Переуплотнение пахотных почв. Причины, следствия, пути уменьшения. М. : Наука, 1987. С. 166–173.
5. Кравченко В. И. Уплотнение почв машинами. Алма-Ата : Наука, 1986. 96 с.
6. Влияние ходовых систем тракторов на уплотнение почвы / Н. Н. Романюк, И. С. Крук, А. Н. Орда [и др.] // Агропанорама. 2024. № 1 (161). С. 2–11.
7. Ходовая система гусеничного трактора / Е. С. Наумов, В. Ф. Платонов, В. М. Шарипов [и др.]. М. : МГТУ «МАМИ», 2011. 64 с.
8. Шарипов В. М. Конструирование и расчет тракторов : учебник для студентов вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 2009. 752 с.
9. Проблема воздействия на почву ходовых систем мобильных энергосредств и эффективные пути решения / З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов, А. В. Рusanов, В. И. Прядкин // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий : сборник научных докладов Международной научно-технической конференции (17–18 сентября 2014 г., Москва). М. : ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 327–329.
10. Львов Е. Д. Тракторы их конструкция и расчет. 2-е изд., испр. и доп. М.–Л. : Государственное научно-техническое издательство, 1931. 655 с.
11. Горобей В. П. Исследование влияния параметров основных компоновочных узлов узкогабаритного гусеничного трактора на показатели его устойчивости // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2024. № 38 (201). С. 208–220.
12. Семенов В. М., Власенко В. Н. Трактор. М. : Агропромиздат, 1989. 352 с.
13. Трактор Т-70С : учебное пособие для средних сельских профессионально-технических училищ / А. Ф. Крыстя, А. П. Новиков, Ю. Г. Урасов, М. М. Харлан. М. : Высшая школа, 1979. 150 с.
14. Методы и средства натурной тензометрии : справочник / М. Л. Дайчик, Н. И. Пригоровский, Г. Х. Хуршудов. М. : Машиностроение, 1989. 240 с.
15. Анилович В. Я., Водолаженко Ю. Т. Расчёт и конструирование сельскохозяйственных тракторов : справочное пособие. М. : Машиностроение, 1976. 456 с.
16. Львов Е. Д. Теория трактора. 5-е изд., испр. и доп. М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. 252 с.

Refetences

1. Rusanov VA. Problema pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnyye puti yeye resheniya = The problem of soil compaction by movers and the effective ways of its solving. Moscow: VIM; 1998. 368 p. (In Russ.).
2. Kushnarev AS, Matsepuro VM. Umen'sheniye vrednogo vozdeystviya na pochvu rabochikh organov i khodovykh sistem mashinnykh agregatov pri vnedrenii industrial'nykh tekhnologiy vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur = Reducing the harmful impact of working bodies and running systems of machine units on the soil when introducing industrial technologies for cultivating agricultural crops. Moscow: Vsesoyuznyy ordena Znak Pocheta sel'skokhozyaystvennyy institut zaochnogo obrazovaniya; 1986. 56 p. (In Russ.).
3. Cherepanov GG, Chudinovskikh VM. Uplotneniye pakhotnykh pochv i puti yego ustraneniya. Obzory po vazhneyshim nauchno-tekhnicheskim problemam = The compaction of arable soils and ways of its elimination. Reviews on the most important scientific and technical problems. Moscow: MS Agroinform Publishing; 1987. 62 p. (In Russ.).
4. Bondarev AG, Rusanov VA, Sapozhnikov PM, Sedov MV, Utkaeva VF, ShchepotyeV VN. Opredeleniye normativov dopustimyykh davleniy na pochvu. Pereuplotneniye pakhotnykh pochv. Prichiny, sledstviya, puti umen'sheniya = Determination of standards for permissible pressure

- on the soil. Compaction of arable soils. Causes, consequences, ways of reduction. Moscow: Nauka Publishing; 1987. P. 166–173. (In Russ.).
5. Kravchenko VI. Uplotneniye pochv mashinami = Soil compaction by machines. Alma-Ata: Nauka Publishing; 1986. 96 p. (In Russ.).
 6. Romanyuk NN, Kruk IS, Orda AN, Shklyarevich VA, Rakova NL, Vorobey AS. The influence of tractor running gears on soil compaction. Agropanorama. 2024;(1):2–11. (In Russ.).
 7. Naumov ES, Platonov VF, Sharipov VM, Shchetinin YuS, Eglit IM. Khodovaya sistema gusenichnogo traktora = The running gear of a crawler tractor. Moscow: MGTU MAMI; 2011. 64 p. (In Russ.).
 8. Sharipov VM. Konstruirovaniye i raschet traktorov = Design and calculation of tractors. 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 2009. 752 p. (In Russ.).
 9. Godzhaev ZA, Shevtsov VG, Rusanov AV, Pryadkin VI. Problema vozdeystviya na pochvu khodovykh sistem mobil'nykh energosredstv i effektivnyye puti resheniya = The problem of the impact on the soil of the running systems of mobile power vehicles and the effective solutions. In: Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii = Innovative development of the agro-industrial complex of Russia based on intelligent machine technologies. Collection of scientific reports of the International scientific and technical conference (September 17–18 2014, Moscow). Moscow: FGBNU VIM; 2014. P. 327–329. (In Russ.).
 10. Lvov ED. Traktory ikh konstruktsiya i raschet = Tractors, their design and calculation. 2nd ed. Moscow–Leningrad: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo. 1931. 655 p. (In Russ.).
 11. Gorobey VP. Study of the influence of the parameters of the main assembly units of a narrow-sized crawler tractor on its stability indicators. Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriy. 2024;(38):208–220. (In Russ.).
 12. Semenov VM, Vlasenko VN. Tractor. Moscow: Agropromizdat Publishing; 1989. 352 p. (In Russ.).
 13. Krystya AF, Novikov AP, Urasov YuG, Kharlan MM. Traktor T-70S = Tractor T-70C. Moscow: Vysshaya shkola Publishing; 1979. 150 p. (In Russ.).
 14. Daichik ML, Prigorovsky NI, Khurshudov GH. Metody i sredstva naturnoy tenzometrii: Spravochnik = Methods and means of full-scale tensometry: Handbook. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing; 1989. 240 p. (In Russ.).
 15. Anilovich VYa, Vodolazchenko YuT. Raschët i konstruirovaniye sel'skokhozyaystvennykh traktorov. Spravochnoye posobiye = Calculation and design of agricultural tractors. Reference manual. Moscow: Mashinostroyeniye Publishing; 1976. 456 p. (In Russ.).
 16. Lvov ED. Teoriya traktora = Tractor Theory. 5th ed. Moscow: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury; 1960. 93 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Горобей Василий Петрович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», ул. Кирова, д. 31, г. Ялта, Российская Федерация, 298600
e-mail: trial237@rambler.ru

Старчиков Сергей Сергеевич, ведущий инженер группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», ул. Кирова, д. 31, г. Ялта, Российская Федерация, 298600
e-mail: ryjgrf048@mail.ru

Москалевич Вадим Юрьевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры технических систем в агробизнесе ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Институт «Агротехнологическая академия», старший научный сотрудник группы разработки и исследований макетных и экспериментальных технологических установок Крымского научно-исследовательского центра виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт», пгт. Аграрное, Республика Крым, Российская Федерация, 295492
e-mail: v_moskalevich@mail.ru

Information about the authors

Gorobey Vasily Petrovich, doctor of technical sciences, leading researcher of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations, Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", 31 Kirova Street, Yalta, 298600, the Russian Federation
e-mail: trial237@rambler.ru

Starchikov Sergey Sergeevich, leading engineer of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations, the Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", 31 Kirova Street, Yalta, 298600, the Russian Federation
e-mail: ryjgrf048@mail.ru

Moskalevich Vadim Yurievich, doctor of technical sciences, associate professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness; "Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky", Institute "Agrotechnological Academy"; senior researcher of the group for the development and research of mock-up and experimental technological installations of the Crimean research center for viticulture and winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the Research Center "Kurchatov Institute", Agrarnoye, Republic of Crimea, 295492, the Russian Federation
e-mail: v_moskalevich@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

30.07.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

07.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

25.08.2026