

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГУСЕНИЧНОГО ОБВОДА НА ДАВЛЕНИЕ НА ГРУНТ ОПОРНЫХ ТРАКОВ

И.В. Лесковец, канд. техн. наук, доцент (Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

### Аннотация

*В статье проведен анализ методик выбора основных параметров гусеничного движителя. Отмечается, что существующие методики не позволяют теоретическим путем получить значения давлений на грунт каждого из опорных траков машины. Предлагается программное обеспечение для определения этих величин, разработанное автором на основании математических моделей. Приведены результаты расчетов максимального и минимального давления на грунт гусеничного движителя в зависимости от выбранных параметров. Установлено, что предлагаемая методика позволяет определять давления на грунт под опорными траками на стадии проектирования с целью выбора наилучших параметров машины.*

*The analysis of techniques of a choice of key parameters of the caterpillar propeller is carried out in the article. It is noted that existing techniques don't allow receiving a theoretical way value of pressure upon soil of each of basic tracks of the car. The software for determination of these sizes developed by the author on the basis of mathematical models is offered. The results of calculations of the maximum and minimum pressure upon soil of the caterpillar propeller depending on the chosen parameters are given. It is established that the technique offered by the author allows determining pressure upon soil under basic tracks at a design stage for the purpose of a choice of the best parameters of the car.*

### Введение

В настоящее время величина удельного давления гусеничной машины на грунт определяется на основании результатов испытаний, или усредненных расчетов. В соответствии с межгосударственным стандартом 23734-98 «Тракторы промышленные. Методы испытаний» величина давления гусеничного трактора на грунт определяется на основании данных о массе трактора и площади опорной поверхности гусениц. Такая методика позволяет определить среднюю величину давления на грунт по всей площади опорной поверхности. Конструкция гусеничного движителя и размеры его основных элементов для тракторов разного назначения может быть такой, что некоторые траки располагаются между опорными колесами, особенно это характерно для быстроходных машин, что приводит к неравномерности давления на грунт под каждым траком опорной части гусеницы.

При проведении предварительных расчетов параметры элементов гусеничного обвода определяются на основании методик, изложенных в [1-3]. По рекомендациям авторов данных изданий, выбор параметров траков, колес, геометрических параметров взаимного их расположения в гусеничном обводе осуществляется на основании регрессионных зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований. Такой подход предполагает выбор основных параметров деталей и механизмов гусеничного обвода из определенных диапазонов. Например, длины траков, полученные по рекомендованным за-

висимостям, могут различаться более чем в 1,5 раза. Понятно, что давление на грунт под траками опорной части гусеничного обвода зависит от длины траков. Однако существующие методики не позволяют расчетным путем получить величины этих давлений для конкретных условий.

Кроме параметров траков, на величины давления на опорную поверхность могут оказывать влияние расположение центра тяжести вдоль продольной оси машины, величины коэффициентов жесткости подвесок колес, которые могут отличаться друг от друга на разных колесах, особенно в машинах с навесным рабочим оборудованием, расстояние между опорными колесами и другие параметры гусеничного обвода.

В случае, когда расстояние между опорными колесами так велико, что между ними может располагаться более чем один трак, центр тяжести смещен относительно геометрического центра машины вдоль продольной оси, коэффициенты жесткости подвесок колес неравнозначны, величины давления на грунт под разными траками будут существенно отличаться друг от друга, и не будут равны величине, определяемой по ГОСТ 23734-98. Задача определения величин давления на грунт теоретическим путем является важной, т.к. во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства эти величины оказывают существенное влияние на результаты производства, например на величину урожайности в сельском хозяйстве, сохранность окружающей среды в лесном хозяйстве, возможность проведения мелиоративных работ в строительстве.

### Основная часть

#### Обоснование выбора исходных данных для проведения расчетов

Автором разработана методика определения параметров гусеничного движителя на основе имитационного моделирования. Основные положения использованных в имитационной модели гусеничного обвода математических моделей изложены в работах [4-6]. Имитационная модель представляет собой программный продукт [7], фрагмент работы которого для решения поставленной задачи представлен на рис. 1.

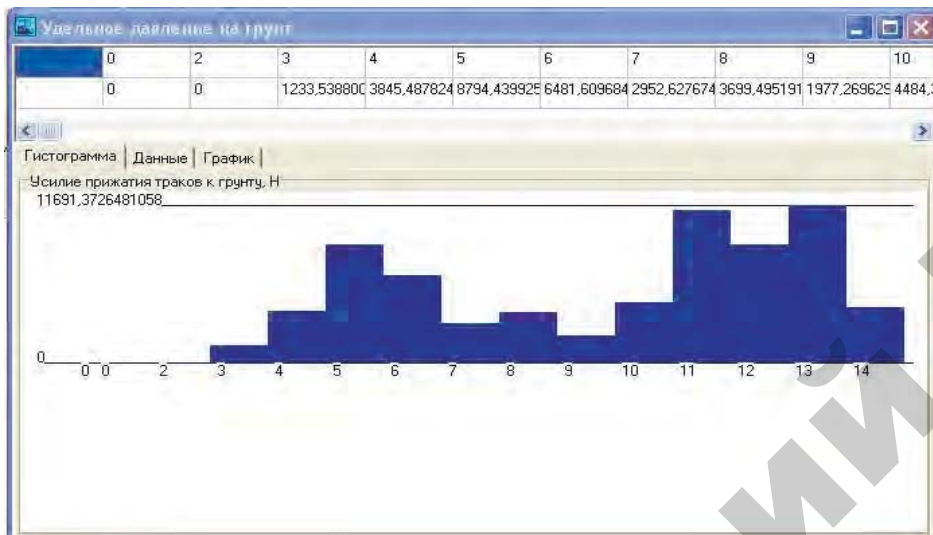


Рисунок 1. Пример гистограммы распределения сил прижатия траков к грунту: вдоль оси абсцисс – номера траков; вдоль оси ординат – усилия прижатия траков к грунту

В качестве анализируемой машины принят гусеничный трактор, с массой 12 тонн, мощностью двигателя – 150 кВт, который широко применяется в промышленности и сельском хозяйстве.

Для предварительных расчетов будем считать длину гусеничного движителя (расстояние между центрами ведущего и направляющего колес) равной 4 м. В качестве факторов варьирования для проведения вычислительных экспериментов приняты: длина трака, расстояние между опорными колесами, величина смещения центра тяжести от геометрического центра машины, коэффициенты жесткости подвесок опорных колес, величина сил натяжения между траками.

В качестве функций отклика в вычислительных экспериментах определялись величины среднего давления на грунт, максимальное давление на грунт под траком, минимальное давление на грунт под траком, коэффициент неравномерности давления на грунт, который рассчитывался как отношение максимального давления на грунт под траком к минимальному.

Система координат, в которой представлена машина, является декартовой, с центром координат в левом нижнем углу, положительное направление отсчета углов – против часовой стрелки.

С целью нахождения предельных значений варьируемых параметров проведен предварительный анализ

априорной и численной информации. Диапазон варьирования длиной траков определялся на основании методики, изложенной в [2]. Для трактора с заданной массой длина траков, в зависимости от выбранных параметров из указанных диапазонов, может составлять от 150 до 230 мм. В проводимых экспериментах длина трака изменялась в указанных пределах с шагом 20 мм.

Для определения возможного расстояния между колесами анализировалось их взаимное расположение в конструкции движителя (рис. 2).

Для проведения расчетов принято, что количество колес постоянно и равно пяти, расстояние между ведущим и первым опорным колесом ( $l_1$ , рис. 2) изменяется таким образом, чтобы обеспечить заданное расстояние между опорными колесами при постоянной длине машины. Расстояния между опорными колесами варьируются в пределах от 0,6 до 0,8 м.

Направление и величина смещения центра тяжести от геометрического центра машины, в зависимости от ее компоновки и наличия разного рабочего оборудования могут изменяться. Координата центра тяжести смещается относительно геометрического центра тяжести от минус 0,25 до плюс 0,25 м.

При проведении расчетов использовался шаг – 0,125 м. Величина сил натяжения между траками изменялась от 1,8 до 2 кН.

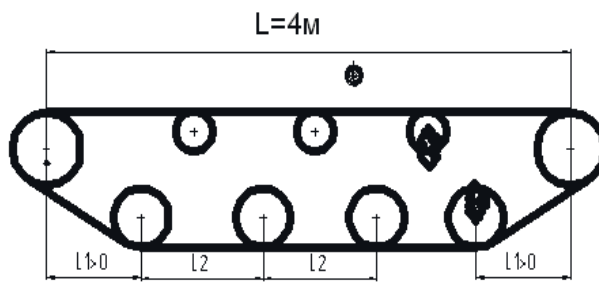


Рисунок 2. Взаимное расположение элементов конструкции гусеничного движителя

Перед проведением вычислений определены граничные значения факторов и интервалы их варьирования (табл. 1).

#### Результаты вычислений

На этапах вычислений значения остальных параметров, характеризующих свойства элементов гусеничного движителя, оставались постоянными. Учитывая, что количество необходимых вычислительных опытов

очень велико, предварительно составлена матрица планирования эксперимента, определяющая значения факторов варьирования при каждом опыте (табл. 2).

**Табл. 1 Наименование факторов и их значения**

Наименование	Ед. изм.	Минимальное значение	Шаг	Максимальное значение
длина трака	мм	150	20	230
расстояние между колесами	м	0,5	0,1	0,9
величина смещения центра тяжести	м	-0,25	0,125	0,25
сила натяжения между траками	кН	1,8	4,2	18,6

**Таблица 2. Нормированные и действительные значения факторов**

Наименование нормированных значения факторов	ед. изм.	Значения факторов				
		-2	-1	0	1	2
длина трака	мм	150	170	190	210	230
расстояние между колесами	м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
величина смещения центра тяжести	м	-0,25	-0,125	0	0,125	0,25
сила натяжения между траками	кН	1,8	6	10,2	14,4	18,6

Изменяя значения факторов при проведении вычислительных экспериментов, устанавливались значения функций отклика для каждого случая в соответствии с факторным планом эксперимента. В связи с тем, что эксперимент является детерминированным, т.е. проводился с помощью вычислительной имитационной модели, каждый опыт проводился только один раз, результаты представлены в табл. 3. Гистограммы распределения давления на грунт под каждым траком приведены на рис. 3-6, номер гистограммы соответствует номеру опыта в таблице.

Регрессионный анализ полученных результатов, проведенный с помощью программного пакета «STATISTICA», показывает, что выбранные факторы варьирования конфликтны, т.е. изменение значений одних факторов автоматически приводит к изменению значений других. Например, увеличение расстояний между колесами приводит к увеличению площади опоры машины на грунт и соответственно к уменьшению давлений на опорную поверхность под каждым траком. Кроме того, увеличение расстояний между колесами при работе машины на упруго-деформируемом основании приводит к упругой деформации гусеничного обвода между колесами и увеличению давления на грунт под траками, расположенными под опорными колесами. Увеличение натяжения гусеничного обвода приводит к снижению среднего давления на грунт до определенного предела, т.к. за счет сил натяжения меняется периметр обвода и крайние колеса приподнимаются над опорной поверхностью за счет сил натяжения между опорными колесами и ведущим, и направляющим. Отклонение координаты центра тяжести от геометрического центра машины приводит к увеличению давлений на грунт под отдельными траками.

Из-за взаимного влияния параметров гусеничного обвода друг на друга невозможно определение коэффициентов регрессионных моделей, представленных в виде полинома, с целью использования полученных уравнений для поиска оптимальных значений параметров гусеничного обвода трактора. Для каждого ва-

**Таблица 3. Матрица планирования с полученными результатами**

№ оп.	факторы				функции отклика			
	Длина трака	Расстояние между колесами	Величина смещения центра тяжести	Сила натяжения между траками	Среднее давление на грунт, кПа	Максимальное давление на грунт, кПа	Минимальное давление на грунт, кПа	Коэффициент неравномерности
	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4
1	210	0,6	-0,125	14,4	47,9	128,3	2,2	58,32
2	210	0,6	0,125	6	50,4	127,1	0,8	158,88
3	210	0,8	-0,125	6	36,0	87,3	0,87	100,34
4	210	0,8	0,125	14,4	36,1	117,2	0,91	128,79
5	170	0,6	0,125	14,4	58,3	151,1	2,3	65,70
6	170	0,6	-0,125	6	67,8	148,3	2,0	74,15
7	170	0,6	0,125	6	78,6	189,7	2,6	72,96
8	170	0,6	0,125	14,4	59,6	151,0	1,4	107,86
9	190	0,7	0	1,8	62,8	130,1	1,0	130,10
10	190	0,7	0	18,6	30	97,4	2,8	34,79
11	190	0,7	-0,25	10,2	53,4	148,9	1,1	135,36
12	190	0,7	0,25	10,2	48,3	129,7	1,3	99,77
13	190	0,6	0	10,2	51,0	102,4	4,1	24,98
14	190	0,8	0	10,2	34,7	86,5	1,7	50,88
15	150	0,7	0	10,2	44,1	128,8	0,3	429,33
16	230	0,7	0	10,2	29,8	69,0	1,9	36,32
17	190	0,7	0	10,2	35,9	92,6	0,7	132,29

Гистограммы распределения усилий воздействия на грунт  
для разных вариантов

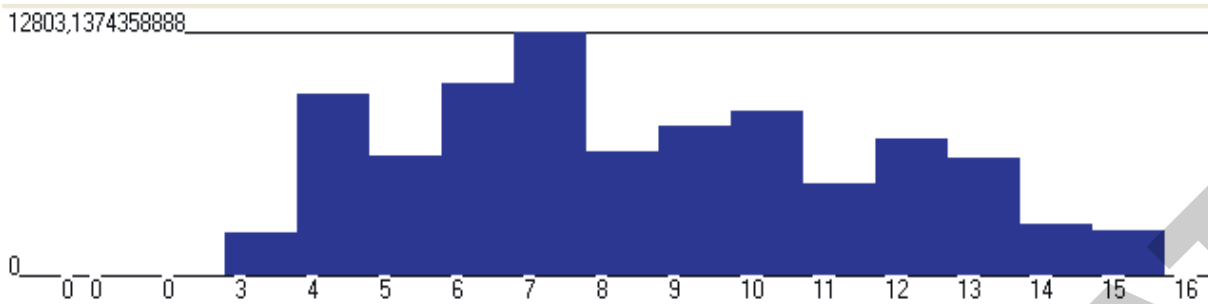


Рисунок 3. Длина трака – 210 мм; расстояние между колесами – 0,6 м; величина смещения центра тяжести – 0,125 м; сила натяжения гусеничного обвода – 14,4 кН

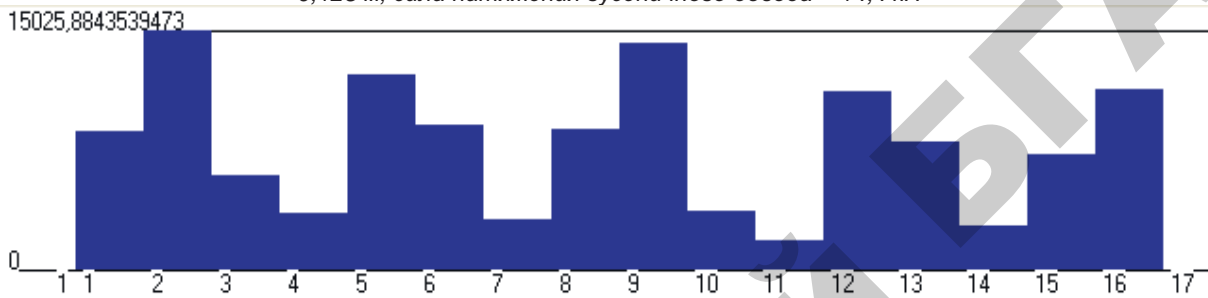


Рисунок 4. Длина трака – 170 мм; расстояние между колесами – 0,6 м; величина смещения центра тяжести – минус 0,125 м; сила натяжения гусеничного обвода – 6 кН

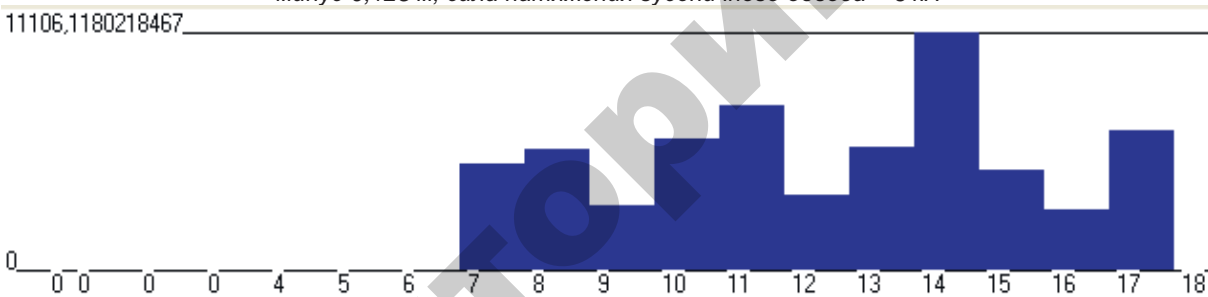


Рисунок 5. Длина трака – 190 мм; расстояние между колесами – 0,7 м; величина смещения центра тяжести плюс 0,25 – отсутствует; сила натяжения гусеничного обвода – 18,6 кН

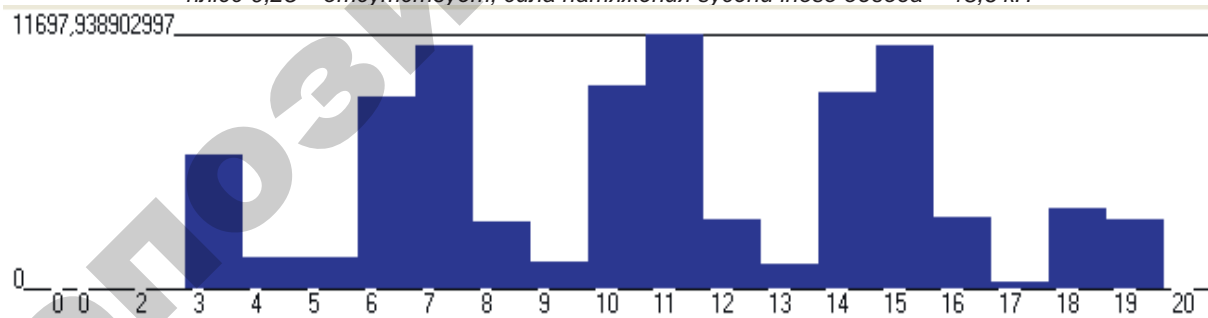


Рисунок 6. Длина трака – 150 мм; расстояние между колесами – 0,7 м; величина смещения центра тяжести отсутствует; сила натяжения гусеничного обвода – 10,2 кН

рианта гусеничного обвода необходимо проводить имитационное моделирование, изменяя значения параметров элементов в заданных диапазонах.

Определим влияние длины трака на параметры давления на грунт для гусеничного движителя с теми же

параметрами при совпадении расположения центра тяжести с геометрическим центром машины, расстоянием между колесами – 0,7 м, натяжением гусеничного обвода, которое определяется усилием между траками, равным 10 кН. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Зависимости давления на грунт от длины трака**

Номер	Длина трака	Среднее давление, кПа	Максимальное давление, кПа	Минимальное давление, кПа
2.1	150	40,8	117,2	0,77
2.2	170	36,8	95,7	1,37
2.3	190	36,1	96,9	1,6
2.4	210	40,1	95,1	1,6
2.5	230	30,9	77,9	0,77
2.5	250	35,8	76,6	1,2

Результаты расчетов показывают, что среднее давление под траками гусеничного движителя незначительно снижается, что происходит из-за уменьшения количества траков в опорном контуре и некоторого изменения распределения нагрузки от опорных колес. Максимальное давление снижается существенно, почти в 2 раза. Минимальное давление изменяется незначительно, значения этого давления во многом зависят от взаимного размещения опорных колес и находящихся между ними траками.

На следующем этапе определялась степень влияния натяжения гусеничного обвода на давление на грунт для тех же параметров обвода, при длине трака 230 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

**Таблица 5. Зависимости давления на грунт от натяжения в гусеничном обводе**

Номер	Натяжение, кН	Среднее давление, кПа	Максимальное давление, кПа	Минимальное давление, кПа
3.1	2,4	49,3	87,4	31,6
3.2	4,1	42,5	82,1	4,2
3.3	7,4	56,1	127,5	1,3
3.4	11	31,4	58,8	2,8
3.5	14	24,5	52,7	0,6
3.6	18	22,7	59,9	0,07
3.7	22	27,3	94,3	1,5

Анализ результатов вычислений показывает, что с увеличением натяжения гусеничного обвода среднее давление на грунт снижается, однако существенное увеличение натяжения приводит к значительным потерям на трение во время движения, поэтому при выборе этого параметра необходимо учитывать еще и другие критерии, такие как потери энергии на трение во время движения.

#### **Заключение**

В статье представлены результаты расчетов давления на грунт опорных траков гусеничного движителя с использованием имитационной модели, которая отличается тем, что учитываются геометрические и массово-жесткостные параметры элементов движителя, оказывающие значительное влияние на тяговые показатели и величины давлений на опорную поверхность.

Проведенные исследования показывают, что основные параметры гусеничного движителя являются взаимозависимыми, что существенно затрудняет их обоснованный выбор при проектировании.

Имитационная модель гусеничного движителя и программное обеспечение, разработанные автором, позволяют на основании вычислительных экспериментов обосновать основные параметры гусеничного движителя и установить их влияние на его выходные характеристики, в том числе и на величины давления на грунт под каждым опорным траком.

Предлагаемые теоретические положения и программное приложение предоставляют возможность на стадии проектирования выбирать наилучшие параметры взаимодействующих элементов гусеничного движителя, используя возможности проведения вычислительных экспериментов с заданной точностью в информационной среде, обеспечивающей наглядность и информативность, позволяющей выполнять расчеты характеристик гусеничного движителя при движении.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гуськов, В.В. Тракторы: теория / В.В. Гуськов. – М.: Высш. школа, 1977. – Ч. II. – 382 с.
2. Гуськов, В.В. Тракторы. Конструирование и расчет: учеб. пособ. для втузов по спец. «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, И.П. Ксенович, Ю.Е. Атаманов, А.С. Солонский; под общ. ред. В.В. Гуськова. – Мн.: Выш. школа, 1981. – Ч. III. – 383 с.
3. Ксенович, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксенович, В.А. Сотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
4. Лесковец, И.В. Математическая модель гусеничного движителя / И.В. Лесковец // Вестник Белорусско-Российского университета, 2006. – № 4. – С. 15-26.
5. Лесковец, И.В. Параметры элементов имитационной модели гусеничного движителя / И.В. Лесковец // Вестник Брестского гос. технич. ун-та: сер. машиностроение, 2006. – № 4. – С. 58- 63.
6. Лесковец, И.В. Методы моделирования гусеничных машин / И.В. Лесковец, В.В. Береснев // Вестник Белорусско-Российского ун-та, 2007. – № 1. – С. 26-32.
7. Лесковец, И.В. Программа для расчета характеристик гусеничных машин для земляных работ с отвальными рабочими органами / И.В. Лесковец / Нац. центр интеллектуал. собственности Респ. Беларусь // Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 404 от 14.03.2012 г.