

**С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік
университетінің ғылыми журналы
Научный журнал Павлодарского государственного
университета имени С. Торайғырова**

*1997 жылы қурылған
Основан в 1997 г.*



**ПМУ
ХАБАРШЫСЫ
ВЕСТНИК ПГУ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ**

2011

КУСАНОВ Е.Т., ТИМОШОВ О.Е., АРЫНГАЗИН К.Ш., КАСКЫРБАЕВ К.К., ТЛЕУЛЕСОВ А.К., САМЕНОВА Ж.К., ЖАКИЯНОВА А.Х. «Нефтехим LTD компаниясы» ЖШС-нің айналмалы суды салқындату жүйесінің сенімділігі туралы.....	118
НОВОЖИЛОВ А.Н., ИСУПОВА Н.А. Асинхрондық қозғаушының роторының эксцентриситетінің функционалдық диагностикасы.....	124
СУРАШОВ Н.Т., ГАЗИЗОВ О.Г., БАЖЕНОВ В.Н. Орам қағаздарын ішкі тесігінен тығындалып ұстау жаңа құрылғысын құрастыру.....	127
ШАПКЕНОВ Б.К., МАРКОВСКИЙ В.П., ДРОБИНСКИЙ А.В., ЖЕТПИСБАЕВ Е.К., КАЙДАР А.Б. Пьезоэлектрлік датчиктер параметрлерін техникалық есептеулер үшін тензорлық талдауды қолдану.....	131
ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А., АШИМОВА А.К. Электромагниттік экрандау міңездемесі.....	137
ЮСУПОВА А.О., АЛПЫСБАЕВА Д.М. «Hot spot» үлгісімен бойынша сымсыз жүйесін өткізу қабілеттерін бағалауы және оңтайландырылуы	143
Біздің авторлар	150
Авторлар үшін ереже.....	153

СОДЕРЖАНИЕ

АБИШЕВ К.К. Математическая модель взаимодействия резиногусеничного движителя с опорным основанием.....	9
АЛИФЕРОВ А.И., БИКЕЕВ Р.А., ГОРЕВА Л.П. Исследование электрических параметров расшихтованного жесткого токоподвода руднотермических электропечей.....	16
ГЛАЗЫРИН С.А., ГЛАЗЫРИНА Н.С., АНАРБАЕВ А.Е. Исследование возможности использования углекислого газа для регенерации сульфогля.....	22
ГЛАЗЫРИН С.А., БЕКИШЕВА Г.С., РАМАЗАНОВА А.Е. Каталитический крекинг и очистка уходящих газов	31
ГЛАЗЫРИН А.И., ГЛАЗЫРИН С.А., МЕРГАЛИМОВА А.К., КЫРЫКБАЙ А. Состояние перспективы очистки уходящих газов тепломеханического оборудования.....	38
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Метод измерения формы и варибельности сигналов	46
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Автоматизация децимации сигналов на основе идентификационных измерений.....	55
ИНКИН А.И., АЛИФЕРОВ А.И., БЛАНК А.В. Установки индукционного нагрева с постоянными магнитами и их каскадные А-Н-схемы замещения для расчета электромагнитного поля	64
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АЙТЕЕВ Д.С. Анализ современного состояния налогового комитета Республики Казахстан и описание информационных потоков	74
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АМРЕНОВ Е.Б. Технический анализ решения автоматизированной системы управления трубчатой печи нефтеперерабатывающего производства	79
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. Требования к полосе пропускания сети на основе концепции NGN.....	84
КИСЛОВ А.П., ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А. Анализ передатчиков с импульсной модуляцией	91
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. Расчет производительности мультисервисного узла доступа сети на основе концепции NGN	97
КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Метод измерения нелинейных искажений сигналов	103
КОСОГОРОВ А.П., ГРИГОРЬЕВ М.С., МАШЕВСКИЙ С.А., ШЕЛОМЕНЦЕВ А.С. Регулирование режима работы системы электроснабжения с помощью синхронных машин	107

NOVOZHILOV A.N., ISUPOVA N.A. Functional diagnostics of eccentricity of the induction motoris rotor.....	124
SURASHOV N.T., GASISOV O.G., BAHENOV V.N. Development of a new design of internal capture of paper rolls.....	127
SCHAPKENOV B.K., MARKOVSCI V.P., DROBINSKI A.V., CHETPISBAEV E.K., KAIDAR A.B. Using tenzornogo analysis for technical calculation of the piezoelektrical sensor parameter	131
USSUPOVA A.O., ASHIMOVA A.K., BEKTASSOVA A.A. Characteristics of electromagnetic shielding	137
USSUPOVA A.O., ALPISBAEVA D.M. Evaluation and optimization bandwidth wireless networks such as «hot spot»	143
Our authors.....	150
Rules for authors	153

УДК 629.3.03

К.К. АБИШЕВ
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЗИНОГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ
С ОПОРНЫМ ОСНОВАНИЕМ

В настоящее время одним из направлений снижения вредного воздействия ходовых систем тягово-транспортных машин на грунт и улучшения их тягово-сцепных качеств является использование резиногусеничного движителя [1]. Экспериментальные исследования [2, 3] показали, что резиновая гусеница по сравнению с металлической обеспечивает более равномерное распределение создаваемых тягово-транспортной машиной удельных давлений и снижает пиковые нагрузки на грунт.

При взаимодействии гусеничного движителя с грунтом сила тяжести машины передается на грунт через опорную ветвь движителя. Со стороны грунта на движитель действуют силы реакции грунта. Значения этих реакций и закономерности их распределения по опорной поверхности отражают физическую сущность процессов взаимодействия движителя с грунтом. Именно от этих закономерностей зависят параметры взаимодействия гусениц с опорной поверхностью, а также показатели эффективности работы гусеничных машин.

Математические модели, которые раскрывают механизм взаимодействия гусеничного движителя с основанием и характер распределения удельных давлений разработаны для металлוגусеничного движителя и не учитывают такую особенность резиновых гусениц, как их деформируемость [4].

Для выявления закономерностей распределения давления примем схему, предложенную профессором В.В. Кацыгиным [5], и рассмотрим часть резиногусеничного движителя, состоящего из двух опорных катков и резиновой гусеницы. Действие натяжной пружины направляющего колеса заменим подрессоренным первым катком (рисунок 1). Примем также, что гусеничная машина движется равномерно по горизонтальной поверхности пути.

Пусть на участок гусеницы АВ действует нагрузка G_1 , равная силе тяжести машины, приходящейся на выделенную часть движителя. Примем, что гусеница представляет собой гибкую ленту, скорость движения ее равна нулю. Положение ленты зависит от ее натяжения и напряжений грунта. В свою очередь, напряжения грунта зависят от степени осадки различных участков ленты.

Построим на рисунке 1 координатные оси так, чтобы ось абсцисс была расположена горизонтально (на уровне поверхности пути до деформации

грунта движителя), а ось ординат проходила бы вертикально вниз через середину участка АВ.

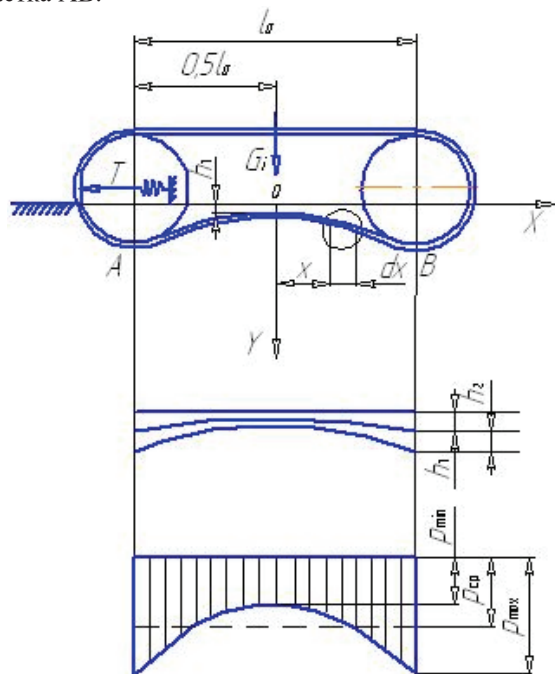


Рисунок 1 – Схема к выводу закона распределения давления по длине опорной ветви резиногусеничного движителя

Прогиб резиновой гусеницы между катками, а значит, и нормальное давление, действующее на резиновую гусеницу между катками, обусловлены упругими деформациями грунта и элементов резиновой гусеницы и определяются линейными закономерностями:

– для грунта

$$p = kh_1, \tag{1}$$

где P – удельное давление;

k – коэффициент объемного смятия грунта;

h_1 – осадка грунта.

– для резиновой гусеницы

$$p = c_z h_2, \tag{2}$$

где c_z – нормальная жесткость резиновой гусеницы;

h_2 – нормальная деформация элементов резиновой гусеницы.

При совместном решении уравнений (1) и (2) принимаем $y = h_1 + h_2$. В результате получим

$$p = k_{np} y, \tag{3}$$

где k_{np} – коэффициент приведенной жесткости;

y – суммарная деформация грунта и элементов резиновой гусеницы;

Коэффициент приведенной жесткости зависит от коэффициента объемного смятия грунта и нормальной жесткости элементов резиновой гусеницы

$$k_{np} = \frac{kc_z}{k + c_z}. \tag{4}$$

Используя полученную линейную зависимость (3) определим закон распределения нормального давления по длине опорной поверхности резиновой гусеницы.

Рассмотрим равновесие элементарной полоски (рисунок 2), отстоящей на расстоянии x от начала координат (ширина b равна ширине гусеничной ленты, а длина dx). Эта полоска находится в равновесии под действием сил натяжения ленты F и dF , а также силы dN_x со стороны грунта

$$dN_x = p_x b dx,$$

где P_x – давление на участке $b dx$.

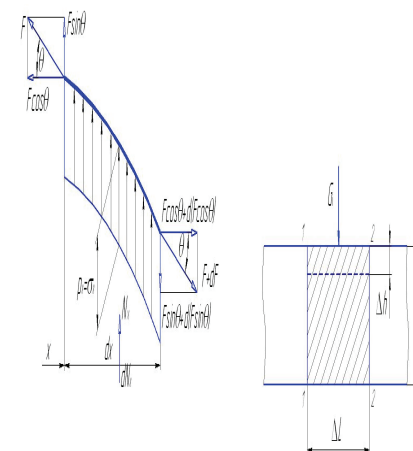


Рисунок 2 – Равновесие элементарной полоски гусеничной ленты

Проектируем указанные силы на оси OX и OY (рисунок 2). Сумма проекций этих сил на оси равна нулю, то есть

$$F \cos \theta + d(F \cos \theta) - F \cos \theta = 0,$$

или

$$d(F \cos \theta) = 0 \quad (5)$$

$$F \sin \theta + d(F \sin \theta) - F \sin \theta - p_x b dx = 0,$$

или

$$dF(\sin \theta) - p_x b dx = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (5) следует, что $F \cos \theta = \text{const}$ то есть горизонтальная составляющая натяжения ленты постоянна и равна половине усилия натяжной пружины $\frac{T}{2}$. Подставим в уравнение (6) значение $F = \frac{T}{2 \cos \theta}$. После сокращения на dx получим

$$\frac{T}{2} \frac{d(\sin \theta)}{dx} - p_x b = 0.$$

Тангенс угла наклона ленты равен первой производной осадки y по x , то есть $\frac{dy}{dx}$. Кроме того, $p_x = k_{np} y$. Таким образом,

$$\frac{T}{2} \frac{d^2 y}{dx^2} - b k_{np} y = 0. \quad (7)$$

Полученное выражение представляет собой однородное дифференциальное уравнение второго порядка и определяет закон распределения давлений по длине опорной ветви гусениц.

Найдем его решение в виде $y = ce^{\lambda x}$.

Найдем частные решения дифференциального уравнения (7).

Дифференцируя два раза $y = f(x)$, получим $\frac{d^2 y}{dx^2} = ce^{\lambda x} \lambda^2$. Подставляя полученное выражение в уравнение (7), получаем

$$\frac{T}{2} ce^{\lambda x} \lambda^2 - k_{np} b ce^{\lambda x} = 0,$$

отсюда

$$ce^{\lambda x} \lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} ce^{\lambda x} = 0$$

После соответствующих преобразований получаем

$$ce^{\lambda x} \left(\lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} \right) = 0,$$

откуда

$$ce^{\lambda x} = 0 \text{ и } \lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} = 0.$$

Из последнего равенства найдем $\lambda = \pm \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}$. Следовательно, частные решения дифференциального уравнения (7) следующие

$$y_1 = c_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}; \quad y_2 = c_2 e^{-x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}.$$

В нашем случае перед координатой x нужно всегда ставить плюс, так как при отрицательном значении показателя степени с увеличением x осадка уменьшается, что противоречит действительности.

Найдем постоянные c_1 и c_2 при следующих начальных условиях $x=0$, $y=h_1$. Тогда $h_1 = c_1 e^0 = c_1$ и $h_1 = c_2 e^0 = c_2$, то есть $\tilde{h}_1 = \tilde{h}_2 = h_1$. Отсюда

$$y = h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}.$$

Учитывая что, давление на грунт пропорционально осадке запишем

$$p_x = k_{np} h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}. \quad (8)$$

Чтобы судить о значении давлений, необходимо определить осадку h_1 между опорными катками. Для этого просуммируем элементарные силы грунта на гусеничную ленту между точками А и В (рисунок 2) и приравняем эти силы к силе тяжести G_1 , которая приходится на тот же участок

$$G_1 = \int_A^B dN_x = \int_A^B N(x) dx;$$

на половину участка

$$\frac{G_i}{2} = \int_0^{l_0/2} b k_{np} h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} dx = h_1 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left(e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)$$

$$h_1 = \frac{G_i}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left(e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)}$$

Подставив значение h_1 в формулу (8), получим уравнение, характеризующее распределение давлений под опорной ветвью гусеничной ленты между катками

$$p_x = \frac{G_i k_{np} e^{x \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}}}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left(e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что давление зависит от силы тяжести, расстояния между опорными катками, ширины гусеницы, натяжения, а также физико-механических свойств грунта.

Для определения неравномерности распределения давления по длине опорной поверхности гусеницы использован коэффициент относительной неравномерности

$$\xi_p = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{ср}}} \quad (10)$$

где P_{\max} – максимальное давление при $x = \frac{l_0}{2}$;

P_{\min} – минимальное давление при $x = 0$;

$P_{\text{ср}}$ – среднее давление.

Среднее давление определяется по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{G_i}{b l_0},$$

где G_i – часть массы машины, приходящаяся на рассматриваемый участок резиновой гусеницы;

b – ширина резиной гусеницы;

l_0 – расстояние между катками.

Подставляя значение x в уравнение (9) получим выражения для определения максимального и минимального давления

$$P_{\max} = \frac{G_i k_{np} e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}}}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left(e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (11)$$

$$P_{\min} = \frac{k_{np} G_i}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left(e^{l_0 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (12)$$

Подставив значения P_{\max} , P_{\min} и $P_{\text{ср}}$ в формулу (10), получим

$$\xi_p = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \quad (13)$$

где T – усилие натяжения резиновой гусеницы.

Из этой формулы следует, что неравномерность давления возрастает, если расстояние между катками и ширина гусеничной ленты увеличиваются, и, наоборот, уменьшается с увеличением натяжения гусеницы.

Подставив значение k_{np} в предыдущие формулы, получим

$$\xi_p = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k c_z b}{T(k + c_z)}} \quad (14)$$

$$P_{\max} = \frac{G_i k c_z e^{\xi_p}}{2(k + c_z) \sqrt{\frac{2k c_z b T}{2(k + c_z)} \left(e^{\xi_p} - 1 \right)}} \quad (15)$$

$$P_{\min} = \frac{G_i k c_z}{2(k + c_z) \sqrt{\frac{2k c_z b T}{2(k + c_z)} \left(e^{\xi_p} - 1 \right)}} \quad (16)$$

Эти выражения характеризуют закон распределения нормального давления по длине опорной поверхности резиновой гусеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Русанов В.А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М. : РАСХН, ВИМ, 1998. – 368 с.
- 2 Скотников В.А., Янцов Н.Д. Сохранение плодородия почв при воздействии на них ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – №8 – С. 43-44.
- 3 Turner R.J. Comparison of two and four track machines to rubber tire tractors in prairie soil conditions // Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles. SP-1291, SAE, 1997.