

УДК 629.11.42.012.57.001.5

Канделя М.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОДОВЫХ СИСТЕМ КОМБАЙНОВ

В статье с учетом основных законов и принципов механики рассмотрены процессы взаимодействия гусеничных ходовых систем с опорным основанием в условиях низкой несущей способности при переувлажнении почв. Приведены результаты сравнительных исследований зерноуборочных комбайнов на ходовых системах с металлическими и резиноармированными гусеницами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГУСЕНИЧНЫЕ ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ, ЗЕРНОУБОРОЧНЫЕ КОМБАЙНЫ, ГУСЕНИЧНАЯ ХОДОВАЯ СИСТЕМА, МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И РЕЗИНОАРМИРОВАННЫЕ ГУСЕНИЦЫ, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ.

Kandelya M.V.

USE OF BASICS OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS

FOR THE SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF RUNNING SYSTEMS OF COMBINES

In this article there were observed processes of interaction of caterpillar running systems with the support base in conditions of low bearing ability at rehumidifying of soils considering basic laws and mechanics principles. Results of comparative research of combine harvesters on running systems with metal and rubber-reinforced caterpillars are given.

KEYWORDS: CATERPILLAR RUNNING SYSTEMS, COMBINE HARVESTERS, CATERPILLAR RUNNING SYSTEM, METAL AND RUBBER-REINFORCED CATERPILLARS, TECHNOLOGICAL LEVEL FACTOR.

Для обеспечения уборки урожая на Дальнем Востоке и в специфических условиях на почвах с низкой несущей способностью применяются комбайны на гусеничном ходу, выпускаемые заводом "Дальсельмаш" г. Биробиджан. Они имеют сравнительно высокую проходимость и успешно эксплуатируются в самых неблагоприятных условиях. Рисозерноуборочные комбайны на гусеничном ходу имеют спрос и в рисосеющих странах ближнего и дальнего зарубежья: на Украине, Белоруссии, Средней Азии, Венгрии, Китае, на Кубе, во Вьетнаме и других странах.

В связи с потребностью в высокопроходимой уборочной технике в нашей стране и за рубежом возникла необходимость решать вопрос ее конкурентоспособности на мировом рынке. Серийно выпускаемые рисозерноуборочные комбайны не в полной мере удовлетворяют сегодняшним требованиям по основным показателям и особенно: надежности и долговечности, условиям работы (вибрация, уровень шума) и нормам воздействия на почву.

Одним из направлений повышения проходимости машин, их работоспособности, улучшения условий труда и снижения вредного

воздействия на почву является использование в ходовых системах пневмо и резиноармированных гусениц.

Из этих двух направлений на данном этапе более простым и удовлетворяющим предъявленным требованиям решением является применение резиноармированных гусениц (РАГ).

Цель данных исследований – разработка методики оценки технического уровня ходовой системы для уборочно-транспортных машин. Создание конкурентоспособной, отвечающей современным требованиям гусеничной системы для исследуемого класса машин.

В статье приведены результаты проведенных исследований с 1990 года [1; 2; 3; 4; 5; 6]

Обзор научно-технической литературы и патентной документации позволил установить, что улучшение проходимости гусеничных движителей и снижение их воздействия на почву возможно в частности за счет применения в движителях индивидуальной подвески и резиноармированных гусениц.

Технический уровень ходовой системы характеризует ее конструктивное совершенство, способность выполнить технологические

функции, взаимодействие с окружающей средой.

Оценка технического уровня проводится путем сопоставления значений показателей технического уровня оцениваемой ходовой системы и аналога.

Обобщенный показатель технического уровня

$$K = \sum_{i=1}^n q_i b_i \quad (1)$$

где i - число относительных показателей в группе; $i=1.2 \dots n$;

b_i - значение коэффициента весомости каждого показателя.

Сумма коэффициентов весомости всех показателей

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1$$

Относительные показатели технического уровня определяются по формуле

$$q_i = \frac{P_i}{P_{ia}} \quad (2)$$

где q_i - относительный показатель;

P_i - значение показателя оцениваемой ходовой системы;

P_{ia} - значение показателя аналога.

Технический уровень ходовой системы комбайна - относительная характеристика, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой ходовой системы комбайна, с соответствующими базовыми значениями.

Базовым аналогом считается новейшая ходовая система комбайна отечественного или зарубежного производства из ансамбля аналогов на момент оценки конструкции, показатель технического уровня которой имеет наибольшее приближение к значению синтезированного эталона.

Синтезированный эталон включает помимо экстремальных значений оценочных показателей аналогов и нормирующие значения параметров.

С целью оценки влияния воздействия на почву типа и параметров гусеничных ходовых систем комбайнов были проведены расчеты по ГОСТ 26953 -86, ГОСТ 26955-86 и по методике НАТИ. Максимальное давление на почву гусеничного движителя определялось по выражению:

$$q_{\max} = \xi \cdot K \cdot q_{cp} \quad (3)$$

где ξ - средний коэффициент неравномерности распределения давления;

K - коэффициент, зависящий от величины тяговой нагрузки, при отсутствии нагрузки на крюке $K = 1$;

q_{cp} - среднее давление гусеничного движителя на почву.

Считается, что чем больше величина q_{\max} , тем сильнее уплотняет почву гусеничный движитель.

Сущность метода НПО НАТИ заключается в определении расчетного показателя уплотняющего воздействия ходовой системы на почву. Критерием для оценки уплотняющего воздействия рассматривается изменение плотности почвы при образовании следа в процессе прохода гусеничной машины по полю. Плотность почвы в следе движителя

$$\rho_{сл.} = \rho_0 + \alpha U \quad (4)$$

где ρ_0 - плотность почвы на контрольном участке ($\rho_0=1,17$);

α - динамический коэффициент для напряжений σ_z ;

U - показатель уплотняющего воздействия ходовой системы на почву;

$$\alpha = \frac{\rho_0 \cdot (1 - v^2)}{E_0 \cdot H} \quad (5)$$

где v - коэффициент бокового расширения;

E_0 - модуль общей деформации почвы;

H - глубина распространения деформации.

$$U = \omega \cdot b \cdot q_{\max} \quad (6)$$

где ω - коэффициент, зависящий от размеров и формы опорной поверхности движителя;

b - ширина одиночного движителя.

Максимальное давление движителя

$$q_{\max} = q_{\max 0} \cdot A \quad (7)$$

где q_{\max} - максимальное статическое контактное давление, его величина определяется по уравнению

$$q_{\max 0} = \xi \cdot q_{cp} \cdot K_1 \quad (8)$$

где $q_{\max 0}$ - коэффициент пропорциональности;

K_1 - коэффициент для резиноармированной гусеницы равен 0,7;

Для гусеницы с резинометаллическим шарниром (РМШ) $K_1=0,9$; для металлогусеницы $K_1=1$.

Указанным методом можно рассчитать уплотняющее воздействие на почву гусеничных машин, а также проанализировать влияние основных параметров движителей и почвы на ее уплотняющее воздействие.

В качестве объектов для исследований были использованы рисосезерноуборочные комбайны "Енисей -1200Р" с различными ходовы-

ми системами. Параметры ходовых систем приведены в таблице 1.

Всего исследовано 12 образцов.

Для восьми образцов проведены все виды испытаний, предусмотренных программой - методиками.

Четыре образца испытывались в условиях хозяйств на уборке зерновых культур.

Эксперименты проводились на следующих фонах: вспаханное поле под посев, стерня, заболоченный участок, грунтовая дорога, асфальтированная дорога.

Для оценки влияния РАГ на процесс низкочастотных колебаний рисозерноуборочного комбайна в качестве объектов использовались:

- комбайн "Енисей - 1200Р" с опытной ходовой системой оснащенной РАГ с шагом звеньев 125 мм;

- комбайн "Енисей - 1200Р" с серийной ходовой системой с металлической гусеницей с шагом звеньев 174 мм;

- комбайн "Енисей - 1200Р" с металлической гусеницей с шагом звеньев 190 мм.

Уровень низкочастотных колебаний определялся по ГОСТ 12.2.002-81, уплотняющего воздействия на почву по ГОСТ 26953- 86 ... ГОСТ 26955 - 86 "Норма взаимодействия движителей на почву. Методы определения воздействия движителей на почву" и по методике НАТИ.

Результаты измерений и соответствующих расчетов по уплотняющему воздействию на почву приведены в таблицах 1, 2. В графической форме анализ результатов исследований представлен на рисунках 1, 2, 3, 4, и 5.

По степени увеличения воздействия на почву (от меньшего к большему) испытывавшиеся объекты располагаются в следующей последовательности:

ТГР-4 < ТГР-3 < ДТ-75 < КСП-01 < КСП-80.

Установка РАГ на комбайн "Енисей - 1200Р" (вариант №3, ТГР-3) приводит к существенному (30%) снижению уплотняющего воздействия его на почву, несмотря на 14% увеличение массы по сравнению с серийным комбайном КСП-01.

Применение торсионно-балансирной подвески с РАГ ТГР-4 приводит к снижению воздействия на почву комбайна в 2,5 раза.

Воздействие на почву ТГР-4 ($U=73,1$ кН/м) находится ниже безопасного для почвы предела $[U]_b=75$ кН/м.

При этом под РАГ напряжения в почве на глубине 0,2 м самые низкие, а уплотнение почвы в следах и глубина следа меньше, чем в следах трактора ДТ-75 имеющего в 2,4 раза меньшую массу и одного из наиболее "легких"

по воздействию на почву среди сельскохозяйственных тракторов.

Глубина следа после прохода объектов №1 и №2 больше, чем после прохода объектов №3 и №4 и составляет соответственно 57 мм, 62 мм против 50 мм и 35 мм.

Сравнительные испытания проводились на стерне кормовых культур асфальтной и грунтовой дороги.

При испытаниях замерялись:

- низкочастотные вертикальные и горизонтальные ускорения на раме комбайна в зоне центра тяжести (Z, X):

- низкочастотные вертикальные и горизонтальные ускорения на сиденье оператора ($Z_{сид}$, $X_{сид}$).

Оценка уровня низкочастотных ускорений проводилась по их среднеквадратическим значениям в октавных диапазонах частот 0,7 - 1,4; 1,4 - 2,8; 2,8 - 5,6; 5,6 - 11,2 Гц.

При движении по стерне низкочастотные вертикальные ускорения как на остовах, так и на сиденье водителя для комбайна, с металлическими гусеницами представляют собой ярко выраженные узкополосные случайные процессы, основная доля энергии которых сосредоточена в узком диапазоне частот, возбуждаемых работой гусеничного движителя вследствие его звенчатости (частота около 8 Гц).

При движении по твердому основанию качественная картина спектрального состава колебательных процессов аналогичная.

В варианте с металлической гусеницей уровень ускорений на сиденье в 1,4 раза превышает допустимые значения ГОСТ 12.2.019-86. Использование РАГ обеспечивает снижение ускорений в 8 раз на остовах и в 6 раз на сиденье оператора. В остальных октавах величины ускорений незначительные и много раз ниже допустимых значений.

Наибольшие значения горизонтальные ускорения имеют место в четвертой октаве. При этом величина горизонтальных ускорений в 2-3 раза ниже вертикальных. При транспортном движении на максимальной скорости вследствие возрастания частоты перематывания гусеничных цепей, вибрации, обусловленные звенчатостью гусениц, смещаются в область высоких частот (частота для металлической гусеницы составляет 19 Гц, для РАГ-29 Гц) и низкочастотные колебания возбуждаются в основном неровностями микропрофиля. Существенное влияние на формирование процесса низкочастотных колебаний оказывает тип и параметры системы подрессоривания.

Исследованиями определены затраты мощности на передвижение комбайна с рези-

ноармированными и металлическими гусеницами на холостом ходу во взвешенном состоянии, на деформируемом основании (стерне) и недеформируемом основании (асфальт).

По полученным данным построены гистограммы нагружения крутящим моментом ведущих звездочек комбайнов. Площадь графиков под гистограммами практически одинаковая, несмотря на значительные гистерезисные потери в РАГ.

В соответствии с разработанной методикой оценки технического уровня проведена оценка четырех вариантов ходовой системы комбайна "Енисей-1200Р".

Результаты проведенных работ позволили создать гусеничную ходовую систему с РАГ, с индивидуально-торсионной подвеской, с четырехмашинной схемой гидропривода на ходовую часть. Коэффициент технического уровня вновь созданной машины 0,96 (у серийного комбайна 0,57). Лучший зарубежный комбайн-аналог Commandor 116 CS имеет коэффициент технического уровня 0,8.

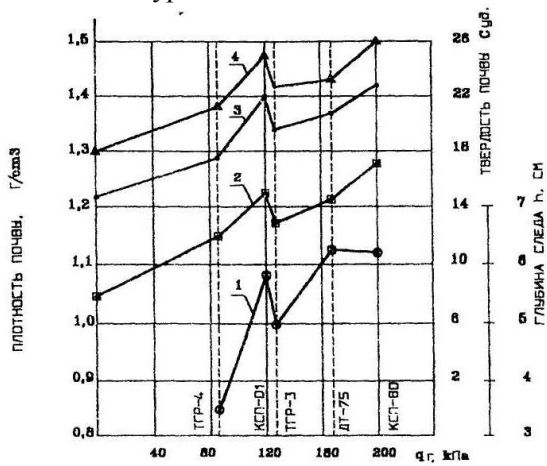


Рисунок 1 - Изменения глубины следа (1), твердости (2), плотности(3) в слое 0-10 см, (4)- в слое 10-20 см почвы в следах испытывающихся объектов в зависимости от q .

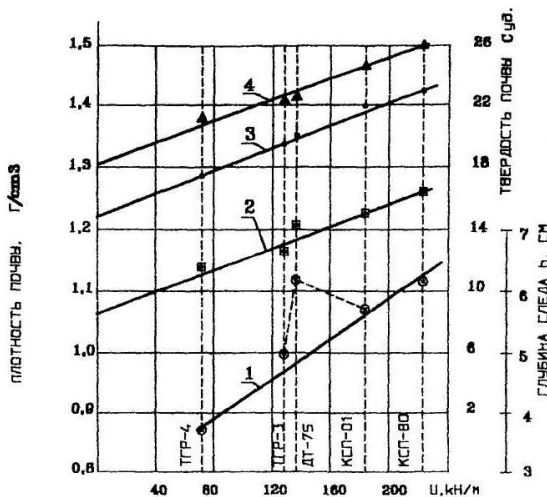


Рисунок 2 - Изменения глубины следа (1), твердости (2), плотности(3) в слое 0-10 см, (4)- в слое 10-20 см почвы в следах испытывающихся объектов в зависимости от показателя U^f .

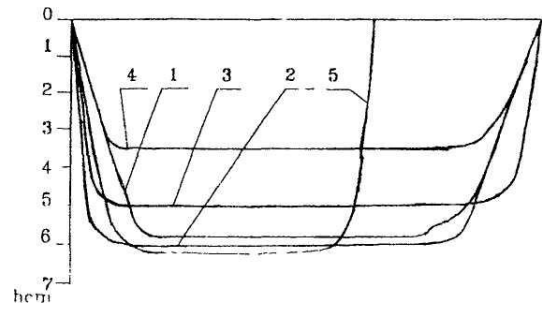


Рисунок 3 - Профиль сечения следов прохода объектов №№ 1-5

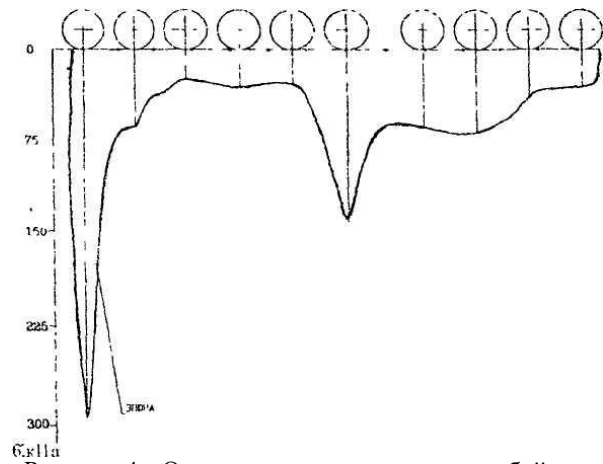


Рисунок 4 - Оценка давления на почву комбайна с металлической гусеницей

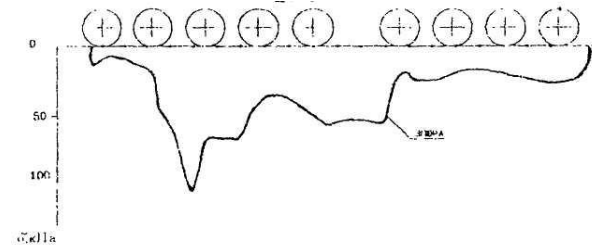


Рисунок 5 - Оценка давления на почву комбайна с резиноармированной гусеницей

Таблица 1

Параметры ходовых систем рисозерноуборочных комбайнов с металлическими составными гусеницами, опытными резиноармированными гусеницами и трактора ДТ-75

| Обозначение объекта испытаний | Номер объекта | Эксплуатационная масса, кг | Тип гусеницы | Продольная база | Параметры гусеницы | | | | Число опорных катков | Шаг опорных катков, м | Углы наклона ветвей гусениц, рад. | |
|--|---------------|----------------------------|--------------|-----------------|--------------------|--------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | | | | | ширина, м | шаг, м | масса ленты, кг | Число звеньев | | | $\alpha_{\text{п}}$ | $\alpha_{\text{з}}$ |
| «Енисей-1200Р» КСП-01 | N1 | 14370 | МСГ | 2,85 | 0,620 | 0,174 | 620 | 54 | 10 | 0,275 | 0,314 | 0,314 |
| «Енисей-1200 Р» (с усиленной составной гусеницей) КСП-80 | N2 | 17250 | МСГ | 2,82 | 0,620 | 0,190 | 848 | 51 | 10 | 0,280 | 0,314 | 0,314 |
| «Енисей-1200РР» с РАГ ТГР-3 | N3 | 16420 | РАГ | 2,79 | 0,645 | 0,125 | 1050 | 82 | 9 | 0,320 | 0,157 | 0,174 |
| ТГР-4 | N4 | 17000 | РАГ | 3,05 | 0,645 | 0,125 | 950 | 82 | 10 | | | |
| ДТ-75 | N5 | 6800 | МЛЗ* | 1,78 | 0,390 | 0,170 | 434 | 43 | 4 | 0,537 | 0,174 | 0,244 |

*Металлическая гусеница с литыми звеньями.

Таблица 2

Результаты испытаний и расчетов по оценке воздействия на почву комбайнов с разными ходовыми системами и трактора ДТ-75

| Обозначение объекта испытаний | Номер объекта | Напряжение, кПа | | Показатели воздейств. на почву | | | | | | Показатели уплотнения почвы в следах движителей | | | |
|-------------------------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|----------------------|--------|---|----------|-----------------------|-------------------------------|
| | | экспер. на глуб. 0,2м | расчет по ГОСТ 26954-86 глуб. 0,5м | по ГОСТ 26953-86 по методике НАТИ | | | | | | Плотность в слое, г/см ³ | | Твердость почвы, С уд | Максимальная глубина следа см |
| | | | | ξ | q_r кПа | q_r кПа | ω | q_{max} кПа | U кН/м | 0-10 см | 10-20 см | | |
| КСП-01 | N1 | 134,0 | 25,3 | 3,06 | 39,9 | 122,0 | 1,73 | 170,0 | 182,0 | 1,400 | 1,464 | 15,3 | 5,7 |
| КСП-80 | N2 | 192,0 | 30,8 | 4,12 | 48,5 | 200,0 | 1,73 | 206,0 | 221,0 | 1,422 | 1,500 | 16,7 | 6,2 |
| ТГР-3 | N3 | 90,0 | 29,1 | 2,76 | 44,4 | 123,0 | 1,72 | 120,0 | 133,0 | 1,340 | 1,412 | 13,0 | 5,0 |
| ТГР-4 | N4 | 60,0 | 29,8 | 1,85 | 45,9 | 84,9 | 1,76 | 64,0 | 73,1 | 1,29 | 1,37 | 12,0 | 3,5 |
| ДТ-75 | N5 | 172,0 | 21,5 | 2,94 | 57,8 | 170,0 | 1,73 | 210,0 | 142,0 | 1,365 | 1,424 | 14,2 | 6,3 |

В результате проведенных исследований сформулированы следующие выводы:

- разработана методика оценки технического уровня ходовой системы комбайна, позволяющая выбрать наиболее эффективные конструкторские решения;

- проведенные исследования выявили, что конструкции существующих уборочных машин с металлогусеничным движителем не обеспечивают потенциально возможных высоких опорных свойств, что ведет к потерям урожая из-за переуплотнения почвы;

- применение резиноармированной гусеницы в ходовых системах уборочно-транспортных машин обеспечивает:

а) повышение проходимости машин на почвах с низкой несущей способностью;

б) исключает повреждения дорог и почв;

в) снижает максимальное давление и уплотняющее воздействие на почву в 2,5 раза по

сравнению с металлической гусеницей. $U = 73,1$ кН/м, что ниже безопасного предела для почв $[U]=75$ кН/м;

г) значительно уменьшена виброн нагруженность и шум, что увеличивает срок службы узлов ходовой системы, агрегатов комбайна и улучшает условия механизатора;

д) снижена трудоемкость технического обслуживания ходовой системы из-за отсутствия вытяжки и стабильности центральной длины гусеницы;

е) в ходовой системе с РАГ практически исключается износ беговых дорожек опорных катков, поддерживающих роликов, направляющих колес. Испытания показали возможность применения опорных катков из алюминиевых сплавов вместо стальных. По данным испытаний РАГ обеспечивает ресурс ходовой системы комбайна не менее 12 лет (до капитального ремонта);

ж) ресурс до предельного состояния РАГ выше, чем у металлической серийной гусеницы, в 4-5 раз (20000км у РАГ, 4500 у МГ).

Экспериментальная система поддрессори-
вания обеспечивает требуемый уровень низко-
частотных колебаний на рабочем месте води-
теля практически при всех режимах движения,
в том числе, в отличие от серийной подвески и
при движении по тяжелым участкам грунтовых
дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канделя, М.В. Исследование и обоснование
уровня различных типов гусеничных ходовых сис-
тем уборочно-транспортных машин/ М.В. Канделя.
Дисс. канд.техн.наук. – Биробиджан, 1997 – 162 с.

2. Канделя, М.В. Основы теории и конструк-
тивно-технологические устройства. Моногра-
фия/А.М. Емельянов, И.В. Бумбар, М.В. Канделя,

В.Н. Рябченко. –Благовещенск: ДальГАУ, 2007 –
246с.

3. Канделя, М.В. Гусеничный ход. А.С. №
331959. Б.Н. № 10 - 72.

4. Канделя, М.В. Ходовая часть гусеничной
машины / М.В.Канделя, А.А.Унтевский,
Э.Г.Липовецкий. А.С. № 383646. Б.Н. № 24 – 73.

5. Канделя, М.В. Техногенное воздействие
движителей на переувлажненные почвы Дальнего
Востока/ М.В. Канделя, А.М. Емельянов, В.Н. Ряб-
ченко, Н.М. Канделя, А.В. Липкань. Благовещенск,
Вып. 27. 2004. – С. 89-94.

6. Канделя, М.В. Применение высокопроходи-
мой техники в условиях строительства и эксплуата-
ции нефтепровода на Дальнем Востоке/ М.В. Кан-
деля, В.Н. Рябченко, В.И. Лазарев. – Хабаровск:
ТОГУ, 2006. – С. 36-38.