

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

### PROCESSES AND MACHINERY OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

УДК 631.354+631.4

DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13043

ГРНТИ

**Канделя М.В.**, канд. техн. наук, профессор, заслуженный машиностроитель РФ,  
Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема,  
г. Биробиджан, ЕАО, Россия;

**Канделя Н.М.**, канд. техн. наук, доцент, заместитель председателя правительства ЕАО,  
г. Биробиджан, ЕАО, Россия;

**Земляк В.Л.**, канд. физ.-мат. наук, проректор по научной работе и инновациям,  
Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема,  
г. Биробиджан, ЕАО, Россия;

**Бумбар И.В.**, д-р техн. наук, профессор,  
Дальневосточный государственный аграрный университет,  
г. Благовещенск, Амурская область, Россия

#### ПЕРЕУПЛОТНЕНИЕ ПОЧВ - ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ФАКТОРОВ ЕЁ ДЕГРАДАЦИИ

*В статье приведены результаты исследований и испытаний гусеничных уборочно-транспортных машин, работающих в зонах переувлажненных почв. Применение резиноармированной гусеницы в ходовых системах уборочно-транспортных машин обеспечивает: а) повышение проходимости машин на почвах с низкой несущей способностью; б) исключает повреждение 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. Переоборудованные комбайн или трактор, снижают техногенное воздействие на почву, снижают степень её уплотнения, повышают производительность, улучшают тягово-цепные свойства, а также уменьшают величину буксования.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВУ, ДЕГРАДАЦИЯ, ПЛОДОРОДИЕ, ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЕ, БЕЗОПАСНЫЙ ПРЕДЕЛ ДЛЯ ПОЧВЫ, РЕЗИНОАРМИРОВАННЫЕ ГУСЕНИЦЫ.

**Kandelya M.V., Cand. Tech. Sci., Professor,  
Honored Mechanical Engineer of the Russian Federation;**

Priamursky State University Named after Sholom-Aleikhem,  
Birobidzhan, the Jewish Autonomous Region, Russia;

**Kandelya M.N., Cand. Tech. Sci., Associate Professor,**

**Deputy Chairman of the Government of the Jewish Autonomous Region,**

Birobidzhan, the Jewish Autonomous Region, Russia;

**Zemlyak V.L., Cand. Phys.-Math. Sci., Pro-Rector of Scientific Work and Innovations,**

Priamursky State University Named after Sholom-Aleikhem,  
Birobidzhan, the Jewish Autonomous Region, Russia;

**Bumbar I.V., Dr Techn. Sci., Professor,**

Far East State Agricultural University,

Blagoveshchensk, Amur Region, Russia

## **STRONG COMPACTION OF SOIL IS ONE OF THE MOST IMPORTANT FACTORS OF ITS DEGRADATION**

*The article presents the findings of investigations and testing of track-type harvesting and transport machines working on wetted soil. The use of rubber-reinforced caterpillar in undercarriage systems of harvesting and transport machines has the following effect: a) increase passability of the machines on soils with low bearing capacity; b) eliminates damage to roads and soils; c) reduces the maximum pressure and compaction of soil 2.5 times as compared to the metal caterpillar,  $U=73.1$  kN / m, which is below the safe limit for soils  $[U]=75$  kN / m. Re-equipped harvester or tractor reduces the anthropogenic impact on the soil, reduces the degree of compaction, increase productivity, improve traction and coupling properties, as well as reduces the amount of slipping.*

**KEY WORDS:** IMPACT ON SOIL, DEGRADATION, FERTILITY, OVERWETTING, SAFE LIMIT FOR SOIL, RUBBER-REINFORCED CATERPILLARS.

Уплотнение почвы, особенно сельскохозяйственного назначения, проблема мирового значения. В связи с бурным развитием техники и технологии этот процесс ускоряется и уплотнение почвы достигает уровня, когда дальнейшее её использование для выращивания культур становится невозможным.

Проблема переуплотнения почвы в Дальневосточном Федеральном округе более опасна, так как здесь до 90% площадей подвержены переувлажнению.

Деградация почвы – плодородного слоя (переувлажнение, разрушение структуры, снижение плодородия) связывают с применением техники, обладающей большой массой. Помимо экологического ущерба, в данной проблеме имеет место и серьезный экономический ущерб, вызванный снижением

урожайности до 30% и более. Об этом свидетельствуют данные исследований более чем в 40 странах мира. В Российской Федерации недобор урожая составляет по зерновым 13 – 15 млн тонн в год [4, С.295-300].

Фактором, наиболее влияющим на плодородие почвы и сельскохозяйственных угодий, является её переуплотнение под воздействием применения различных видов техники – тракторов, комбайнов и других средств производства сельскохозяйственных культур.

Мировой парк всех видов тягово-транспортных-уборочных средств, применяемых в агропромышленном комплексе, неуклонно и бурно растет, растет производительность, мощность и, как следствие, эксплуатационная масса этих средств, что, в свою очередь, ведёт к чрезмерному переуплотнению

почвы. Масштабы вредного воздействия на плодородие земли в ближайшие 20-30 лет могут привести к пагубным экологическим последствиям и угрозе продовольственной безопасности.

Современные зерноуборочные комбайны как российского производства: «Вектор», «Акрос», «Полесье», так и иностранного: «John-Derre», «Claas», «New Holland» имеют эксплуатационный вес 25-30 тонн.

Допустимое удельное давление Дальневосточных полей, особенно переувлажненных, не более  $0,5 \text{ кг/см}^2$  [6].

60 лет назад уборку зерновых и сои на Дальнем Востоке осуществляли следующим образом. С прицепного комбайна С-6 снимали колеса и ставили на тракторные сани и двумя гусеничными тракторами С-80 тащили комбайн по полю. (рис. 1).



Рис. 1.

В 1958 году был разработан и поставлен на серийное производство гусеничный зерноуборочный комбайн СКГ-3, который решил проблему уборки урожая в переувлажненной зоне. Производительность труда повысилась в 10-13 раз.

Эксплуатационный вес машины СКГ-3 – до 12 тонн. Низкое давление на почву (30-40 кПа) обеспечивало высокую проходимость.

Шли годы, шла модернизация машин, росла производительность, а вместе с ней и вес машин. И так на сегодняшний день эксплуатационный вес увеличился в 2 – 2,5 раза.

**Объекты и методы исследования.** Показатели воздействия на почву проводились по ГОСТ 26953-86 и по методике НАТИ. Исследования, проведенные с различного рода гусеничных машин, отражены в таблицах 1, 2, 3 и графиках (рис. 1, 2, 3, 4). Из них видно,

что трактор ДТ – 75 с балансирной подвеской и литым траком, вес которого 6800 кг, в 2,5 раза легче, чем комбайн с подвеской ТГР-4 (торсионная), вес которого 17000 кг, делает колею в 1,8 раз глубже комбайна. Это видно на графике (рис 1).

**Результаты исследований.** Наименьшее максимальное давление под движителем ТГР-4 объясняется более равномерным распределением давления по длине и ширине опорной поверхности движителя.

Характер распределения давления по длине опорной поверхности движителей с металлическими и резиноармированными гусеницами показан на рисунках 3, 4.

Распределение давления под металлической гусеницей носит экстремальный характер.

Имеют место ярко выраженные «пиковые» давления под первым и задним опорными катками передней каретки.

Таблица 1

**Параметры ходовых систем рисоэрноуборочных комбайнов с металллическими составными гусеницами, опытными резиноармированными гусеницами и трактора ДТ-75**

Обозначение объекта испытаний	Номер объекта	Эксплуатационная масса, кг	Тип гусеницы	Продольная база, м	Параметры гусеницы				Число опорных катков	Шаговые катков, м	Угол наклона ветвей гусеницы, рад.	
					Ширина, м	Шаг, м	Массаленты, кг	Число звеньев			$\alpha_1$	$\alpha_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
«Енисей-1200Р» КСП-01	№1	14370	МСГ	2,85	0,620	0,174	620	54	10	0,275	0,314	0,314
«Енисей-1200Р» (с усиленной составной гусеницей) КСП-80	№2	17250	МСГ	2,82	0,620	0,190	848	51	10	0,280	0,314	0,314
«Енисей-1200Р» С РАГ ТТР-3	№3	16420	РАГ	2,79	0,645	0,125	1050	82	9	0,320	0,157	0,174
ТТР-4	№4	17000	РАГ	3,05	0,645	0,125	950	82	10			
ДТ-75	№5	6800	МЛЗ	1,78	0,390	0,170	434	43	4	0,537	0,174	0,244

**Таблица 2  
Результаты испытаний и расчётов по оценке воздействия на почву комбайнов с разными ходовыми системами и трактора ДТ-75**

Обозначение объектов испытаний	Номер объекта	Напряжение, кПа.		Показатели воздействия на почву								Показ. уплотнения почвы в следах движителей.			
		Эксп. на глуб. 0,2м	Расч. по ГОСТ 26954-86 глуб. 0,5 м	По ГОСТ 26953-86 по методике НАТИ								Плотность в слое, г/см <sup>3</sup>		Твёрдость почвы С.уд.	Максимальная глубина следа, см
				кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кН/м	0-10 см		
КСП-01	№1	134,0	25,3	3,06	39,9	122,0	200,0	1,73	170,0	182,0	1,400	1,464	15,3	5,7	
КСП-80	№2	192,0	30,8	4,12	48,5	200,0	1,73	206,0	221,0	1,422	1,500	16,7	6,2		
ТТР-3	№3	90,0	29,1	2,76	44,4	123,0	1,72	120,0	133,0	1,340	1,412	13,0	5,0		
ТТР-4	№4	60,0	29,8	1,85	45,9	84,9	1,76	84,0	73,1	1,29	1,37	12,0	3,5		
ДТ-75	№5	172,0	21,5	2,94	57,8	170,0	1,73	210,0	142,0	1,365	1,424	14,2	6,3		

**Таблица 3**  
**Сводная расчетная таблица оценки воздействия на почву комбайнов (на базе «Енисей – 1200Р») с различными вариантами ходовой**

Наименование параметра	№№ вариантов ходовой системы комбайна Енисей-1200Р			
	КСП-01 вариант 1	КСП-80 вариант 2	ТГР-3 вариант 3	ТГР-4 вариант 4
Тип подвески	шарнирно-рычажная, поддрессо- ренная			
Эксплуатационная масса комбайна с хедером и наполненным бункером, кг	14370	17250	16420	17000
Шаг гусеницы, мм	174	190	125	125
Количество опорных катков на один борт, шт.	10	10	9	10
Ширина гусеницы, мм	620	620	645	645
Смещение X цт относительно середины опорной поверхности, мм	150	170	225	250
Расстояние между осями крайних опорных катков, мм	2680	2620	2665	2920
Длина опорной поверхности, мм	2854	2815	2780	3045
Коэффициент неравномерности распределения давлений по длине опорной поверхности	2,87	2,67	2,81	2,33
Среднее давление движителя, кПа	39,8	48,4	44,8	42,4
Максимальное напряжение на глубине 50см, кПа (ГОСТ 26953-86)	25,3	30,7	29,1	27,6
Максимальное давление на почву, кПа (ГОСТ 26954-86)	114,2	129,2	119,6	98,8
Коэф. зависящий от размеров и формы опорной поверхности (по методике НПО НАТИ)	1,74	1,73	1,70	1,76
Максимальное давление движителя на почву, кПа (по методике НПО НАТИ)	159,2	186,4	137,0	96,4
Уплотняющее воздействие на почву, кН/м (по методике НПО НАТИ)	172,0	200,3	150,3	109,4
Коэффициент сопротивления движению (оценка тяговых сцепных свойств (расчёт))	0,216	0,254	0,392	0,264
Глубина следа, мм (оценка тяговых сцепных свойств (расчёт))	76	92	93	86
Величина буксования гусениц, %	0,185	0,19	0,155	0,145
Эксперимент	Глубина следа, мм	62	57	35
	Коэффициент неравномерности	3,18	4,05	3,0
	Максимальное давление на почву, кПа	170	206	120
	Максимальное напряжение на глубине 20 см, кПа	134	160	89,9
Плотность почвы в следах комбайнов $\Gamma/\text{см}^3$ в следе $0 \pm 10\text{см}$ .	1,38	1,41	1,35	1,30

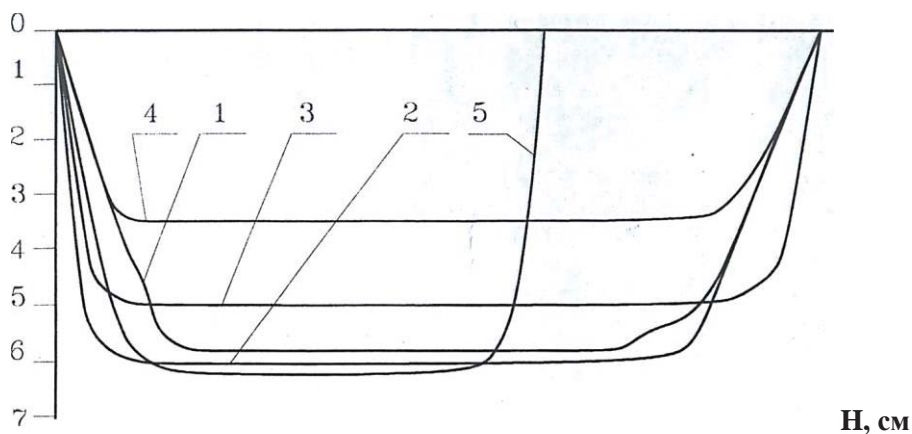


Рис. 1. Профиль сечения следов прохода объектов №№ 1-5

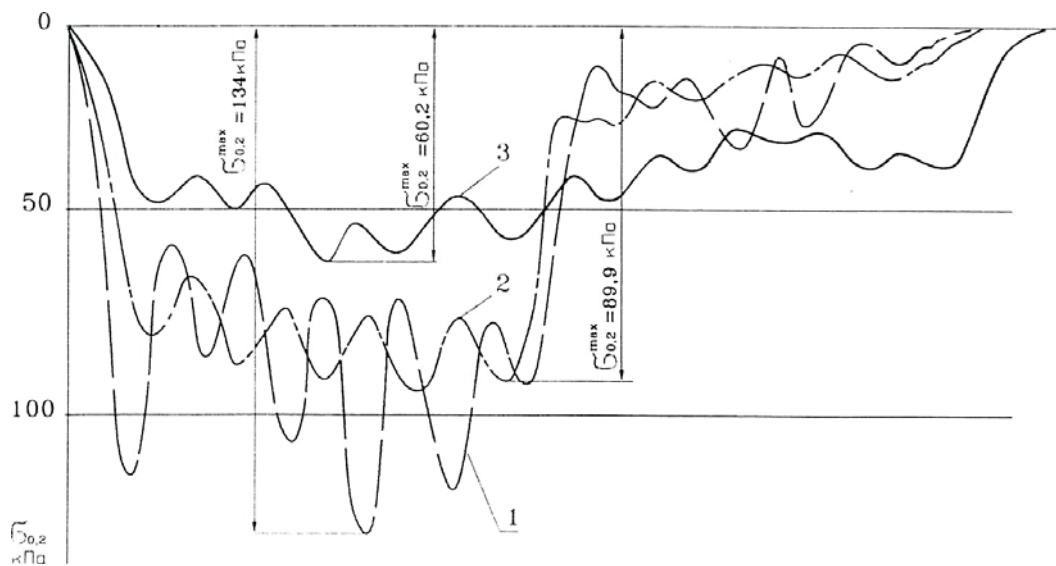


Рис.2. Линия влияния напряжений на глубине 20 см под комбайнами с разными ходовыми системами 1-КСП-01; 2- ТГР-3; 3- ТГР-4

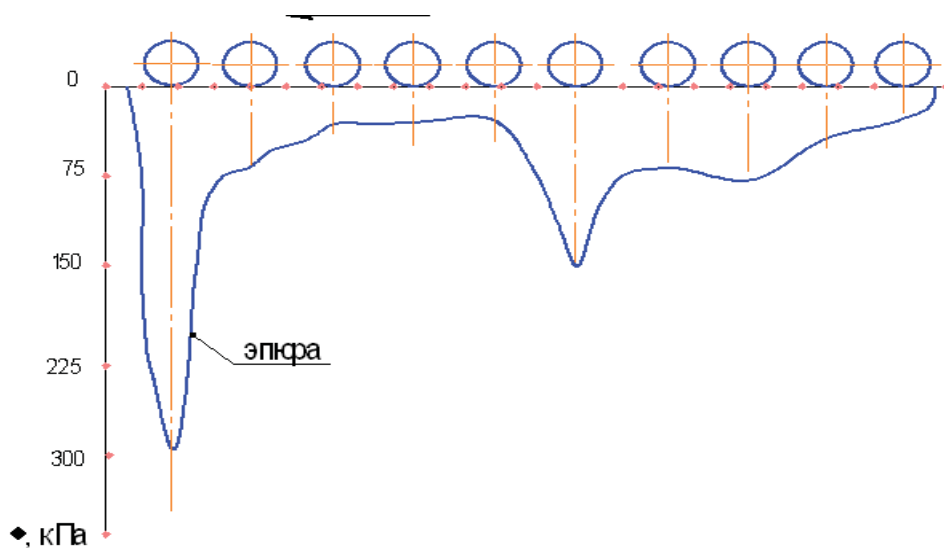


Рис. 3. Оценка давления на почву комбайна с металлической гусеницей

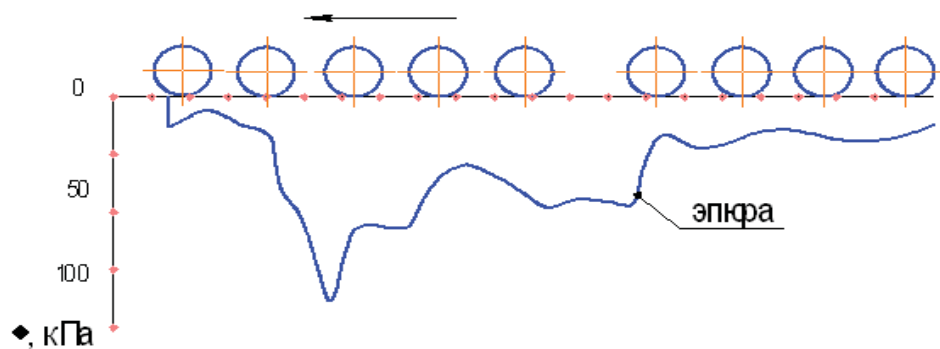


Рис. 4. Оценка давления на почву комбайна резиноармированной гусеницей

Как известно, пиковые давления формируют глубину колеи. Распределение давления под резиноармированной гусеницей носит более равномерный характер.

Установка торсионно-балансирной подвески с резиноармированной гусеницей ТГР-4 снижает воздействие на почву в 2,5 раза, по сравнению с серийным гусеничным комбайном на металлогусеничном ходу. Воздействие на почву ТГР-4 ( $U=73,1$  кН/м)

находится ниже безопасного для почвы предела ( $U=75$  кН/м).

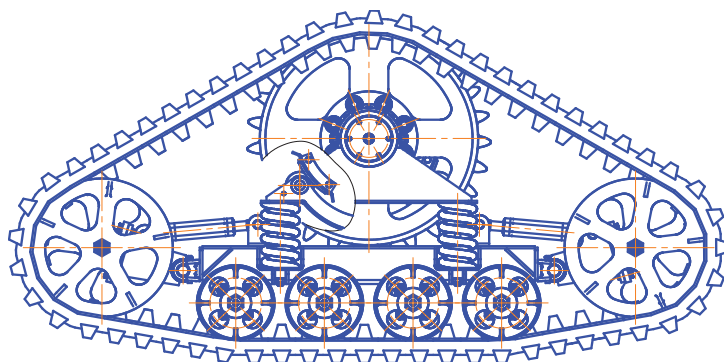
На заводе «Дальсельмаш», г. Биробиджан выпускались как серийные комбайны на металлических гусеницах, так и опытные партии комбайнов «Енисей-1200РА», «Енисей-958Р» на резиноармированных гусеницах в цельногусеничном исполнении, которые успешно работают на полях Амурской области.



Рис. 5. Гусеничная ходовая тележка на полужёсткой рычажно-пружинной подвеске



Рис. 6. Гусеничная ходовая тележка на упругой торсионно-балансирной подвеске



**Рис. 7. Гусеничный блок для формирования полугусеничного шасси (ШПР)**



**Рис.8. Шасси полугусеничное с резиноармированными гусеницами на мосту МПП для комбайна «Енисей-950»**

Комплект гусеничных блоков (рис. 7) монтируется вместо базовых ведущих колес на штатный мост МПП и формирует, таким образом, сменное полугусеничное шасси ШПР (рис. 8), также может быть смонтирован практически на любой зерноуборочный комбайн российского или зарубежного производства с использованием адаптирующих узлов для монтажа (проставка, кронштейн).

Гусеничные блоки ШПР [5] монтировались на комбайны серии «Енисей- 950» всех модификаций производства Красноярского завода (рис. 9, а), «Енисей-1200НМ (рис. 9,б), «Вектор 410» (рис. 9,з) и «Нива» (Ростсельмаш), КЗС-812 «Палессе» (Гомсельмаш) (рис. 9,д), на комбайны «John Deere 3316» китайского производства (рис. 9,е), МТЗ-82 «Беларусь», Т-150К (ХТЗ) рис. 9,е), К-701 «Кировец».

Государственные приемочные испытания на Амурской МИС (с. Зеленый Бор, Михайловский район) (Протокол № 02-10-07 (4010271) Приемочных испытаний шасси полугусеничного на резиноармированных гусеницах ШПР 00.00.000. – с. Зелёный Бор, Амурская государственная машиностроительная станция, 2007) показали, что ШПР хорошо монтируется на комбайн взамен пневматических колес и выполняет технологический процесс при уборке сои благодаря мягкому ходу, обеспечивающему устойчивую работу жатки и достижение более низкого среза (жатка не «галопирует»).

ШПР надежен в работе и приспособлен к техническому обслуживанию, имеет коэффициент готовности, равный единице, позволяет уменьшить шум и вибрацию в кабине комбайна.





А



Б



В



Г



**Рис. 9. Сельскохозяйственная мобильная техника, оборудованная гусеничными блоками с резиноармированными гусеницами: а – КЗС «Енисей-950»; б – КЗС «Енисей-1200-1М; в – «John Deere 3316»; г – КЗС «Вектор 410»; д – КЗС-812 «Полесье»; е – трактор Т-150-4Г**

По сравнению с колесной техникой снижается уровень среднего давления на почву, её уплотнение и разрушение. Кроме того, переоборудованный комбайн и трактор снижают техногенное воздействие на почву, снижают степень её уплотнения, повышают производительность, улучшают тягово-сцепные свойства, а также уменьшают величину буксования (Протокол № 02-10-07 (4010271) Приемочных испытаний шасси полугусеничного на резиноармированных гусеницах

ШПР 00.00.000. – с. Зелёный Бор, Амурская государственная машиностроительная станция, 2007). В настоящее время с РАГ проходит тестовые испытания гусеничный трактор Агромаш 315ТГ, разработанный чебоксарскими тракторостроителями (ОАО «Промтрактор»).

Налажен с 2011 года серийный выпуск гусеничных комбайнов КЗС-812С «Амур-Палессе» на машиностроительном заводе «Кранспецбурмаш» г. Шимановска Амурской области (рис. 10) [2].



Рис. 10. Комбайн КЗС-812С «Амур-Палессе»

### Выводы

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

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

б) исключает повреждение дорог и почв;

в) снижение максимального давления и уплотняющего воздействия 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) значительное уменьшение вибронагруженности и шума, что увеличивает срок службы узлов ходовых систем гусеничных машин и улучшает условия труда механизатора;

д) снижение трудоемкости 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;

ж) ресурс до предельного состояния РАГ выше, чем у металлической серийной гусеницы, в  $4 \div 5$  раз (пробег 20000 км у РАГ, 4500 км у МГ) [3].

Учитывая положительные результаты испытаний ходовых систем комбайнов и тракторов с РАГ, в том числе их асфальтоходность, с полной уверенностью можно сказать, что вся дорожно-строительная и коммунальная техника должна оснащаться гусеничными движителями с РАГ.

Примечание. Расшифровка аббревиатуры:

СКГ-3 – самоходный комбайн гусеничный с пропускной способностью 3кг/с хлебной массы;

МГ – металлогусеница;

РАГ – резиноармированная гусеница;

ТГР-4 – тележка гусеничная с резиноармированной гусеницей с торсионно-балансирной подвеской;

ТГР-3 – тележка гусеничная с резиноармированной гусеницей с рычажно-пружинной подвеской;

МИС – машиноиспытательная станция;

ШПР – шасси полугусеничной с резиноармированными гусеницами;

НАТИ – Научно-исследовательский тракторный институт.

### Список литературы

1. Гусеница бесшарнирная резиноармированная уборочной машины : пат. 2403165 Российская Федерация : МПК В62D 55/253 / И. В. Бумбар, М. В.Канделя, Н. М. Канделя, В. Н. Рябченко, П. А. Шилько. – № 2009119766 / 11 ; заявл. 25.05.2009 ; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 3.

2. Гусеничные зерно- и кормоуборочные комбайны. Основы теории и конструктивно-технологические устройства: монография /А. М. Емельянов, И. В. Бумбар, М. В. Канделя, В. Н. Рябченко, Е. М. Шпилев. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграр. ун-та, 2013. - 318 с. - ISBN 978-5-9642-0207-3.
3. Канделя, М. В. Исследование и обоснование технического уровня различных типов гусеничных ходовых систем уборочно-транспортных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01. - Благовещенск, 1997. - 184 с. : ил.
4. Русанов, В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути её решения. – Москва: ВИМ, 1998. – 368 с. – ISBN 5-89527-004-2.
5. Ход полугусеничный сменный : пат. 2342278 Российская Федерация : МПК В62D 55/04 / В. В. Масюк, М. В. Канделя, П. А. Шилько : заявитель и патентообладатель ЗАО "Биробиджанский комбайновый завод «Дальсельмаш» (RU). – № 2007123201 / 11 ; заявл. 20.06.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.
6. Ходовые системы сельскохозяйственных тракторов : Труды / Науч.-произв. об-ние по тракторостроению; [Редкол.: Щельцын Н. А. (гл. ред.) и др.]. - Москва : Головной ОНТИ НПО НАТИ, 1991. – 139 с.
7. Tracking the Cat 6511 Farm Industry News. – Vol. 22. – 1989. – № 4 . – P. 86 -88.

### Reference

1. Gusenica bessharnirnaya rezinoarmirovannaya uborochnoj mashi (Pat. № 2403165 C1 RU. Hingeless Rubber-Reinforced Caterpillar of Harvesting Machine), Bumbar I. V., Kandelya M. V., Kandelya N. M., Ryabchenko V. N., SHil'ko P. A., № 2009119766, 11 заявл. 25.05.2009, opubl. 10.11.2010, byul. № 3.
2. Gusenichnye zerno- i kormouborochnye kombajny. Osnovy teorii i konstruktivno-tehnologicheskie ustrojstva: monografiya (Track-Type Grain and Forage Harvesters. Fundamentals of Theory and Design- Technological Devices. Monograph), A. M. Emel'yanov, I. V. Bumbar, M. V. Kandelya, V. N. Ryabchenko, E. M. SHpilev, Blagoveshchensk, Izd-vo Dal'nevostochnogo gos. agrar. un-ta, 2013, 318 p., ISBN 978-5-9642-0207-3.
3. Kandelya, M. V. Issledovanie i obosnovanie tekhnicheskogo urovnya razlichnyh tipov gusenichnyh hodovyh sistem uborochno-transportnyh mashin (Study and Substantiation of the Technical Level of Different Types of Crawler Undercarriage Systems of Harvesting and Transport Machines), dissertaciya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.20.01, Blagoveshchensk, 1997, 184 p., il.
4. Rusanov, V. A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnye puti eyo resheniya (Problem of Soil Over-Compaction by Movers and Effective Ways of its Solution), Moskva, VIM, 1998, 368 p., ISBN 5-89527-004-2.
5. Hod polugusenichnyj smennyj (Pat. № 2342278 C1 RU. Changeable Half-Track Mover), Masyuk V. V., Kandelya M. V., SHil'ko P. A., № 2007123201, 11 заявл. 20.06.2007, opubl. 27.12.2008, Byul. № 36.
6. Hodovye sistemy sel'skohozyajstvennyh traktorov: Trudy (Undercarriage Systems of Agricultural Tractors), Nauch. - proizv. ob-nie po traktorostroeniyu, [Redkol.: SHCHel'cyn N. A. (gl. red.) i dr.], Moskva : Golovnoj ONTI NPO NATI, 1991, 139 p.
7. Tracking the Cat 6511 Farm Industry News, Vol. 22, 1989, No 4, PP. 86 -88.