

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТРАКТОРОСТРОЕНИЯ

УДК 623.437.422



**Резюме.** Проанализированы некоторые тенденции развития мирового тракторостроения. Указывается, что рост конструктивной массы машин приводит к чрезмерному уплотнению почвы, а это отрицательно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Автором разработан системный подход и методология создания экологически безопасной техники для различных сфер экономики, в частности агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства.

**Ключевые слова:** тракторы, ходовая система, двигатель, удельное давление на почву, агроэкологическая концепция, экология машиностроения.

Тракторы разных модификаций остаются одним из основных мобильных энергетических средств производства, в частности в сельском и лесном хозяйстве, дорожном строительстве и др. Глобальная экологизация экономики предполагает снижение рисков для окружающей среды и предотвращение истощения ее компонентов при устойчивом росте производства продукции. Ведущие представители мирового тракторостроения постоянно совершенствуют свою линейку машин – повышаются их производительность, степень автоматизации, экономичность, комфорт и безопасность



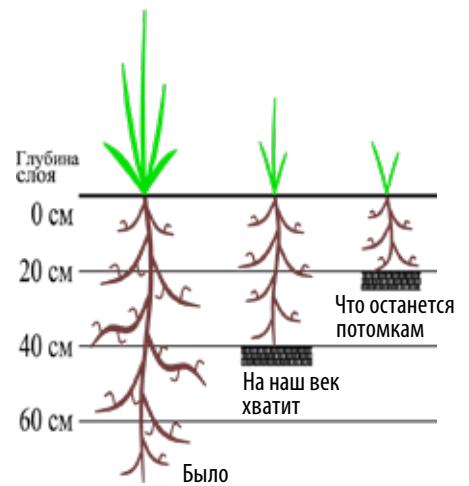
**Владимир Бойков,**  
заведующий кафедрой «Тракторы»  
Белорусского национального технического  
университета,  
доктор технических наук, профессор

оператора, экологическая безопасность, обеспечивается щадящее воздействие на почву (с одновременным улучшением сцепления с ней). На последних выставках «Agritechnika» (Ганновер, Германия) прослеживается тенденция к увеличению мощности и экономичности двигателей: на рынках пользуется спросом тракторная техника мощностью свыше 450 кВт со складывающейся шарнирно-сочлененной рамой или на гусеничном ходу, колесные машины мощностью до 450 кВт с рулевым управлением в стандартном конструктивном исполнении и с комбинированной ходовой системой.

Потребность в тракторной технике растет. Одной из причин можно признать следующий факт: по прогнозам ООН и ее продовольственной организации ФАО, к 2050 г. на планете будет жить 9 млрд человек, что потребует увеличения объема продовольствия вдвое. Поэтому перед сельским хозяйством стоит большая по масштабам задача – удовлетворить растущий спрос на продукты питания и на биомассу для производ-

ства электроэнергии. Кроме того, ожидается, что площадь пашни сократится до 0,18 га на душу населения (в 1950 г. этот показатель составлял 0,51 га), есть вероятность изменения климата. Чтобы сохранить продовольственную безопасность, в сельском хозяйстве необходимо обеспечить устойчивый долгосрочный рост объемов продукции без увеличения площадей, чему будет способствовать применение перспективных высокопроизводительных средств механизации.

Современная теория и практика однозначно свидетельствуют о том, что создание машин – это процесс принятия компромиссных решений. Улучшая одни параметры, мы неизбежно ухудшаем другие. В частности, с ростом мощности тракторов растет их масса, что приводит к увеличению допустимого агротехни-



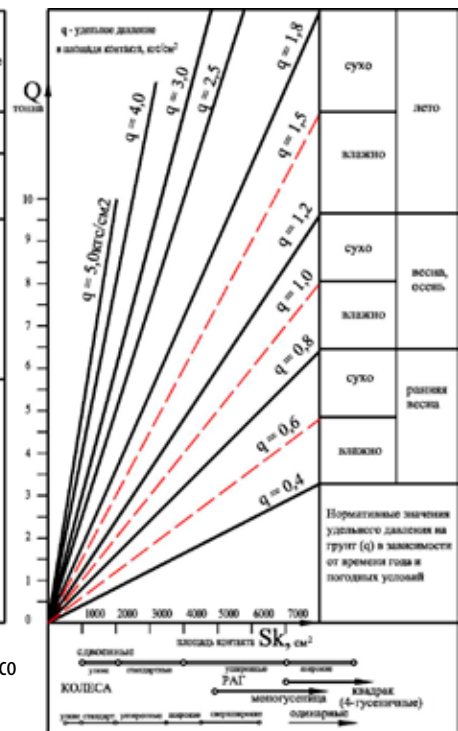
**Рис. 1.** Возможная динамика экологического состояния почвы

Источник: совместная разработка автора с Г.А. Клысак (компания «Консима», Днепрпетровск, Украина)

кой удельного давления на почву, снижению урожайности сельскохозяйственных культур, а далее – к эрозии, снижению плодородия, повышению сопротивления обработке и др.

	Тракторы							Зерноуборочные комбайны	
	4к4а (39-70%)				4к4б (60-40%)			14,3	16,7
Мощность в.с.	85-100	150-200	200-300	300-400	150-200	300-400	400-600		
Масса эксплуат. тролля	4,0	5,2	10	18,8	8,7	15,2	20,7		
						13,4	17,6		

**Таблица 1.** Масса машин и нагрузка на одно колесо  
**Таблица 2.** Фактическое и нормативное\* давление на почву



\* q=0,4...1,8 – по вертикальной границе правой части таблицы для различной влажности почвы



Рис. 2. Блок-схема системного подхода и методологии инженерных расчетов и проектирования ходовых систем, экологически совместимых с внешней средой. Источник: авторская разработка

Игнорирование агроэкологических требований серьезно угрожает состоянию плодородных почв (рис. 1). В результате вывoda в поле техники с превышением допустимых норм воздействия почвы чрезвычайно переуплотняются, не успевают самостоятельно разрыхляться (особенно глубже полуметра), деградируют и теряют природное плодородие, ухудшаются биологические и обменные процессы. Корни перестают прорастать глубже 50 см, почвенная влага не поднимается из глубинных слоев, а атмосферная – не может проникнуть глубже 40–50 см и создать запас. С потеплением климата проблема водо- и воздухообеспечения земли обостряется и потеря плодородия прогрессирует. Из-за уменьшения порового пространства повышается сопротивление почвы обработке, машины выходят из строя, увеличивается расход топлива (порой вдвое).

За последние 50 лет в СНГ создана тяжелая сельскохозяйственная техника массой более 8–10 т. Преимущественное развитие консервативной тяговой концепции, когда касательная силы тяги увеличивается на основе роста массы, привело к созданию тяжело-весов в 15–25 т.

Помимо традиционного – колесного, в качестве движителя в современном тракторостроении начали применяться комбинации иных конструкций: резиноармированные гусеницы, полугусеничные варианты и др. Однако их стоимость слишком высока, и потому запросы сельхозпроизводителей на технику с такой ходовой системой пока обеспечиваются не более чем на 10%. Тем не менее исследования в этом направлении активно продолжаются.

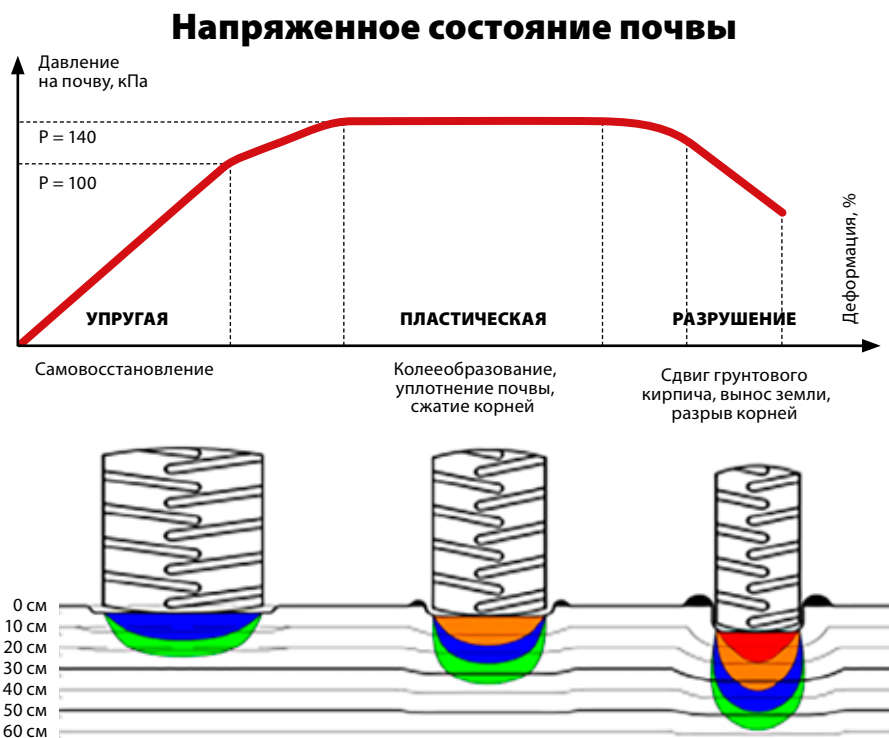


Рис. 3. Связь параметров движителя и напряжения в почве  
Источник: совместная разработка автора с Г.А. Клысак (компания «Консима»; Украина, Днепропетровск)



Рис. 4. Агроэкологические ходовые системы (текущие результаты): полугусеничная (А) гусеничная (Б), на шинах сверхнизкого давления (В)

Системный метод оценки реального режима нагружения ходовой системы дает возможность правильно подобрать тип движителя, его параметры и вариант комплектации к конкретной модели машины для выполнения определенных технологических операций.

Практика показывает, что нагрузки, влияющие на напряженно-деформированное состояние движителя (шин), существенно отличаются от статической, зависящей от массы трактора, вплоть до удвоения (табл. 1). Такой рост оказывает значимое влияние на тягу и буксование, но резко увеличива-

ет максимальное давление на почву в пятне контакта (табл. 2). Для стандартных шин показатели доходят до  $1,2-2,0 \text{ кгс/см}^2$  – у легких тракторов, до  $2,5-4 \text{ кгс/см}^2$  – у тяжелых, до  $3-5 \text{ кгс/см}^2$  – у комбайнов и прицепов в статическом состоянии при полной нагрузке.

Национальными нормами Украины, России, Беларуси установлены категоричные ограничения для сезонных видов сельскохозяйственных работ (ранневесенние, весенние, летние и осенние) при влажной и сухой погоде (ГОСТ 26955–86, действующий со времен СССР). Однако реальные данные, приведен-

ные в табл. 1 и 2, в 2–5 раз превышают допустимые значения (в статике и динамике), что подтверждает угрозу дальнейшего снижения плодородия почвы.

Нами разработаны теоретические основы, средства и методы исследования и создания мобильных колесно-гусеничных машин; методология инженерных расчетов и проектирования ходовых систем для такой техники с заданным уровнем надежности, экологически совместимых с внешней средой (рис. 2). В качестве инструмента расчета используются программы Creo parametric.



Рис. 5. Ходовые системы со сдвоенными шинами

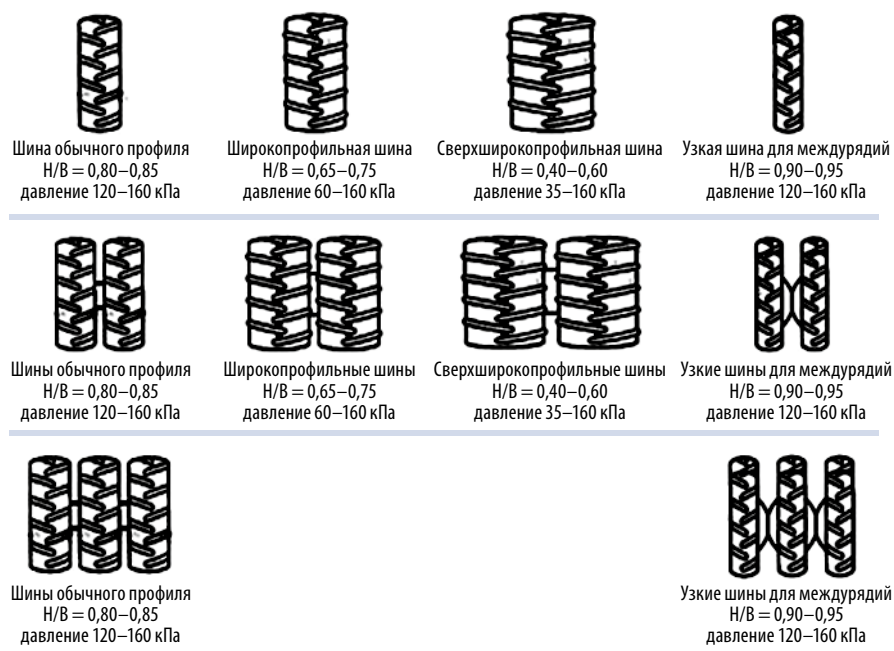


Рис. 6. Тракторные шины для различных видов полевых работ. Варианты комплектаций и их результативность  
Источник: авторская разработка

При проектировании ходовых систем сельхозтехники исходили из агроэкологической концепции, при которой главными критериями выбираемого движителя являются максимальное давление на почву ( $q_{max}$ ) и буксование ( $\delta$ ) (рис. 3). В процессе расчетов параметры (тип и размеры) движителя увязывались с нагрузочным режимом. Параллельно проводились биониче-

ские исследования различных вариантов формы контактных отпечатков опорных поверхностей движителя. Испытания опытных образцов машин продемонстрировали уникальные результаты. Так, максимальное давление на почву не превышало 1,5–2,0 кг/см<sup>2</sup> при буксовании в пределах 9–12%. В результате дальнейших изысканий, выполнения совместно с ОАО «МТЗ» науч-

ных заданий в рамках ГНТП созданы современные варианты тракторов: с гусеничной, полугусеничной и на шинах сверхнизкого давления ходовыми системами (рис. 4). В силу особенностей конструктивного исполнения и технологии изготовления их производство пока остается затратным.

Как альтернатива реализуется ходовая система со сдвиганием и страиванием колес переднего и заднего мостов тракторов «Беларус» повышенной мощности и тяговых классов с применением выпускаемых в странах ЕС и СНГ шин (в том числе серийных ОАО «Белшина») (рис. 5). Нами проведены соответствующие расчеты нагрузочного режима ходовой системы и рекомендованы типоразмеры шин для различных вариантов комплектации, а ОАО «МТЗ» их изготавливает.

При проектировании тракторной техники учитываются требования, особенно важные для сельскохозяйственного производства – защита почвы и экологическая безопасность. Так, на ОАО «МТЗ» при научном сопровождении кафедры «Тракторы» БНТУ созданы опытные образцы машин большой мощности с электрической трансмиссией, ведутся работы по подготовке их производства. Дорабатывается конструкция многофункционального шасси с низким давлением на почву и гидравлической трансмиссией (рис. 4В).

Результаты научных исследований, инженерных расчетов, конструкторских решений, опытных испытаний нами систематизированы и сведены в две схемы (рис. 6, 7). Рекомендуем использовать их в качестве исходных данных для рациональной комплектации ходовой системы.

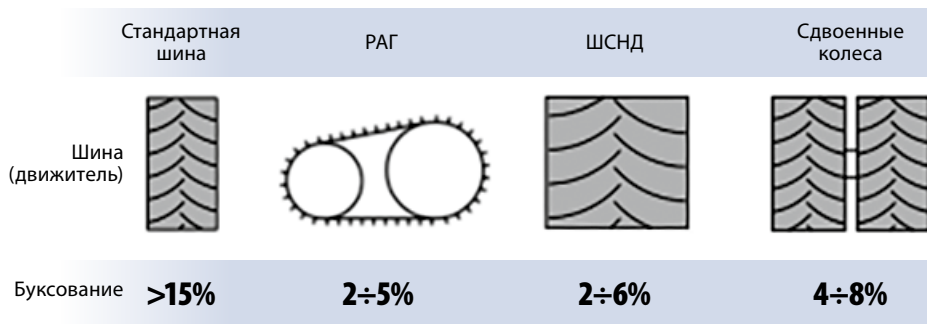


Рис. 7. Конструктивное исполнение ходовой системы и величины соответствующего буксования  
Примечание: РАГ – резиноармированные гусеницы, ШСНД – шина сверхнизкого давления  
Источник: авторская разработка



Рис. 8. Комплекты уборочной техники для тракторов малой мощности (ГНПП «Освоение в производстве новых и высоких технологий»)

В соответствии с Программой научного сопровождения по обеспечению создания новых типов размеров шин ОАО «Белшина» (до 2030 г.), утвержденной концерном «Белнефтехим», НАН Беларуси, Министерством высшего образования, сотрудникам кафедры «Тракторы» БНТУ предстоит разработать типаж сельскохозяйственных шин, включая ассортимент шин с низким давлением на почву (2018–2025 гг.) и методологию расчета и выбора параметров ходовой системы (2018–2020 гг.) на основе изложенных здесь подходов.

Согласно данным последних испытаний, полезная тяговая мощность, передаваемая прицепным

и навесным машинам и орудиям при традиционной сборке, составляет в общем случае не более 50%. Предварительные расчеты показывают, что применение предлагаемой методики по выбору комплектации и компоновки ходовой системы позволит увеличить эффективную тяговую мощность трактора, ее потери могут быть снижены до двух раз (табл. 3).

Требования экологической безопасности предъявляются к любой технике, в том числе используемой в коммунальном хозяйстве, например для уборки. Но даже в Минске высокопроизводительных машин такого назначения практически нет. Частично решить проблему могут

тракторы небольшой мощности с комплектом необходимого агрегируемого с ними оборудования. Нами проанализированы маршрутные схемы, выполнены расчеты и разработан набор навесных и прицепных агрегатов для тракторов МТЗ-322...622 (рис. 8). Ведутся работы и по созданию универсальных самоходных подметально-вакуумных агрегатов для специализированной уборки улиц, проездов, дворовых территорий, остановочных пунктов. Семейство таких машин разных классов разрабатывают в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси, а также в Минском технопарке с участием кафедры «Тракторы» БНТУ.

Таким образом, разработан системный подход и методология создания экологически безопасной техники для различных отраслей. Существует объективная возможность довести типаж тракторов МТЗ до рационального минимума и на примере модельного ряда тракторов «Беларус» создать стандартную линейку движителей, оптимальную для различных почв, влажности, сфер применения и видов агрегируемых машин. ■

Структура затрат мощности при выполнении операций	Возможное распределение мощности, %	
	с традиционной сборки	с применением разработанной методики
Крюковая мощность	45±5	73±5
На деформацию грунта	24±10	10±5
На буксование движителя	16±5	5±3

Таблица 3. Эффективная тяговая мощность трактора