

## АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

*Никакую проблему невозможно решить  
на том же уровне, на каком она возникла  
Альберт Эйнштейн*

### *Введение*

Экологическое конструирование необходимо рассматривать во взаимосвязи с CALS технологиями (Continuous Acquisition and Life Cycle Support), как непрерывной информационной поддержкой жизненного цикла продукта. В этой связи, понятие экологическое конструирование можно определить как обеспечение экологической безопасности машин в полном жизненном цикле с использованием CALS технологий.

Учет влияния на экологию всех стадий полного жизненного цикла - от добычи сырья до захоронения остатков - позволяет дать комплексную оценку экологической безопасности машины и наметить меры по ее совершенствованию.

*Стадии полного жизненного цикла машин. Анализ и синтез.*

Для наземной мобильной техники, в том числе и сельскохозяйственной, стадиями полного жизненного цикла являются: добыча сырья, его переработка и получение конструкционных и эксплуатационных (топливо, масла, рабочие жидкости и др.) материалов; изготовление деталей и узлов, сборка и окраска; эксплуатация; ремонт и обслуживание; разборка; утилизация и захоронение остатков. Приведенные этапы жизненного цикла машин регламентируются стандартами ISO 14000, включающими: организацию системы экологического управления; экологический аудит; экологическую маркировку; оценку экологичности производственных систем и продукции на стадиях жизненного цикла. К числу стандартов, связанных с экологической оценкой жизненного цикла, относятся: ISO 14040, 14041, 14042 и 14043. Оценка экологической безопасности включает четыре этапа: определение цели и сферы оценки; инвентаризация воздействий на окружающую среду; оценка воздействий и интерпретация результатов.

Веса отдельных этапов жизненного цикла трактора составляют от общих стоимостных затрат, %: конструирование – 3...4; изготовление – 10...15; эксплуатация – 60...65; ремонт (все виды) – 14...16. Для легкового автомобиля массой 1500 кг затраты энергии (ГДж) в течение жизненного цикла на стадиях: техническое обслуживание – 12,9 (1,8%); эксплуатация – 646 (89,1%); захоронение отходов 1,3 (0,2%). В скобках (%) приведен удельный вес стадий в общих затратах энергии по полному жизненному циклу.

### **ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ.**

Для обеспечения сельскохозяйственного производства техникой до 1990 г. использовалось ежегодно до 20% от общего потребляемого в стране металла. Следует отметить, что уровень техники и ее количество не удовлетворяли запросов потребителя. Предприятия, производящие технику, выбрасывают в атмосферу значительное количество CO<sub>2</sub>. За последние 20 лет промышленность существенно уменьшила эмиссию газов, в т.ч. CO<sub>2</sub>, окислов азота. Эмиссия CO<sub>2</sub> (по данным ФРГ на 1991 г.) составила: 40% - электростанции и теплотрассы; 20% - промышленность; 16% - движение по дорогам (автомобили); 14% - отопление помещений. За период 1991-1992 гг. за счет более эф-

фективного использования энергии эмиссия  $\text{CO}_2$  снизилась на 24% в пересчете на производство одного автомобиля.

Потребление кислорода для сжигания различных видов топлива в глобальном масштабе составляет более  $50 \cdot 10^{12}$  кг и ежегодно увеличивается на 10%.

Предприятия по добыче и переработке нефти и газа загрязняют атмосферу углеводородами, водоемы и почву – вредными отходами. Технология добычи нефти связана со значительным водопотреблением, – на каждую тонну нефти затрачиваются в среднем  $1,9 \text{ м}^3$  воды.

Среднестатистическое потребление кислорода дизелем трактора оценивается в  $5 \cdot 10^3$  кг в год.

Таблица 1 - Производства, виды воздействия на природную среду и структура экономического ущерба приведены ниже.

Производство	Виды воздействия на природную среду
Добыча угля, нефти, газа, калийных и фосфорных удобрений.	Изъятие земельных угодий; вскрытие водоносных горизонтов и загрязнение их рудничными водами; загрязнение атмосферы летучими углеводородами при погрузке и разгрузке, загрязнение вод и засоление почв продуктами эрозии отвалов пустых пород.
Производство азотных удобрений.	Изъятие земельных угодий, загрязнение атмосферы.
Переработка первичного сырья и его транспортировка.	Изъятие земельных угодий, загрязнение атмосферы, воды и почв за счет эрозии отвалов.
Производство энергии на тепловых электростанциях.	Изъятие земельных угодий, загрязнение атмосферы, воды, почв продуктами сжигания топлива.
Производство энергии на гидроэлектростанциях.	Изъятие земельных угодий под водохранилище; изменение физических характеристик, химического, санитарно-бактериального и видового состава водоемов; изменение экосистем района, его метеорологических и климатических характеристик.
Транспортировка электроэнергии.	Изъятие земельных угодий под линии электропередач; электромагнитное загрязнение окружающей среды.
Внесение минеральных удобрений и пестицидов.	Закисление почв, накопление в ней нитратов, накопление в почве и растениях химических веществ, вредных для человека и животных.
Уплотнение и порча почв ходовыми системами тракторов и сельскохозяйственной техники.	Снижение плодородия почв и окупаемости удобрений урожаем сельскохозяйственных культур; выход из сельскохозяйственного использования земельных угодий.
Производство мяса, молока и яиц на животноводческих и птицеводческих комплексах, производство и внесение органических удобрений.	Загрязнение атмосферы, накопление в почве и водоносных горизонтах нитратов, болезнетворных микроорганизмов, вредных для человека и животных.
Очистка и мойка сельскохозяйственных машин в процессе их эксплуатации и хранения.	Загрязнение почв нефтепродуктами, нитратами, пестицидами.

### *Надежность сельскохозяйственной техники и потери.*

Одним из показателей надежности машины является безотказность. Критерием ее оценки может служить расход материалов, в т.ч. конструкционных, используемых в виде запчастей, для поддержания работоспособности машины в эксплуатации. За срок службы гусеничного трактора расход запчастей превышает его конструкционную массу, для колесного составляет 10...15% от его массы.

Низкая надежность машин и их систем, нестабильность параметров, вызванная нарушением регулировок, ведет к увеличению расхода эксплуатационных материалов (топливо, масла, рабочие жидкости и др.).

Потери рабочей жидкости и масел при аварийном нарушении герметичности гидроприводов достигают от 20 до 80 кг в год на один трактор и от 80 до 100 кг на один автосамосвал типа МАЗ.

Общие потери моторных и трансмиссионных масел слагаются из суммы потерь на пути из резервуара для хранения до заправочной емкости машины и находятся в пределах от 0,5 до 6,5% для моторных и 1,2...17,5% для трансмиссионных масел от их расхода. Потери топлива превышают 10%, в т.ч. в процессе эксплуатации машины около 8%.

### *Механическое воздействие сельскохозяйственной техники на почву.*

Установлено, что трактор массой  $5 \cdot 10^3$  кг вызывает уплотнение сухой почвы на глубину 0,72 м, на почвах с низкой влажностью – до 0,9 м, на переувлажненных – до 1,02 м.

Помимо экологического значителен и экономический ущерб, вызванный снижением урожайности (до 30% и более, отмечаемым более чем в 40 странах мира), необходимостью проведения дополнительных почвообработок, увеличением (до 2 раз) сопротивления обработке почвы и связанным с этим дополнительным расходом топлива, необходимостью внесения (для компенсации потерь урожайности) повышенных доз удобрений, увеличивающих и без того высокий уровень содержания нитратов в пище человека и других негативных последствий. Недобор урожая в России составляет: по зерновым –  $13...15 \cdot 10^6$  кг в год, по сахарной свекле – более  $2 \cdot 10^6$  кг, по зерну кукурузы – около  $5 \cdot 10^5$  кг, значителен недобор урожая картофеля и других сельскохозяйственных культур.

В решении проблемы снижения негативного воздействия ходовых систем сельскохозяйственных машин на почву на первое место ставится комплекс мер по снижению массы машин и совершенствованию их ходовых систем, в т.ч. движителей.

### *Совершенствование ходовых систем.*

#### *Альтернативные движители.*

Проводимые работы по снижению негативного воздействия сельскохозяйственных машин на почву основаны на совершенствовании существующих движителей и создании альтернативных.

Первое направление основано на традиционных методах: увеличение площади контакта движителей; снижение нагрузки на них или использование двух факторов одновременно. При этом неизменным остается тип движителей (колесные или гусеничные) и способ преобразования энергии в тягу.

Снижение массы машин при сохранении размеров движителей ведет к снижению давления на поверхность. Уменьшение давления на почву приводит к снижению ее тяги, которая может быть сохранена при условии увеличения площади контакта движителя. В ряде случаев это может быть достигнуто только при переходе на другой тип движителя: с колесного на гусеничный или шагающий. К числу таких случаев относятся возделывание пропашных культур.

Применение шагающего механизма в качестве движителя для тракторов и других сельскохозяйственных машин основано на использовании принципа вращательного переноса башмаков. Такие механизмы позволяют производить переоборудование машины на шагающий ход без изменения трансмиссии и обеспечивают их передвижение без ухудшения условий труда оператора. По сравнению с традиционными колесными и гусеничными движителями шагающие движители обладают: дискретностью следа; увеличенной в 1,6...1,8 раза силой тяги при равной вертикальной нагрузке на них; повышенной проходимостью по поверхности с низкой несущей способностью и коэффициентом трения (сцепления); способностью преодолевать препятствия высотой, равной 0,5 диаметра «эквивалентного» колеса.

Для достижения этих качеств шагающий движитель должен обеспечивать близкую к постоянной площадь контакта опорных башмаков с поверхностью (почвой) в любой период перемещения и дискретное колееобразование.

Выполнение первого требования способствует получению эффекта качения колеса, второго – обеспечивает постоянство давления на грунт, третьего – вызывает уменьшение площади уплотнения почвы в процессе перемещения по ней.

Сопrotивление движению шагающего механизма на мягких грунтах включает и бульдозерное сопротивление, или точнее, псевдоциклическое сопротивление от заглубления и выглубления «ног».

Особое место в теории шагающих механизмов занимают шагающие движители с вращательными переносом опорных башмаков. Если принять, что площадь контакта отдельного башмака равна площади опорной поверхности колеса, которая определяется по известной методике, тогда давление на почву у обоих движителей будет равным.

Дискретность следов шагающего движителя уменьшает вероятность водной эрозии почвы, что особенно эффективно для работы на склонах. Наличие шагающего механизма позволяет машине совершать операции перемещаясь вдоль склона.

*Материалоемкость МТА и самоходных машин.*

*Снижение массы машин.*

При оценке современных конструкций технических средств и оценке их экологической безопасности в качестве одного из критериев целесообразно исследовать материалоемкость – показатель, характеризующий расход материалов на изготовление, эксплуатацию и ремонт за срок службы, отнесенный к объему выполненных работ за этот период. Таким образом, учитывается уровень производства, прогрессивность конструкции и ее надежность (расход запчастей), совершенство эксплуатации (объем выполненных работ).

Удельная материалоемкость конструкции трактора (кг/л.с.) в функции мощности его двигателя ( $N_3$ ) и колесной формулы определяется зависимостями:

$m_{уд} = 116,36 - 0,909 N_3$  – для тракторов 4К4а с двигателем мощностью от 20 до 80 л.с.;

$m_{уд} = 109,1 - 0,408 N_3$  – для той же схемы и мощности двигателя 80 до 150 л.с.;

$m_{уд} = 84,17 - 0,26 N_3$  – для тракторов той же схемы с двигателем мощностью 65...150 л.с.

Материалоемкость зависит от универсальности машин, т.к. она определяет занятость машины в течение года, а, следовательно, и ее выработку. Основная часть производительного расхода материалов приходится на самоходные машины независимо от их назначения, что в эксплуатации оборачивается резким увеличением удельной материалоемкости (кг/ГДж) на уборке: кормов в 1,42 раза; картофеля – 1,75; внесении минеральных удобрений – 2,06; органических – 1,25 по сравнению с этим показателем для аналогичных МТА. Если представить коэффициенты, характеризующие степень использования потенциальных возможностей машин, в виде обобщенного критерия, то единица мощности трактора эквивалентна 10 единицам мощности самоходного комбайна. Поэтому целесообразно создавать гибкие системы на основе модульных энерге-

тических средств, развивать принципы блочно-модульного проектирования, пересмотреть типаж тракторов в сторону его расширения и увеличения плотности ряда.

Образованные на основе модуля машинные агрегаты обеспечат снижение удельной их материалоемкости на 25...30% по сравнению с показателем для самоходных машин и до 10% – для отдельных МТА традиционного построения: трактор + сельскохозяйственные машины.

При замене стальных деталей на алюминиевые уменьшается расход энергии по всему жизненному циклу на 7,5%, а при использовании рециклированного алюминия величина экономии достигает 12%. Использование армированных углепластиков и других материалов с низкой удельной массой позволяет снизить вес машины на 40% и потребление энергии на 16%. Использование алюминия в качестве заменителя чугуна, применяемого для изготовления корпусных деталей трансмиссии и двигателя возможно, но требует изменения конструкции остова и перехода на рамную (с полурамной или безрамной) по типу автомобильной. Такое решение позволяет практически полностью разгрузить корпусные детали от динамических нагрузок.

Влияние снижения массы на расход топлива в процессе эксплуатации в зависимости от функционального назначения машины и условий ее использования различно. Например, для легкового автомобиля при снижении его массы на каждые 100 кг эта величина находится в пределах 0,16...0,75 л/100 км. Среднее же значение снижения расхода топлива для сельскохозяйственных тракторов составляет ~98,5 кг топлива на 100 кг снижения массы машины при ее годовой занятости в течение 1350 м/ч.

*Альтернативные двигатели и топлива.*

На смену традиционным ДВС, несмотря на продолжающуюся их модернизацию в направлении снижения массо-габаритных размеров, повышения КПД и, как результат, снижение расхода топлива, в ближайшее время придут новые бортовые источники энергии. Наиболее вероятными, могут быть: газовая турбина+генератор и топливные элементы. Газовые турбины имеют высокие массо-габаритные и мощностные показатели, превосходящие - ДВС: тепловой КПД до 40%, гибкость применения топлива и более низкую эмиссию. Камеры сгорания газовых турбин обеспечивают возможность смешивания в широком диапазоне различных топлив: бензина, дизельного топлива, спиртов, а также природного газа и порошкообразного угля.

Значительные усилия предприняты по исследованию гибридных источников энергии, в которых комбинируются перспективные ДВС, тяговые электродвигатели и системы хранения энергии на борту. Гибридные источники энергии имеют ряд преимуществ перед обычными ДВС: уменьшенные массо-габаритные размеры, увеличенный КПД (в сочетании с низкой трансмиссией выхлопных газов), наличие накопителей энергии. В гибридных машинах используется возвращенная энергия торможения, которая в тормозных системах обычных машин рассеивается.

Стратегией для преодоления барьера эмиссии является применение «чистых» топлив в сочетании с соответствующими устройствами контроля эмиссии. Метанол обуславливает очень низкую эмиссию частиц, но должны быть приняты во внимание плотность энергии топлива, цетановое число, эмиссия альдегидов и их токсичность. Природный газ, в сжатом или жидкой фазах, является вторым альтернативным топливом для уменьшения эмиссии  $\text{NO}_x$  и твердых частиц, но остаются до конца не решенными вопросы его хранения на борту, дозаправка и обеспечения необходимой плотности энергии.

В настоящее время рассматриваются альтернативные топлива (для ДВС): природный сжатый и сжиженный газ, метанол, этанол, сжиженный нефтяной газ и биогаз.

### Топливные элементы.

Топливные элементы имеют несколько преимуществ, которые делают их перспективными в качестве бортовых источников энергии для тягово-транспортных систем: это – высокий КПД (>50%), очень низкая или нулевая эмиссия, шумы и вибрации. При использовании водорода автомобиль имеет нулевую эмиссию. Кроме того, может быть выполнено требование по экономии топлива, с минимальным воздействием на характеристики автомобиля при переоборудовании его с ДВС на топливные элементы.

### Конструкционные материалы.

Великой нацией нас делает не наше богатство, а то, как мы его используем  
Теодор Рузвельт

Наряду с первичным использованием конструкционных материалов они рассматриваются и с точки зрения их повторного использования. В мировой практике анализ полного жизненного цикла машины используется как инструмент для принятия решения о производстве машины.

На стадии создания машины для оценки совершенства ее параметров с экологической точки зрения, например, формой BMW, используются критерии: эффективность использования ресурсов (использование сырьевых материалов, потребление воды, общие затраты энергии, расстояние транспортировки, выбросы).

Выбор конструкционных материалов производится с учетом требования по ограничению номенклатуры применяемых материалов, возможности их повторного использования с оценкой по критерию экономической эффективности. Имеется перечень материалов, запрещенных к применению по экологическому аспекту.

Концепция рециклирования включает в себя создание мощностей для переработки деталей, отслужившей срок машины и повторного использования материалов. К числу таких материалов прежде всего относятся полимеры и цветные металлы. Конструкция машин и ее узлов разрабатывается с учетом требований разборки и сортировки. Детали должны иметь маркировку, позволяющую идентифицировать материал, из которого они изготовлены. Блочный-модульный принцип построения конструкции наиболее полно отвечает требованиям к разборке машины с точки зрения снижения затрат на выполнение этой операции. В целом конструкция машины должна быть технологичной на стадии производства, эксплуатации и ремонта. Критерии технологичности достаточно полно отражены в специальной литературе и стандартах. Экологическая и экономическая целесообразность повторного использования материалов подтверждается величиной снижения затрат энергии на получение материалов.

Таблица 2 - Расход энергии для получения материалов приведен ниже.

Материал	Первичная энергия, (кДж/кг)	Вторичная энергия (кДж/кг)
Сталь	40000	18100
Чугун	34000	24000
Медь и латунь	100000	45000
Цинк	53000	15900
Свинец	41100	8000
Алюминий – прокат	196000	26700
Алюминий – литье	189000	26000
Магний – литье	284000	27200
Стекло	30000	13000

## **Выводы**

1. Существующая сельскохозяйственная техника, в том числе и тракторы, не обладает свойствами экологической безопасности, оцененной по методике полного жизненного цикла. Ее использование в сельскохозяйственном производстве приводит к значительному снижению плодородия почвы, загрязнению воздушного бассейна и воды.

2. Технологии добычи и переработки сырья для получения конструкционных, эксплуатационных материалов и производства машин являются затратными, загрязняют атмосферу летучими углеводородами, воду и почву – вредными выбросами, отходами эрозии отвалов пустых пород происходит закисление почв, накопление в ней нитратов, накопление в почве и растениях химических веществ, вредных для человека и животных. Глубина переработки сырья, коэффициент использования материалов в производстве недостаточны и это приводит к низкой эффективности их использования, увеличенным объемом переработки.

3. Направление развития мобильной сельскохозяйственной техники, обеспечение ее экологической безопасности будут решаться на всех этапах жизненного цикла на основе:

- обеспечения гарантированного соответствия техники нормам требуемого состояния почвы, атмосферы и воды за счет устранения попадания: масел, топлива и токсичных рабочих жидкостей, продуктов сгорания и испарений, снижения до допустимых величин уплотняющих, способствующих эрозии и других вредных воздействий техники на почву, полного соответствия агротехническим требованиям прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
- повышения топливной экономичности двигателей, повышения КПД машин, снижения энергетических затрат на привод сельскохозяйственных машин, совершенствования механизмов управления машинами, применения автоматического контроля и управления режимами работы моторно-трансмиссионной установки, применения новых типов движителей, рационального подбора режимов работы МТА (по ширине захвата и скорости движения) на основе тягово-энергетической концепции или переменного тягового класса трактора;
- снижения материалоемкости тракторов и агрегируемых с ним машин за счет совершенствования конструкции и применения новых материалов, в т.ч. неметаллических и легких (алюминий, магний и др.), реализации блочно-модульного принципа построения конструкции, активного использования технологической массы сельскохозяйственной машины и поиска новых, более рациональных способов агрегатирования;
- снижения общей потребности в тракторах и сельскохозяйственных машинах за счет оптимизации структуры МТП, поиска новых решений и совершенствования организации межхозяйственного использования машин, сокращения номенклатуры тракторов за счет оптимизации их универсальности;
- снижения расхода топлива на единицу сельскохозяйственной продукции за счет: внедрения ресурсосберегающих технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, базирующихся на минимальной обработке почвы; совмещения технологических операций; рационального сочетания при почвообработке активных и пассивных рабочих органов; маршрутизации движения МТА по постоянной технологической колее; создания тракторов, обладающих суперманевренностью, комплексной автоматизацией, электронизацией;

- создания новых бортовых источников энергии с электрической тягой (идеальная трансмиссия) на первом этапе гибридных (газовая турбина или ДВС и генератор), а на втором этапе – применение топливных элементов;
- создания новых ресурсосберегающих экологически чистых технологий добычи сырья, глубокой переработки его для получения конструкционных и эксплуатационных материалов и технологий производства техники с замкнутым циклом;
- расширения доли рециклируемых материалов, применяемых в конструкции машины;
- использования альтернативных видов топлива, в т.ч. получаемых из возобновляемых источников энергии.

**Литература.** 1. Ксеневи́ч И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовые системы – почва – урожай, М.: Агропромиздат, 1985, 304 с. 2. Ксеневи́ч И.П. Об оптимальной массе трактора Ж. «Тракторы и сельскохозяйственные машины», № 12, 1988. с. 5-8. 3. Ксеневи́ч И.П. Основные направления развития сельскохозяйственной мобильной энергетики. Материалы научно-практической конференции. Москва, ВИМ, 20-21 октября 1999 г. 4. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. Учебник под ред. Ксеневи́ча И.П., М.: Машиностроение, 1991. – 544 с. 5. Кошелев Л.А., Ташкинова Г.В., Чебаненко Б.Б. и др. Экологические проблемы энергетики. Наука. М.: 1989. – 320 с. 6. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Москва, 1995. 7. Планетоход. под ред. проф. А.Л. Кемурджкана. М.: Машиностроение, 1993. 8. Кутенев В.Ф., Звонов В.А., Козлов А.В. Оценка экологичности конструкции автомобиля по методике полного жизненного цикла//Проблемы конструкции двигателей: Сб.научн.трудов НАМИ. – 1998. – с. 3-11. 9. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта//Итоги науки и техники ВИНИИТИ, Автомобильный транспорт. – 1996. – с. 1-340. 10. Технология. Межотраслевой научно-технический сборник. Серия «Конструкции из композиционных материалов». Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации. Вып. 2, – с. 1-80. 11. Alternative Fuels.Emissions, Economics and Performance. Timothy T.Max Well and sesse. C.Jones. ISBN 1-56091-523-4, 336 pp., 8 Chopters. 12. I.P.Ksenevitch Automation of Mobile Farm Machinery and Problems of Environmental Protection. International Off-Highway and Powerplakt Congress and Eposition Milwaukee, Wisconsin September 9-12, 1991. 13. Life Cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources. Report to the European Environment Agency, Copenhagen. August, 1997. 14. The Eco-indicator 95, Manual for Designers. Netherlands agency foe energy and the environment. November, 1996. 15. Sullivan, M.M., Costic, W. Man Modifying automotive life-cycle assessment. Automotive Engineering International. July, 1998.