

РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ТРАКТОРА

THE DEVELOPMENT OF THE TECHNICAL CONCEPT OF THE TRACTOR

Г.М. КУТЬКОВ, д.т.н.

РГАУ–МСХА им. Т.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина, Москва, Россия, gkutkow@yandex.ru

G.M. KUT'KOV, DSc in Engineering

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Engineering and energy named after V.P. Goryachkin, Moscow, Russia, gkutkow@yandex.ru

Анализируется развитие технической концепции сельскохозяйственного колесного трактора в зависимости от непрерывного роста его энергонасыщенности как неопределимого фактора повышения технического уровня. Рассмотрены технологические свойства и способы агрегатирования тракторов трех поколений энергонасыщенности, получивших названия тяговой, тягово-энергетической и энергетической концепций. В настоящее время в мировом тракторостроении практически сняты с производства тракторы тяговой концепции, выпускаются в основном тракторы тягово-энергетической концепции и в меньшем количестве – энергетической концепций. Тракторы второго поколения отличаются от тракторов первого поколения тем, что включают в заводскую комплектацию балласт. Балластирование стало необходимым способом искусственного увеличения веса трактора и понижения его энергонасыщенности вследствие ограничения скорости выполнения технологических операций, введенного правилами агротехники. Предполагается, что в обозримом будущем это ограничение не будет снято. Уже в настоящее время балластирование, как способ компенсации снижения веса трактора, практически исчерпало свои возможности, потому что балластные грузы достигают половины веса трактора и более. По мере дальнейшего непрерывного повышения энергонасыщенности трактора и сохранения ограничений по скорости выполнения технологических операций балластирование потребует замены. В статье предлагается вместо балластирования использование третьего подкатного моста и системы блочно-модульного агрегатирования, а также применение на тракторах третьего поколения электрической трансмиссии и активного привода на мотор-колесах сельскохозяйственных машин. Показано, что тракторы второго поколения обладают потенциальными технологическими свойствами, которые могут быть реализованы при условии грамотного и удобного в эксплуатации маневрирования уровнем балластирования. В целом, применение тракторов второго и третьего поколений – тягово-энергетической и энергетической концепций – позволит существенно снизить: материалоемкость МТА; расход топлива; вредное воздействие движителей трактора на почву; разномарочность (различие тракторов по параметру номинального тягового усилия на крюке) тракторов в хозяйстве.

Ключевые слова: трактор, балластирование, материалоемкость, энергонасыщенность, технический уровень, техническая концепция, технологические свойства, электрическая трансмиссия.

The development of the technical concept of an agricultural wheeled tractor is analyzed depending on the continuous growth of its energy saturation, as an indispensable factor in raising the technical level. The technological properties and methods of aggregating tractors of three generations of energy saturation called traction, traction energy and energy concepts, are considered. At present, in the world tractor construction, tractors of the traction concept are almost out of production; tractors of power traction and, to a lesser extent, energy concepts, are mainly produced. Tractors of the second generation differ from tractors of the first generation that they include ballast in a factory complete set. Ballasting has become a necessary way to artificially increase the weight of the tractor and reduce its energy saturation due to the limitation of the speed of technological operations, introduced by the rules of agricultural engineering. It is assumed that in the foreseeable future this restriction will not be removed. Even now, ballasting as a way to compensate for the weight loss of the tractor has almost exhausted its possibilities, because ballast weights reach half of the tractor weight and more. As the tractor continues to increase its energy saturation and maintains limitations on the speed of technological operations, the ballasting will require replacement. The article proposes instead of ballasting the use of a third movable axle and a block-modular aggregation system, as well as the use of electric transmission on the third-generation tractors and an active drive to the motor-wheel of agricultural machinery. It is shown that the second generation tractors have potential technological properties that can be implemented under the condition of competent and easy to operate maneuvering level of ballasting. In general, the use of tractors of the second and third generations of traction energy and energy concepts will significantly reduce: the material intensity of machine tractor unit; fuel consumption; the harmful effects of tractor propellers on the soil, variability (the difference of tractors in terms of the nominal tractive force on the hook) of tractors in the economy.

Keywords: tractor, ballasting, material consumption, energy saturation, technical level, technical concept, technological properties, electrical transmission.

Введение

Основная закономерность развития техники состоит в непрерывном снижении материалоемкости и габаритных размеров машины настолько, насколько это не приводит к ухудшению показателей ее функционального назначения. Со времени возникновения трактора как машины, пришедшей на замену живой тягловой силы, снижение материалоемкости и повышение энергонасыщенности использовалось для увеличения его скорости. Вследствие этого повышались технологические свойства трактора и производительность МТА. При достижении предельной по агротехническим условиям скорости движения МТА и дальнейшем непрерывном повышении энергонасыщенности возникающий «избыток» мощности двигателя стали использовать для повышения силы тяги трактора, а не скорости. Таким образом возникла необходимость непрерывного балластирования трактора. По мере непрерывного повышения энергонасыщенности трактор становился все легче, а вес балласта нарастал. Вследствие разных путей повышения технического уровня трактора и совершенствования технологий сельскохозяйственного производства нарушилась устойчивая зависимость: повышение технологических свойств перестало сопутствовать повышению технического уровня трактора. В настоящее время большинство выпускаемых тракторов обладают повышенной энергонасыщенностью и потенциальными возможностями повышения технологических свойств, которые практически не используются. С течением времени эта ситуация усугубляется.

Возникло три проблемы:

- как использовать повышение технического уровня трактора для улучшения его технологических свойств;
- каким способом заменить балластирование в перспективе, так как уже в настоящее время этот способ практически исчерпал свои возможности;
- создать технический облик трактора третьего поколения – энергетической концепции.

Цель исследования

Рассмотреть вопросы, сопутствующие снижению материалоемкости трактора, а именно:

- развитие технической концепции трактора;
- влияние изменения технической концепции на технологические свойства трактора;

– преюмственность способа агрегатирования трактора и с.-х. машины при переходе трактора на очередную стадию развития технической концепции.

Результаты исследования и их обсуждение

Развитие технической концепции трактора.

Развитие технической концепции трактора рассмотрено с опорой на прогноз развития конструкции трактора, который изложен в работах [1] и [2], выполненных в начале 80-х годов прошлого столетия. В работе [3] показано, что в настоящее время этот прогноз успешно реализуется. На рис. 1 приведен график развития энергонасыщенности (величина, обратная материалоемкости) трактора по мере повышения его технического уровня. По оси абсцисс отложено время, а по оси ординат – энергонасыщенность трактора. Приведенные на рисунке логисты I, II и III показывают, что трактор в своем развитии должен пройти три стадии, каждая из которых характеризуется своей технической концепцией, определяемой уровнем энергонасыщенности $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ трактора.

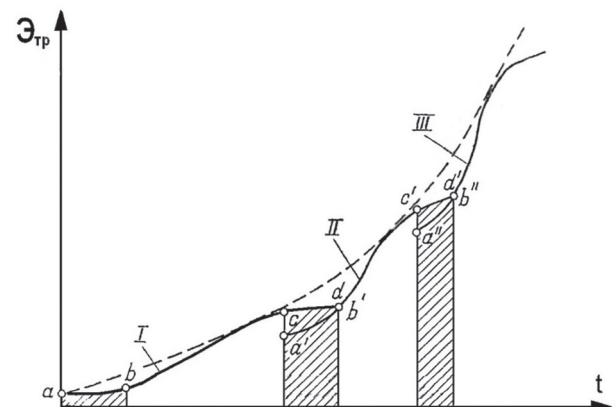


Рис. 1. Прогноз развития энергонасыщенности трактора

Первая логиста I отражает развитие трактора как тягача. Тяговая концепция характеризуется таким согласованием эксплуатационной мощности двигателя N_3 и эксплуатационного веса $G_{\text{тр}}$ трактора, при котором через силу тяги $P_{\text{кр}}$ может быть реализована вся мощность двигателя. Этим условиям соответствует энергонасыщенность от минимальной (с начала производства тракторов) до предельной, которая получила название эталонной [4]; она равна $1,5 \text{ кВт/кН}$ ($\mathcal{E}_{\text{тр}} = N_3/G_{\text{тр}}$).

Отклонение энергонасыщенности от эталонного значения снижает эксплуатационно-технологические показатели трактора. Период *abcd*, (рис. 1) в истории тракторостроения характеризуется производством трактора первого поколения – тягача.

С начала производства тракторов – участок *ab* логисты *I* – по мере повышения энергонасыщенности увеличивалась номинальная скорость движения трактора. Когда $\mathcal{E}_{тр}$ достигла 1,5 кВт/кН, а номинальная скорость трактора 9 км/ч, правилами агротехники было установлено ограничение на дальнейшее повышение скорости, а энергонасыщенность трактора продолжала повышаться в соответствии с основной закономерностью развития техники. Нарушилось присущее трактору-тягачу строгое параметрическое соотношение между весом трактора $G_{тр}$ и мощностью N_c двигателя. Возник «излишек» мощности, который не может быть реализован в технологическом процессе, выполняемом МТА, из-за ограничения скорости. Трактор утрачивает присущую ему техническую концепцию тягача и приобретает новую – тягово-энергетическую концепцию.

Участки *cd* логисты *I* и *a'b'* логисты *II* характеризуют завершение тяговой и зарождение новой – тягово-энергетической концепции трактора, трактора второго поколения. Непрерывное снижение материалоемкости и чрезмерное повышение энергонасыщенности на участке логисты *II* стали компенсировать до уровня эталонной 1,5 кВт/кН искусственным повышением материалоемкости и снижением энергонасыщенности путем применения балластных грузов или третьего подкатного моста с активным приводом колес от ВОМ трактора. В соответствии с логистой *III* трактор развивается как энергетическое средство, главным образом, как источник энергии, утративший, в значительной мере, свойства тягача. Это трактор третьего поколения – энергетической концепции. Термины «тяговая концепция», «тягово-энергетическая концепция» и «энергетическая концепция», а также три поколения тракторов, соответствующих этим этапам развития, впервые были предложены в работе [2].

Границы энергонасыщенности тракторов разной технической концепции. Необходимость количественной оценки граничных значений энергонасыщенности между тракторами разной технической концепции обусловлена влиянием этого параметра на технологические

свойства трактора и способ агрегатирования трактора с сельскохозяйственной машиной. Граничные значения энергонасыщенности тракторов приведены с использованием результатов исследований материалоемкости и балластирования современных тракторов [3]. Обработке подверглись параметрические данные 81 трактора в диапазоне мощности двигателя $N_c = 66...499$ кВт и массы трактора соответственно $M_{тр} = 2910...20134$ кг.

Параметрический анализ этого массива данных тракторов, выпускаемых в настоящее время ведущими зарубежными тракторостроительными фирмами, показал (рис. 2), что половина из них, 40 штук, предусматривает балластирование грузом, вес которого достигает половины веса трактора, а еще двадцать – весом балластного груза свыше половины веса трактора: девять тракторов – $k_6 = 0,59...0,63$, девять – $k_6 = 0,65...0,71$ и 2 трактора – $k_6 = 0,8...0,83$.

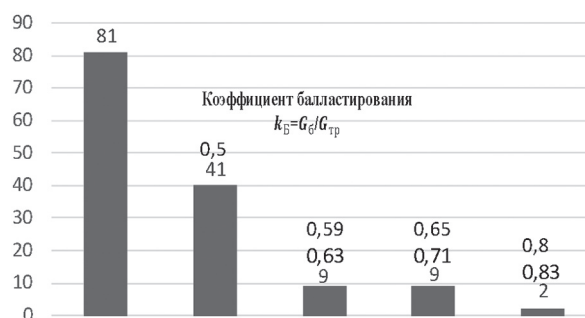


Рис. 2. Уровень балластирования современных тракторов

На основании приведенных данных граничные значения энергонасыщенности между поколениями тракторов целесообразно принять соответствующими следующим условиям:

- между *I* и *II* логистами – значение эталонной энергонасыщенности $\mathcal{E}_{тр,э}$, при котором возникает необходимость применения балласта или третьего подкатного моста, равной 1,5 и 1,4 кВт/кН для колесных и гусеничных, соответственно;

- между *II* и *III* логистами – значение $\mathcal{E}_{тр}$, при котором применение балласта исчерпало свои возможности и дальнейшее повышение уровня балластирования технически трудно осуществимо и нерационально. Представляется целесообразным принять верхнее граничное значение $\mathcal{E}_{тр}$ трактора *II* поколения при коэффициенте балластирования $k_6 = 0,5$. Это соответствует весу балластных грузов, равно-

му половине веса трактора и энергонасыщенности трактора 2,25 кВт/кН;

– верхняя граница энергонасыщенности трактора третьего поколения принята экспертно равной 4,5...5 кВт/кН, исходя из современных представлений о техническом уровне трактора будущего.

Тогда границы энергонасыщенности тракторов всех трех поколений будут следующими.

Первое поколение: верхний предел – $\Theta_{тр} = 1,5$ кВт/кН;

Второе поколение: нижний предел – $\Theta_{тр} = 1,5$ – верхний предел – $\Theta_{тр} = 2,25$ кВт/кН;

Третье поколение: нижний предел – $\Theta_{тр} = 2,25$ – верхний предел (конструктивная осуществимость) – $\Theta_{тр} = 4,5...5$ кВт/кН.

Анализ параметрических показателей показал, что в настоящее время характеристика выпускаемых ведущими тракторостроительными фирмами тракторов по поколениям выглядит следующим образом. Из 81 трактора:

– 4 обладают $\Theta_{тр} \leq 1,5$ кВт/кН – первое поколение;

– 57 – $\Theta_{тр} = 1,5...2,25$ кВт/кН – второе поколение;

– 20 – $\Theta_{тр} > 2,25$ кВт/кН – третье поколение.

Таким образом, можно констатировать, что практически в рассматриваемом диапазоне прекращено производство тракторов тяговой концепции, первого поколения, и значительную часть (25 %) выпускаемых тракторов составляют тракторы третьего поколения. Закономерность изменения материалоемкости $M_{тр}$ трактора и силы тяги $P_{кр.н}$ в процессе повышения его технического уровня не зависит от тягового класса. В качестве объекта исследования рассмотрим колесный трактор тягового класса 3.

Прямых вариантов снижения материалоемкости трактора $M_{тр}$, не считая комбинации, два: уменьшение его эксплуатационного веса $G_{тр}$ при сохранении эксплуатационной мощности двигателя N_3 ; повышение эксплуатационной мощности двигателя при сохранении эксплуатационного веса трактора. Анализ проведем, изменяя материалоемкость и энергонасыщенность трактора за счет снижения его веса, сохраняя мощность двигателя неизменной. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Технологические свойства и способ агрегатирования тракторов второго поколения. Как отмечено ранее, повышение энергонасыщенности свыше эталонной снижает технологические

свойства трактора, потому что у тракторов тягово-энергетической концепции возникает «излишек» мощности двигателя, который не может быть использован в технологическом процессе, выполняемом МТА. Зарубежный опыт решения проблемы состоит в применении балластных грузов, т.е. в искусственном увеличении веса трактора до уровня энергонасыщенности трактора-тягача. При этом трактор сохраняет номинальную скорость на уровне, ограниченном правилами агротехники. В нашей стране был разработан способ догрузки трактора третьим подкатным мостом (ТТМ) с приводом на его колеса от синхронного ВОМ трактора (рис. 3).

Таблица 1

Сравнительные показатели веса $G_{тр}$ и силы тяги $P_{кр.н}$ трактора первого–третьего поколений

	Первое поколение	Второе поколение	Третье поколение
N_3 , кВт	112	112	112
$G_{тр}$, кН	75	50	25
$\Theta_{тр}$, кВт/кН	1,5	2,25	4,5
$M_{тр}$, кН/кВт	0,67	0,45	0,22
$M_{тр}$, %	100	67	33
$P_{кр.н}$, кН	30	20	10
$P_{кр.н}$, %	100	67	30

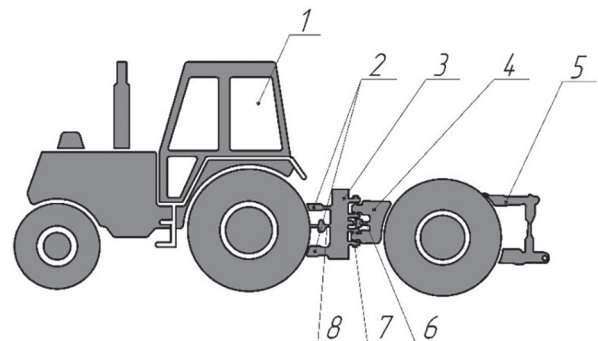


Рис. 3. Модульное энерготехнологическое средство МЭС-200:

1 – энергетический модуль (ЭМ), 2 – тяга навесного устройства ЭМ; 3 – согласующий редуктор; 4 – транспортно-технологический модуль (ТТМ); 5 – навесное устройство ТТМ; 6 – вал привода колес ТТМ от согласующего редуктора; 7 – шарнирное сочленение; 8 – вал от ВОМ ЭМ

Потенциальные возможности повышения технологических свойств тракторов второго поколения могут быть осуществлены в сфере эксплуатации путем маневрирования весом балластных грузов или применением ТТМ.

Сравнительный типоразмерный ряд тракторов первого и второго поколений

Типоразмерный ряд тракторов по ГОСТ 27021-86	Догрузка тракторов второго поколения балластом или ТТМ	Типоразмерный ряд тракторов второго поколения
2	50 кН + 25 кН = 75 кН	2–3
3		
4	100 кН + 25 кН + 25 кН = 150 кН	4–5–6
5		
6	150 кН + 25 кН + 25 кН = 200 кН	6–7–8
8		

Данные табл. 2 показывают, что таким образом можно сократить разномарочность в хозяйстве путем применения балластных грузов весом $G_6 = 25$ кН, соответствующим силе тяги $P_{кр} = 10$ кН (при $\varphi_{кр} = 0,4$) ($P_{кр} = \varphi_{кр} G_6$).

Вместо шести тракторов первого поколения (с 2 до 8) по ГОСТ 27021-86 достаточно иметь три базовых трактора: тягового класса 2, 4 и 6 (в табл. 2, колонка III выделены полужирным шрифтом). Более того, стандартный типаж тракторов может быть уплотнен дополнительно трактором тягового класса 7 без введения в него базовой модели.

Трактор второго поколения тягового класса 2 путем догрузки балластом 25 кН может работать с системой с.-х. машин, предназначенной для трактора тягового класса 3, а тракторы тягового класса 4 и 6 с догрузкой балластом 25кН + 25кН могут агрегатироваться с с.-х. машинами, предназначенными для двух смежных тяговых классов – 5 и 6, 7 и 8, соответственно. Это позволяет не только снизить разномарочность тракторов в хозяйстве, но уменьшить вредное действие движителей на почву, а также расход топлива. При комплектации тракторного парка конкретного хозяйства в качестве базовых тракторов могут выступать тракторы любого тягового класса – обязательно 2, 4 и 6, как указано выше. В общем случае маневрирования балластом вес грузов также может отличаться от 25 кН, принимая промежуточные значения, зависящие от тяговой нагрузки. Отмеченные возможности повышения технологических свойств тракторов тягово-энергетической концепции могут быть реализованы только при условии грамотного использования балласта, что требует дополнительного технического оснащения трактора средствами измерения, позволяющими уста-

навливать нужное соотношение между тяговым сопротивлением на крюке трактора и необходимым весом балластных грузов. Способ замены балластных грузов должен быть удобным и нетрудоемким.

Способ догрузки трактора транспортно-технологическим модулем (ТТМ) разработан в 80-е годы прошлого века [5]. Комплекс, состоящий из трактора с транспортно-технологическим модулем, получил название мобильного энерготехнологического средства – МЭС, а способ соединения МЭС с сельскохозяйственной машиной – блочно-модульного агрегатирования. Испытания ведущими исследовательскими и испытательными центрами СССР (Кубанский НИИТИМ, ВИМ, НАТИ, Украинский НИИМЭСХ) энерготехнологических средств МЭС-200 и МЭС-300, созданных НАТИ, Минским и Харьковским тракторными заводами, показали их высокие технологические свойства. Липецким тракторным заводом (по чертежам МТЗ) была изготовлена опытная партия МЭС-200. На рис. 3 представлена схема модульного энерготехнологического средства МЭС-200, созданного МТЗ – НАТИ.

Сопоставляя технологические свойства двух способов догрузки трактора высокой энергонасыщенности, можно отметить следующие преимущества применения в качестве средства догрузки ТТМ:

- колесная формула 6×6 придает более высокие тяговые свойства агрегату;
- меньше осевая нагрузка и давление на почву движителей,
- большее количество колес позволяет применять шины меньшего размера при равной общей грузоподъемности ходовой системы, что особенно важно для работы трактора в междурядьях пропашных культур;

– трехосная схема обладает более высокой курсовой устойчивостью;

– вертикальные и горизонтальные колебания от орудия воспринимает ТТМ, вследствие чего снижаются динамические нагрузки на агрегаты трактора и улучшаются условия труда тракториста;

– меньшая трудоемкость и большее удобство использования ТТМ, что не требует проведения монтажно-демонтажных работ, необходимых при балластировании трактора;

– на ТТМ создается дополнительное пространство для размещения емкости с технологическим материалом или балластных грузов;

– ТТМ может быть создан в модификациях как стандартная унифицированная приставка, не конкретно к данной модели трактора, а к тракторам разного тягового класса.

– тракторы, предназначенные для догрузки ТТМ, могут оснащаться облегченной трансмиссией и ходовой системой по сравнению с балластируемыми тракторами.

В эксплуатации ТТМ можно приобретать не для каждого трактора, а один экземпляр на несколько тракторов и использовать его по мере необходимости.

Перечисленные достоинства трехосной системы МЭС по сравнению с двухосной системой трактора известны. Другие преимущества также очевидны.

Важное достоинство транспортно-технологического модуля состоит в том, что он допускает большую догрузку по сравнению с пределами рационального балластирования, и создает преемственность между тракторами второго и третьего поколения в решении проблемы их агрегатирования и технологических свойств (рис. 4, б, с).

Преимуществом балластирования по сравнению с блочно-модульной системой агрегатирования служит более низкая стоимость тонны балластного груза по сравнению с тонной ТТМ.

На рис. 4 представлены схемы агрегатирования тракторов второго и третьего поколений:

Второе поколение:

– балластирование – рис. 4, а;

– блочно-модульное агрегатирование с применением ТТМ – рис. 4, б.

Третье поколение –

– блочно-модульное агрегатирование с применением ТТМ – рис. 4, в;

– привод колес с.-х. машины от тракторного двигателя – рис. 4, с.

Технологические свойства и способ агрегатирования тракторов третьего поколения. Исторически процесс совершенствования технологий сельскохозяйственного производства и сельскохозяйственной техники происходит таким образом, что вес и тяговое сопротивление технологической части МТА возрастает, а вес и сила тяги трактора, предназначенного для работы с этим технологической частью, уменьшается. Соотношение веса энергетической и технологической частей МТА наглядно показано на рис. 5.

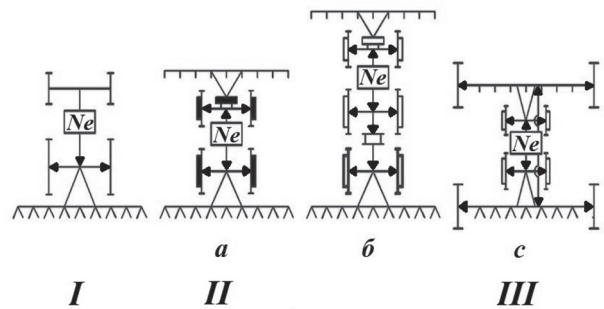


Рис. 4. Схемы агрегатирования тракторов разной технической концепции:

I – первое поколение; II – второе поколение: а – балластирование; б – блочно-модульное агрегатирование с применением ТТМ; III – третье поколение: б – блочно-модульное агрегатирование с применением ТТМ; с – привод колес с.-х. машины от тракторного двигателя

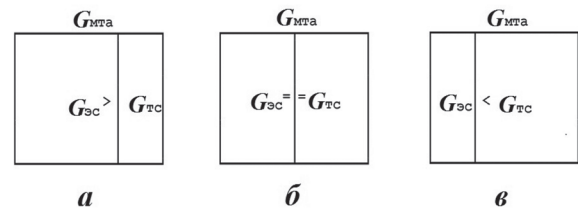


Рис. 5. Изменение соотношения массы энергетической и технологической частей МТА: а – было; б – стало; в – прогноз

Полная площадь прямоугольника условно представляет вес машинно-тракторного агрегата $G_{мта}$, неизменяемый во времени («было», «стало», «прогноз»), а отдельные площади прямоугольника – вес трактора $G_{эс}$ и технологической части $G_{тс}$ (отдельная сельскохозяйственная машина или технологически комплекс). Как показано выше (табл. 1), тяговые свойства трактора третьего поколения могут быть понижены в три раза вследствие закономерного по-

вышения технического уровня, по сравнению с трактором первого поколения. Недостаток силы тяги трактора возникнет даже при условии, что вес и тяговое сопротивление технологической части МТА сохранится неизменным. Чтобы компенсировать возникший недостаток силы тяги до уровня трактора-тягача необходимо использовать балластные грузы, превосходящие вес трактора третьего поколения вдвое. Практически это неосуществимо. Радикальным способом решения проблемы может служить использование в качестве сцепного веса технологической части агрегата, т.е. веса агрегируемых с трактором сельскохозяйственных машин и емкостей с технологическим материалом, а также ТТМ (рис. 5). Тогда массу трактора можно теоретически неограниченно перемещать в технологическую часть МТА без ущерба для тяговых свойств МТА.

Использование в качестве сцепного веса сельскохозяйственных комплексов и отдельных машин требует применения на них активных колес с приводом от трактора. Для этого необходимо оснащение сельскохозяйственных машин и трактора разветвленной и адаптивной трансмиссией (рис. 4, с). В соответствии с современными тенденциями создания тяговых и транспортных машин в наибольшей мере этим требованиям отвечает электрическая трансмиссия. На тяжелых карьерных автомобилях применяются только такие трансмиссии. В последние годы электротрансмиссии нашли широкое применение и на дорожных автомобилях с гибридными силовыми установками, на автобусах. Проводятся работы по созданию электротракторов. Так, фирмой Fendt создан опытный образец электротрактора Fendt e100 Vario с электродвигателем мощностью 50 кВт, который можно использовать в течение 5 часов непрерывной работы без подзарядки аккумуляторов. В качестве источника энергии применены электрические батареи «Тесла». Предполагалось, что в 2018 г. ограниченная серия тракторов Fendt e100 Vario будет использоваться на отдельных сельскохозяйственных предприятиях и в коммунальных хозяйствах стран Европы. Однако перспективу использования на сельскохозяйственных тракторах в качестве источника энергии батареи «Тесла» следует рассматривать как более отдаленную. В настоящее время доступнее создать трактор с силовой установкой, состоящей из дизель-генератора и электрической трансмиссии. Трактор

третьего поколения в виде легкого мобильного дизель-генератора способен служить также передвижным источником электрической энергии взамен стационарного. При любом уровне механизации и электрификации сельского хозяйства такой источник энергии в хозяйстве может найти применение. Полная электрификация машинно-тракторного агрегата послужит наилучшим образом глубокой автоматизации технологических операций в полеводстве и будет способствовать переводу всей отрасли механизации сельскохозяйственного производства на новый уровень развития.

Преимущества трактора третьего поколения по сравнению с тракторами первого и второго поколения можно продемонстрировать на примере работы каждого из этих тракторов в агрегате с одним и тем же современным посевным комплексом JOHN DEERE 1890 (рис. 6).



Рис. 6. МТА с посевным комплексом JOHN DEERE 1890

По техническим условиям фирмы, для работы с этим посевным комплексом необходим трактор с двигателем мощностью 300 кВт. В табл. 3 приведены показатели веса тракторов

Таблица 3

Показатели материалоемкости посевного МТА с тракторами разной технической концепции

	Первое поколение	Второе поколение	Третье поколение
$N_{э}$, кВт	300	300	300
$\mathcal{E}_{тр}$, кВт/кН	1,5	2,25	5
$G_{тр}$, кН	200	130	60
$\Delta G_{тр}$, кН	140	70	—
$G_{МТА}$, кН	310	240	170
$G_{МТА}$, %	100	77	55
$G_{тон/см}$, л	180	90	—
Осевая нагрузка трактора, кН	100	65	30

трех поколений с двигателем указанной мощности, а также вес МТА на их основе с посевным комплексом JD. Разница веса $\Delta G_{\text{тр}}$ трактора тяговой и тягово-энергетической концепции по сравнению с трактором третьего поколения составляет 140 и 70 кН, соответственно.

Для перемещения грузов такого веса по полю в течение смены (10 ч) необходимо израсходовать (расчет) 180 и 90 л топлива, соответственно. Осевая нагрузка на почву тракторов первого и второго поколения (6,5 и 10 т) превышает осевую нагрузку трактора третьего поколения (30 т) в 2 и 3 раза и достигает значений предельно допустимой нагрузки на автомобильную дорогу – 6–11,5 т. Эти данные свидетельствуют о том, что тракторы первого и второго поколений создают чрезвычайно высокую нагрузку на почву и намного превосходят тракторы третьего поколения по показателю вредного воздействия. Вследствие применения шин большего размера тракторы первого и второго поколений вытаптывают большую площадь поля, особенно при сдвигании колес, по сравнению с трактором третьего поколения. Материалоемкость МТА на основе трактора третьего поколения на 45 % ниже материалоемкости МТА на основе трактора первого поколения.

Посевной комплекс, обладая весом 110 кН, оснащенный активными колесами, способен развивать силу тяги, равную 44 кН. Это значение выше номинального тягового усилия трактора тягового класса 4. Таким образом, при оснащении посевного комплекса JOHN DEERE 1890 активными колесами он может перемещаться по полю за счет собственной силы тяги.

Выводы

1. Повышение энергонасыщенности, как основная закономерность развития технического уровня трактора, существенно влияет на его техническую концепцию и технологические свойства. По признаку такого влияния можно выделить три этапа развития конструкции трактора: тяговая, тягово-энергетическая и энергетическая концепции.

2. Непрерывное повышение энергонасыщенности трактора первого поколения – тяговой концепции – использовалось для увеличения рабочей скорости трактора и его технологических свойств, повышая производительность МТА. По мере повышения энергонасыщенности вес тракторов второго поколения снижается и увеличивается вес балласта, а скорость

остается неизменной, так как ограничена правилами агротехники.

3. В настоящее время практически прекращено производство тракторов тяговой концепции. Балластирование тракторов второго и третьего поколений достигло предельного уровня. У 74 % из 81 проанализированных тракторов, выпускаемых ведущими тракторостроительными фирмами, вес балластных грузов достигает 0,5...0,82 веса трактора. При этом повышение технологических свойств сохраняется по большей части лишь потенциально.

4. Применение транспортно-технологического модуля служит эффективным способом решения проблемы балластирования и повышения технологических свойств трактора второго поколения. Транспортно-технологический модуль может применяться одинаково эффективно как с тракторами второго, так и третьего поколения, придавая блочно-модульной системе агрегатирования трактору важное свойство – преемственность «тракторных поколений».

5. Конструктивное решение трактора третьего поколения энергонасыщенностью 4,5...5 кВт/кН возможно путем создания энергетического средства в виде мобильного дизель-генератора с электрической трансмиссией. Для использования потенциальных возможностей повышения технологических свойств трактора третьего поколения сельскохозяйственные машины, предназначенные для агрегатирования с ним, должны быть оснащены электрическими мотор-колесами.

6. Тракторы тягово-энергетической и энергетической концепций обладают потенциальной возможностью снижения вредного воздействия тракторных движителей на почву, расхода топлива, материалоемкости МТА, разномарочности тракторов в хозяйстве. Практическое использование этих возможностей в эксплуатации требуют оснащения трактора средствами, позволяющими автоматически измерять, а также удобно изменять уровень балластирования в зависимости от силы тягового сопротивления на крюке трактора.

Литература

1. Кутьков Г.М., Ксеневич И.П. Технологические основы и техническая концепция трактора второго поколения. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1982. № 12.
2. Кутьков Г.М., Чухчин Н.Ф., Мусин А.Р. Технологические и агротехнические основы развития

МЭС как трактора второго поколения тягово-энергетической концепции. М: ГОНТИ-НПО «НАТИ». 1983. С. 3–9.

3. Кутьков Г.М., Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Балластирование сельскохозяйственных тракторов. Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 9. С. 52–60.
4. Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов. Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 8. С. 14–20.
5. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: Инфра-М, 2014. 506 с. + 10,66 ЭБС.

References

1. Kut'kov G.M., Ksenevich I.P. Technological background and technical concept of the second genera-

tion tractor. Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny. 1982. No 12 (in Russ.).

2. Kut'kov G.M., Chuhchin N.F., Musin A.R. Technological and agrotechnical bases for the development of MES as a second generation tractor of traction and energy concept. Moscow: GONTI-NPO «NATI» Publ. 1983, pp. 3–9 (in Russ.).
3. Kut'kov G.M., Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Ballasting of agricultural tractors. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 9, pp. 52–60 (in Russ.).
4. Kut'kov G.M. Energy saturation and classification of tractors. Traktory i sel'hozmashiny. 2007. No 8, pp. 14–20 (in Russ.).
5. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow: Infra-M Publ., 2014. 506 p.