

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕПЦИИ И ОБЩЕЙ КОМПОНОВКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ
ON CHANGES IN CONCEPT AND GENERAL COMPOSITION
AGRICULTURAL TRACTORS**

Таяновский Г.А., к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь
Tayanousky G.A., Ph.D.in Engineering, Associate Professor
Belarusian national technical University,
Minsk, Belarus

Сформулированы выводы по анализу состояния разработок в тракторостроении, рассмотрены аспекты прогнозного представления о трансформации концепции, общих компоновочных решений и теории перспективных машинных тракторных агрегатов с новыми двигательными установками, представлен общий подход к предпроектному обоснованию тракторов новой генерации.

Conclusions on the analysis of the state of development in the tractor industry are formulated, aspects of the forecasting concept of transformation, general layout solutions and the theory of promising tractor units with new propulsion systems are considered, a general approach to the pre-design substantiation of new generation tractors is presented.

ВВЕДЕНИЕ

Обширная библиография научных работ последних лет на тему электропривода на тракторе отражает научно-практический интерес к рассмотрению вопросов, связанных с изменениями, которые электропривод приносит в структурное построение, компоновочные решения, дизайнерский облик, и того, как влияют варианты двигательной установки на свойства будущего машинного тракторного агрегата (МТА). Такая информация необходима еще на стадии принятия технического задания на проектирование машины. Содержание статьи посвящено рассмотрению отдельных аспектов этой научно-технической задачи.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОГО ТРАКТОРОСТРОЕНИЯ

Анализ публикационной активности авторов в области прогнозов перспектив развития, расчетно-теоретических обоснований, динамики патентования и осуществленных инновационных технических решений сельскохозяйственных тягово-энергетических транспортно-технологических наземных мобильных машин (тракторов, мобильных энергетических средств, универсальных энергетических средств, шасси комбайнов под различные технологии и т.п.) за последний 15-летний ретроспективный период позволяет отметить ряд особенностей. Среди них:

- повышенное общее внимание к вопросам разработки альтернативных двигательных установок для мобильных машин, как следствие: глобальных проблем с экологией, выбросом парниковых газов; близкого по времени (по разным оценкам – 30..50 лет) истощения ископаемых природных жидких углеводородов (при изменении потребления в них по прогрессивной кривой); низкого, не более 0, 42..0,48, общего КПД; высоких удельных затрат топлива на единицу полезной мощности ДВС и практически почти достигнутого предела их совершенствования, несмотря на существенное развитие мехатронных автоматических систем управления процессом двигателя и других достижений в их системах топливоподдачи, выпуска, выпуска, охлаждения и т.п.;

- интенсивное развитие: автоматизированных и автоматических адаптивных трансмиссий, позволяющих обеспечить переключение передач без разрыва потока мощности, на основе планетарно-валльных передач с фрикционными муфтами, в основном «мокрыми» гидропожимными бустерного типа; многопоточных гидродинамических передач, либо на основе бесступенчатых во всем скоростном диапазоне гидростатических полнопоточных объемных гидropередач (ОГП); двух- и многопоточных объемных гидромеханических передач (ОГМП) с дифференциальными механическими звеньями; передач на основе электромеханических передач, состоящих из модуля: мотор-генератор плюс тяговый асинхронный электродвигатель со скалярным или векторным управлением в составе гибридной двигательной установки с ДВС,

либо на основе чисто электрических передач с асинхронными электромашинами с питанием от электроаккумуляторов, конденсаторного типа; передач на основе так называемых электрических топливных водородных элементов;

- недостаточное количество комплексных расчетно-теоретических и опытно-экспериментальных обоснований технико-экономической и социально-экономической эффективности перечисленных до этого инновационных предложений в комплексе и системе с вероятным взаимообусловленным изменением с.-х. технологий, с учетом специфики жизненных циклов новых машин, проблем развития инфраструктуры эксплуатации, ремонта, технологического обеспечения, обучения персонала и, что чрезвычайно важно, безопасности и совокупных затрат созданных человеком мировых ресурсов, а также экологических потерь в «глобальном переходе развития» от материализации того, что по отдельности представляется выгодным и перспективным;

- формулирование высказываний о необходимости развития общей теории сельскохозяйственного машинного транспортно-технологического мобильного электроприводного агрегата с управлением на основе мехатроники, в том числе роботизированного, и с производством электропитания исключительно от экологически чистых возобновляемых природных источников.

Цель данной работы – попытка представить вероятное изменение концепции, развитие типологии и системных структурных особенностей общих компоновок перспективных сельскохозяйственных машинных тракторных агрегатов на основе тракторов с альтернативными двигательными установками.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Конструктивное исполнение двигательных установок наземных тяговых машин достаточно разнообразное [1]. Приведем вариант классификации двигательных установок (ДУ), необходимый в контексте рассматриваемых в работе вопросов.

Представленная выборочная таблица сформирована с учетом потенциальных достоинств и преимуществ включенных в

таблицу ДУ, приспособленности к созданию на их основе квази- и полностью бесступенчатых моторно-трансмиссионно-двигательных установок (МТДУ), обеспечивающих максимально возможные общие КПД во всем скоростном диапазоне с благоприятными тягово-динамическими характеристиками, в том числе на переходных режимах, а также защиту элементов МТДУ от пиковых динамических нагрузок в практически опасных, с точки зрения надежности, участках частотного спектра нагружения. Однако сроки появления перечисленных в таблице, избавленных от присущих им недостатков и доведенных до нужных эксплуатационных показателей образцов ранее не распространенных перспективных ДУ, зависят слишком от многих факторов.

Таблица 1 – Выборка из классификации перспективных двигательных установок для применения на современных сельскохозяйственных тракторных агрегатах

А - признак	Б - признак	В - признак
Тепловые ДУ	Дизельные ДВС	На синтетическом топливе растительного происхождения
	Газовые двигатели внутреннего сгорания	На баллонном природном газе
		На водороде высокого давления
	Внешнего сгорания	Двигатель Стирлинга альфа-типа
		Двигатель Стирлинга бета-типа
	Комбинированные	Газодизельный цикл с циклом

		Стирлинга для отработавших газов в 6-ти тактном двигателе
Гибридные ДУ	Дизель-генераторные с асинхронными электромашинami	Последовательной схемы
		Параллельно-последовательной схемы
		Многопоточные с электромотор-колесами
	Дизель-генераторные с вентильным индукторным тяговым электродвигателем	С независимым возбуждением
СПДГ - свободнопоршневой линейный двигатель внутреннего сгорания с линейным электрическим генератором переменного тока	Двухцилиндровые динамически уравновешенные	С отбойниками
Электронакопитель + тяговый асинхронный электродвигатель	Электрохимический накопитель	Литий-ионные аккумуляторные батареи
		Литий-железо-фосфатные батареи
	Емкостной накопитель энергии	Суперконденсаторы на графеновой

		основе
		Ионисторы
Емкость водорода + Водородные топливные элементы +тяговый электродвигатель	Тип: AFC (либо: PEMFC, PAFC, MCFC, SOFC)	С заправочными модулями «твердого» водорода

О ВЫБОРЕ ВАРИАНТОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Изменение типа двигательной установки неизбежно приводит к структурным изменениям компонентного элементного состава, несущих систем, общих компоновочных схем, дизайнерских решений экстерьера машинного тракторного агрегата и, как следствие, набора и показателей их функциональных свойств, что в определенные моменты переходит в новое качество – изменение концепции МТА. Так произошло с изменением тяговой концепции трактора на тягово-энергетическую и, вероятно далее, на условно называемую в данной статье - мобильно-энергетическую. В работах проф. Ксеневица И.П. еще в 80-х годах прошлого столетия сформулированы выводы о вероятных направлениях развития МТА [1-3]. Теперь как раз пришло время осуществления в основных чертах тех прогнозов и их корректировки с учетом реализованных на практике разработок новых технических решений ДУ, трансмиссий, движителей, систем агрегатирования и отбора мощности тракторных средств, развития с.-х. технологий и наборов сельхозмашин для их осуществления. Появление разработок (в ближайшее время в 5..10 лет) перечисленных компонент тракторных средств стало возможным, в том числе, и на основе выполненных в те годы в тесном сотрудничестве с тракторостроительными заводами разработок научных школ белорусских ученых: д.т.н., профессоров Кацыгина В.В., Цитовича И.С., Скотникова В.А., Тарасика В.П, Гуськова В.В. и др.

С интенсивным развитием принципов блочно-модульного построения и многооперационности МТА, комплекса средств агрегатирования и многочисленных систем отбора мощности к развитому набору активных рабочих органов (АРО) и

разветвленному приводу колес на агрегируемых с центральным энергомодулем, разнообразных по назначению прицепных звеньев, теория трактора, с учетом всего отмеченного, становится элементом более общей теории МТА. Так как отдельное звено МТА не обладает всем набором свойств целого агрегата как сложной системы. При этом до сих пор в значительной степени выделенно развивающееся направление исследований и теории агрегатирования трактора с сельскохозяйственной машиной/орудием (см. рисунок 1) [1, 2] вместе с развитием теории и принципов объединения модулей в систему МТА являются основой развития современной теории таких агрегатов. Применительно к транспортным и транспортно-технологическим средствам повышенной проходимости такая попытка создания общей теории рабочих процессов и системного проектирования еще более тридцати лет назад сделана, например, д.т.н., проф. В.Н. Шалягиным [5].

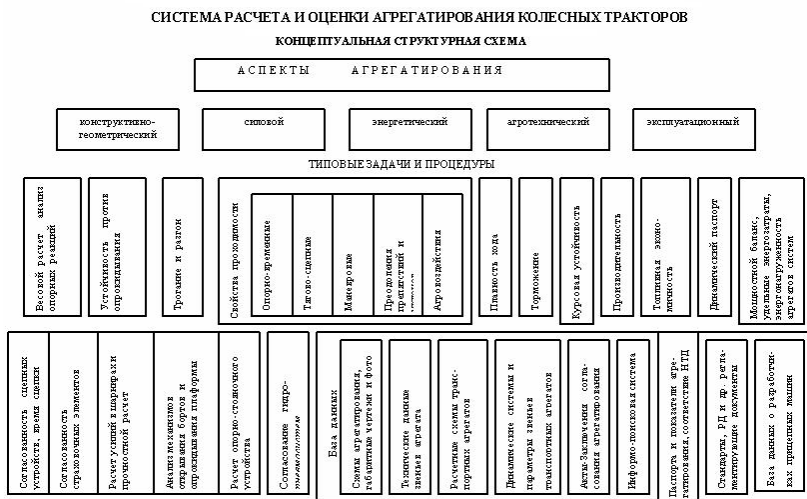


Рисунок 1

Представляет определенную проблему прогнозирование процессов обусловленной смены конструктивных концепций МТА в связи с развитием влияющих аспектов, из-за их многочисленности

и неочевидности тенденций изменения скоростей с течением календарного времени. Это касается в меньшей степени краткосрочных прогнозов на 5 лет, однако снижает надежность как среднесрочных, так и долгосрочных прогнозов. Пример, известный от 1990 года, графической иллюстрации изменения структуры потребления энергоносителей с прогнозной экстраполяцией на период до 2100 года показан на рисунке 2. Такое протекание кривых предполагалось за счет прироста производства водорода, полученного в биотехнологиях, путем электролиза воды и т.п., хотя пока доля водорода в газовых энергоносителях незначительна. Это говорит о возможности отклонения прогноза от действительности. Однако, надежные среднесрочные прогнозы крайне необходимы для практики планирования, например НИОКР.

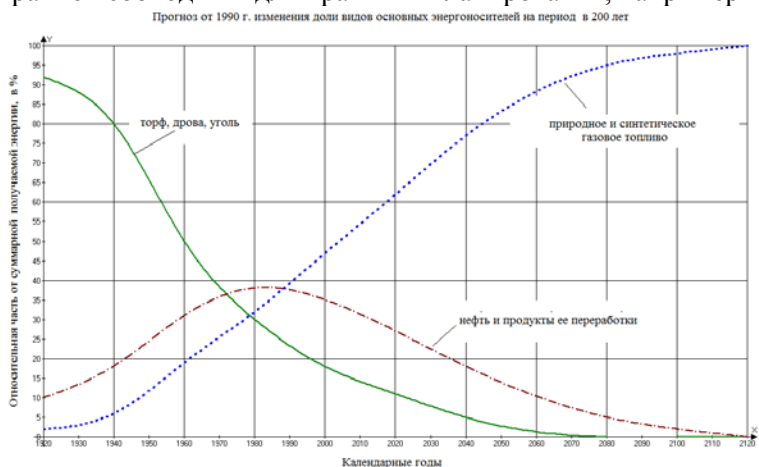


Рисунок 2 - Вариант прогноза изменения использования энергоносителей

Каждый прогноз отражает связь прошлого, настоящего и будущего. Надежный прогноз становится фактом. Конструктор чаще всего выполняет прогнозы: а) технологический прогноз применения данной техники; б) общих конструктивных компоновочных решений; в) прогноз развития параметров данного вида техники, принципа функционирования подсистем и т.п.

Для выполнения прогноза разработаны многочисленные методы прогнозирования: экстраполяции; экспертных оценок; методы моделирования: сценария, исторической хронологии и т.д.

Метод экстраполяции наиболее прозрачен и сводится к отысканию функции зависимости некоторых факторов (параметров техники) от времени на основе эмпирических данных за предысторию изучаемого процесса и к определению по этой зависимости значения оцениваемых факторов в будущие моменты времени.

Надежность прогноза методом экстраполяции зависит от достаточности исходных данных и правильного выбора соотношений интервала экстраполяции к интервалу ретроспекции. Обычно применяют это соотношение, равным $1/3$. Наиболее простым математическим аппаратом для выполнения прогноза методом экстраполяции служит математический метод наименьших квадратов.

Метод экспертной оценки, по сути, состоит в том, что собирается коллектив специалистов–экспертов в данной области техники, которые по рациональной методике определяют превалирующую оценку коллектива экспертов о тенденции изменения во времени данного вида техники. В техническое задание на разработку изделия часто вносят как раз данные на основе результатов экспертной оценки.

Надежный прогноз процессов замены старой техники техникой новых прогрессивных концепций особенно важен для разработчиков новой техники. Такие субституционные процессы подчиняются S–образным кривым, которые наиболее полно описываются формулой Перла [6].

Пусть, при оценке закономерностей упомянутых процессов, в качестве прогнозируемого фактора выбран объем выполняемых работ моделями разных конструктивных концепций техники одного назначения. При собранных данных по годам об объемах выполняемой работы находящимися в эксплуатации машинами каждой из концепций, типовое их графическое представление имеет вид, показанный на рисунке 3.

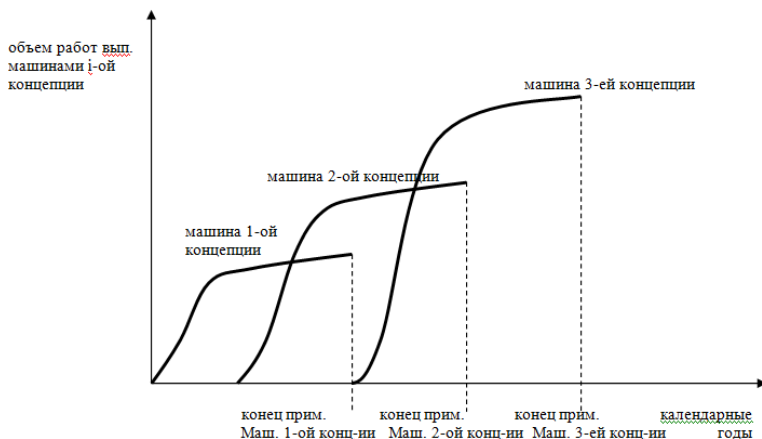


Рисунок 3 – Характер S-образных кривых объемов выполненных работ машинами различных концепций и одного назначения

График наглядно показывает, по календарным годам, моменты смены доминирующей на практике машины одной концепции на машину другой более прогрессивной концепции. Вывод для проектировщика состоит в том, что ему целесообразно разрабатывать улучшенную машину, аналогичную той концепции, которая либо доминирует в настоящее время (знак кривизны S-образной кривой не менялся, а объем выполняемых работ будет увеличиваться и превышать аналогичный для машин других концепций еще длительное время, достаточное для получения эффекта в народном хозяйстве от разрабатываемой машины). Либо необходимо создавать машину той концепции, которая, судя по прогнозу, зарождается (либо уже появились на рынке подобные машины конкурентов) и которая по техническому уровню будет превосходить своих предшественников или машины других альтернативных конструктивно-технологических концепций на момент выхода на рынок машины, которую только планируют к разработке.

В случае существования машин, конкурирующих с задуманной, на выбранном сегменте рынка, при формулировании технического задания на разработку машины выполняют прогнозную оценку ее технического уровня и качества (ТУиК), а

также строят так называемый радар конкурентоспособности, который наглядно показывает достоинства и недостатки задуманной машины, в сравнении с машинами конкурентов, либо со статистически определенными показателями так называемого "идеального" существующего товара (см. рисунок 4).

Проводимый анализ на основании изучения тенденции развития данного вида техники необходим как по разделам и пунктам стандартного ТЗ, так и по факторам конкурентоспособности, определяющим спрос, цену, объемы продаж, емкость рынка аналогов разрабатываемого изделия.

Сравнение конкурентных преимуществ рассматриваемых вариантов объекта разработки, по сравнению с существующими машинами, удобно представлять в виде радара конкурентоспособности, который можно оформить следующим образом (см. рисунок 4).

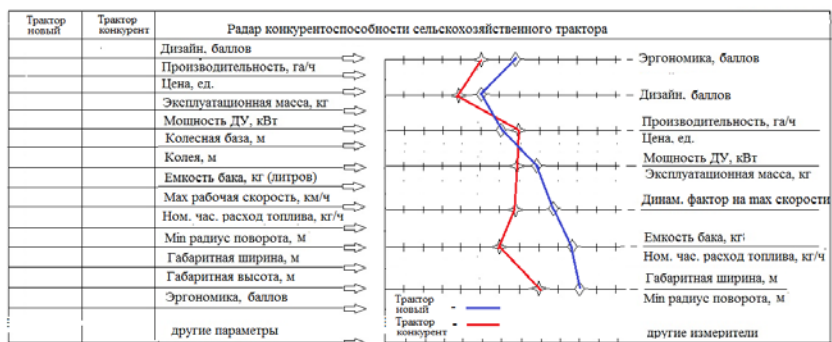


Рисунок 4 – Пример радара конкурентоспособности анализируемых машин одного назначения

Алгоритм информационного обеспечения конструкторской подготовки разрабатываемого вида техники на стадии предпроектных исследований и разработки ТЗ можно представить в виде варианта известной блок-схемы (рисунок 5).

Для удобства интегральной оценки конкурентоспособности предполагаемой к разработке мобильной техники как раз и используют упомянутый радар конкурентоспособности (рисунок 4),

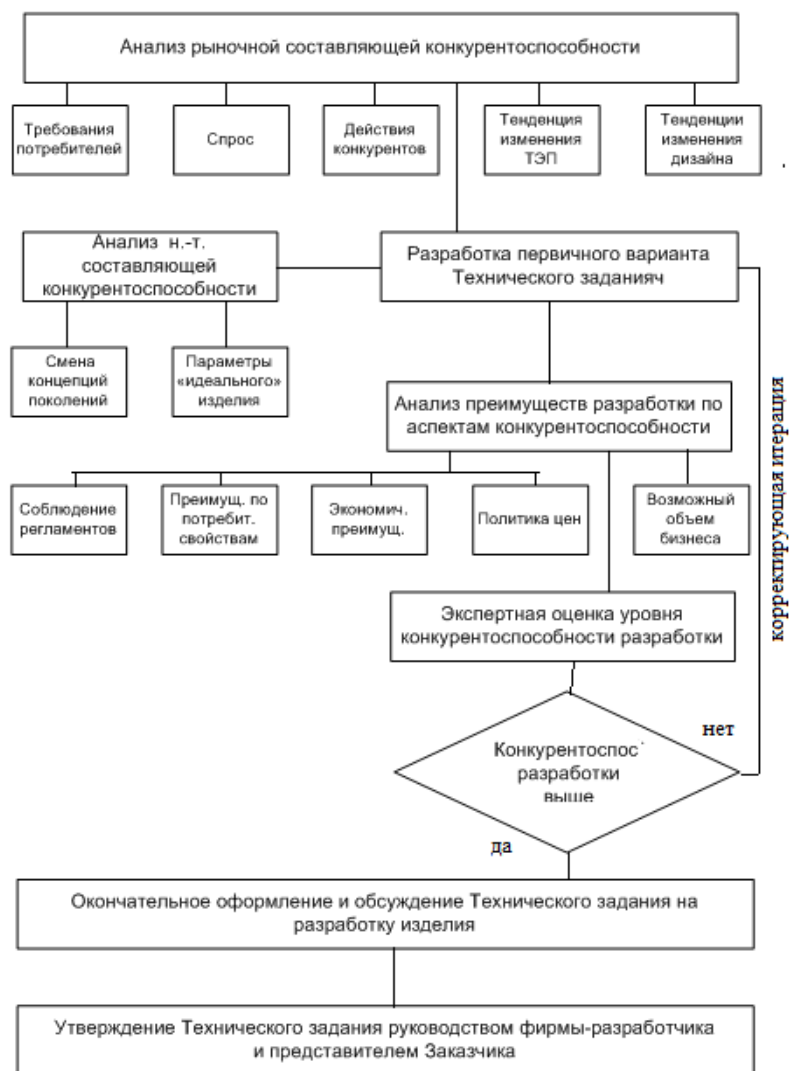


Рисунок 5 – Схема алгоритма анализа трактора на конкурентоспособность

который наглядно показывает преимущества и недостатки вашего варианта машины по отношению к наиболее близкому конкуренту или к обобщенному статистически объекту-идеальному товару для выбранного сегмента рынка данных машин.

Принятые по результатам анализа конкурентоспособности технико-экономических показателей (ТЭП) закладываются в ТЗ на разработку мобильной машины.

При выполнении процедур внешнего поисково-изыскательского проектирования и предпроектных исследований, необходимых для научно-обоснованного формулирования технического задания на разработку новой машины, используют, среди прочего, комплекс достаточно разработанных и многочисленных современных методов поиска нового технического решения, обладающего патенто- и конкурентоспособностью [2], а также методологию оценки комплекса функциональных свойств с учетом действующих регламентов [7].

Анализ вариантов возможных структурно-компонентных схем общей компоновки разрабатываемого перспективного трактора удобно выполнять на основе комбинационной матрицы структур по алгоритмам метода морфологического вариантного анализа, либо любого продуктивного другого.

Исследование компоновок нового трактора на среднесрочную перспективу, с учетом имеющихся прогнозов развития агрегируемых с тракторами машин и орудий и с учетом с.-х. технологий, выполняется путем анализа всего спектра свойств рассматриваемых вариантов и их сравнения между собой в рамках автоматизированного программного комплекса.

Суть обобщенного алгоритма предпроектного анализа свойств мобильной машины в том, чтобы обеспечить выполнение любой из проектных процедур, входящих в ее структуру и любой проектной операции – задачи, любое число раз.

Выполненное информационно-патентное исследование тенденций в изменении общей компоновки с.-х. тракторов ближайшего будущего показало, что реально происходит смена тягово-энергетической концепции дизельного трактора, управляемого водителем вручную, на мобильно-энергетическую концепцию электроприводного трактора с мехатронным управлением всеми функциональными подсистемами и

возможностью автоматического или удаленного управления вождем с помощью подсистем точного позиционирования. При этом анализ опубликованных в печати и выставленных на презентациях концептов тракторов будущего обнаруживает определенную корреляцию их экстерьера и компоновочной схемы с выбором новых силовых установок, рассмотренных ранее, для таких машин. Приведем в качестве примера несколько раскрытых для технического сообщества вариантов концептов будущих тракторов с возможностью беспилотного управления от известных фирм (см. рисунки 6-11).

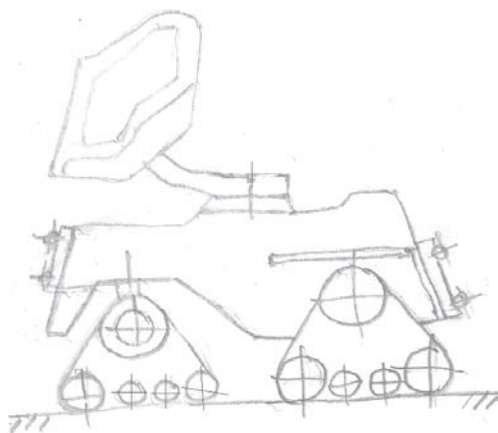


Рисунок 6

Дизайнерами Минского тракторного завода (Беларусь) создан модульный супер-трактор трансформер, схема общей компоновки которого показана на рисунке 6, а фото - в источнике [8]. Выполненные изыскания дизайна трактора класса 3 с изменяемой пространственной структурой сложны тем, что при учете всех требований и ограничений к устройству и свойствам трактора согласно Техническому регламенту СНГ, стандартов и т.п. необходимо достичь максимального результата в решении двуединой задачи: обеспечить функциональность в рамках наилучшего дизайнерского облика трактора. Это представление об идеализации для будущего машины данного вида. Какова вероятность того, что такой проект будет когда-нибудь реализован

массово, определить сложно, так как это касается и аксиологического прогноза будущих потребностей человека. Это концепт, вариант возможного будущего, однако этот образец изготовлен в металле и работает, так как отдельные модули машины уже отработаны на эксплуатирующихся тракторах.

Ближайшая перспектива тракторостроения состоит в расширении модельного ряда электротракторов с обязательными кабинами, даже при оборудовании их системами автоматического вождения. Пример изменения дизайна трактора будущего фирмы CLAAS - одного из лауреатов международного конкурса iF Design Award за успешное сочетание хай-тек & дизайн приведен в источнике [11].

Габариты внешнего очертания трактора с электрической ДУ остаются почти прежние, только вместо дизеля под капотом размещен комплект электропривода. Для более далекой перспективы, при отсутствии кабины, реально расширение использования тракторов «беспилотников», что потребует также развития соответствующих разделов теории тракторного агрегата.

Далее (рисунки 7-11) приведены примеры эскизов подобных тракторов разных общих компоновок, которые находятся в том же фарватере поискового движения к новому. Практическая реализация этого направления уже началась, подтверждение тому в примерах трактора в источниках [8-11]. А это уже признак начала формирования тенденции развития или тренда изменения концепции данного вида техники.

На рисунке 7 приведена компоновочная схема беспилотного трактора 4x4 с передними меньшими управляемыми колесами с использованием межосевого пространства на всю габаритную ширину с передними и задними сцепными устройствами, на рисунке 8 – полноприводный трактор с колесами одного размера и системой поворота типа «краб», оборудованный автоматом сцепки на трехточечном сцепном устройстве.

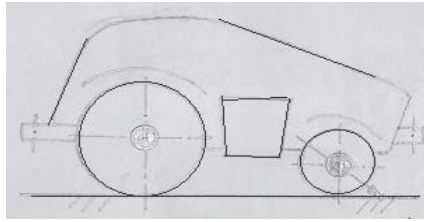


Рисунок 7

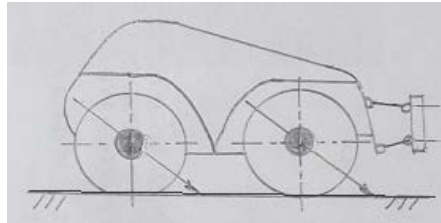


Рисунок 8

На рисунке 9 приведена компоновочная схема беспилотного короткобазного трактора 4x4 с бортовой схемой поворота для работы на малых для разворота площадях, с возможностью агрегатирования широкого набора сменного рабочего оборудования с помощью универсальных электроуправляемых евроадаптеров. На рисунке 10 показана компоновочная схема мощного беспилотного полноприводного шарнирно-сочлененного трактора с развитыми площадками для размещения разнообразного технологического оборудования, а также с лифтовыми задним и передним сцепными устройствами, которые обеспечивают реализации переднего, заднего, эшелонированного и других видов агрегатирования.

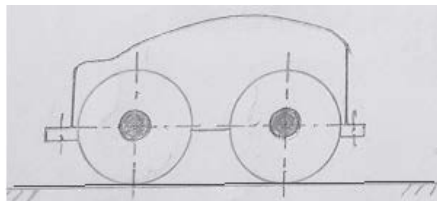


Рисунок 9

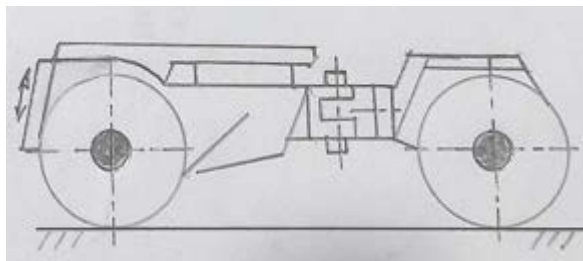
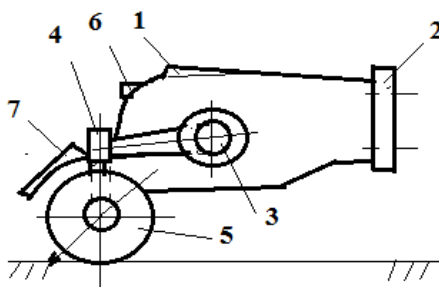


Рисунок 10

Особенностью всех вариантов является применение систем электро- и гидроотбора мощности на привод активных рабочих органов агрегатируемого модульного быстросъемного технологического оборудования, которое также существенно видоизменяется конструктивно.



- Обозначения: 1- корпус с электронакопителем; 2 – стыковочный узел;
 3 – пружиненный рукав колесной опоры; 4 – поворотный приводной шарнир;
 5 – ведущее поворотное колесо; 6 – ВОМ; 7 – панели солнечных батарей

Рисунок 11

Симметричная конструкция трактора из двух тягово-приводных электромодулей (рисунок 11) позволяет различать движение по направлениям только при присоединении снизу и спереди какой-либо машины-орудия к такому трактору. Все поворотные колеса 5 оснащены электрическими моторами, их мощность распределяется индивидуально [9 - Журнал Naked Science № 41, 2018]. Трактор отличается большим диапазоном

пространственной конструктивной эволюции и энергетической гибкостью. Электромоторы трактора могут получать часть необходимой энергии от солнечных батарей 7, установленных в верхней части корпуса 1, и брызговиках, а основным источником являются электроаккумуляторы большой емкости.

Отдельное направление создания средств привода и перемещения с.-х. машин и орудий по полю состоит в развитии приводных несущих платформ с индивидуальным гидростатическим или электроприводом колес, либо резино-тросовых ведущих тележек, предназначенных для быстрого переагрегатирования, а также трансформируемых высококлиренсных мультимодульных тракторных шасси. Один из примеров подобных машин показан на рисунке 12 и в источнике [12].

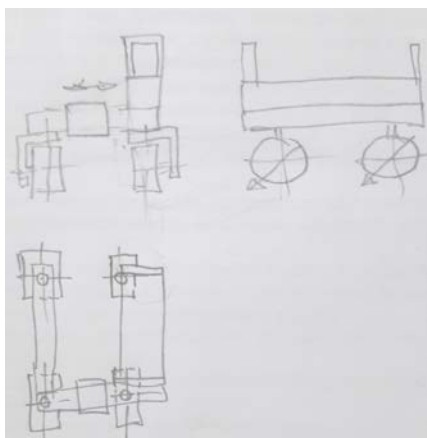


Рисунок 12

Существенное переуплотнение верхнего и подстилающего слоев возделываемых земель при многократных проходах ходовых систем тракторных агрегатов [3], необходимость существенного снижения энергозатрат и повышения производительности труда в растениеводстве, а также экономических показателей, обуславливают, среди прочих причин, развитие работ в области создания широкозахватных порталных мобильных с.-х.

технологических агрегатов с электроприводом, в том числе с использованием солнечной энергии.

Подобное направление развитие с.-х. МГА прогнозировала еще в 70-х годах прошлого столетия научная школа проф. И.П.Ксеневица [1-2]. В некоторых префектурах Японии, где возможно выращивание двух урожаев риса в год, применяется технология с применением устройства в виде мостовой фермы, передвигающейся по направляющим на боковых сторонах бетонного чека, с которой осуществляется посадка проросших ростков рисового растения. Одним из примеров современного видения конструкции мобильного агрокомплекса для равнинных регионов с большой длительностью теплого периода, в чем-то подобным упомянутым в данном абзаце устройствам в виде мостовой фермы на поддерживающих ее и движущих беспилотных мини-тракторах, является мобильный агрокомплекс-робот [10], который ориентирован на мультикультурность полей и может обеспечить возможность обрабатывать одновременно до восьми возделываемых культур на площади до нескольких тысяч гектар и повысить защиту растений от вредителей. Комплекс включает: мостовую ферму, беспилотные мини-тракторы, навесные манипуляторы для возделывания конкретных растений, солнечные панели и аккумуляторы электроэнергии. Он должен обеспечивать работу весь полевой сезон.

Однако часть из приведенных концептов развития с.-х. техники с тракторным беспилотным компонентом пока лишь обозначили нужду социума в новой более прогрессивной технике, но она еще не оформилась в финансово гарантированную им потребность. Однако изложенные факты как раз и свидетельствуют о зарождении и развитии очередного цикла смены концепций в сфере сельскохозяйственной тракторной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе сформулированы выводы по анализу состояния разработок в тракторостроении, представлены общие методические положения предпроектного обоснования с.-х. трактора, необходимые для последующего выбора его рациональной общей компоновки и параметров по комплексу критериев качества, дизайнерского облика и

конкурентоспособности, рассмотрены аспекты прогнозного представления о трансформации концепции общих компоновочных решений и необходимости развития теории перспективных машинных тракторных агрегатов, в связи с применением на тракторах новых перспективных двигательных установок и концептуально новых компоновочных решений сельскохозяйственной техники с тракторным компонентом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия. В 3 томах./ Ксенович И.П., Гоберман В.А., Гоберман Л.А. – М.: Машиностроение, 2003. – 2408 с.
2. Ксенович И.П. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет./ И.П.Ксенович, В.В. Гуськов, Н.Ф. Бочаров и др. Под общ. ред. И.П. Ксеновича. - М.: Машиностроение, 1991. — 544 с.
3. Ксенович И.П.. Ходовая система - почва – урожай / И.П.Ксенович, В.А.Скотников, М.И. Ляско - М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
4. Кацыгин В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных с.-х. машин и орудий / В.В. Кацыгин// Вопросы с.-х. механики. – Минск, 1964. – Т.13. – С. 5-147.
5. Шалягин В.Н. Транспортные и транспортно-технологические средства повышенной проходимости. – М.: Агропромиздат, 1986. – 254 с.
6. Кунилова, М. А. Статистика. В 2 ч. Часть 2 – Социально-экономическая статистика / М. А. Кунилова, О. О. Антоненко, Л. В. Караулова/ – Киров: Изд-во ВятГГУ, 2011. – 265 с.
7. ТР ТС 018/2011 - Технический регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».
8. В Минске презентовали футуристический трактор МТЗ /Интернет-ресурс.

Режим доступа: <https://nn.by/?c=ar&i=221453&lang=ru> .

9. Трактор на стероидах. Журнал Naked Science № 41, 2018./ Интернет-ресурс.

Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/concept/traktor-na-steroidah> .

10. Экотехника /Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://coverx.site/tag/kontsept.html> .

11. Технику CLAAS наградили за успешное сочетание хай-тек & дизайн. /Интернет-

ресурс. Режим доступа: <https://vk.com/wall-94837837?own=1&offset=80> .

12. Канадец изобрел беспилотную замену трактора /Интернет-ресурс. Режим доступа:

<http://agroportal.ua/ru/news/tekhnika/kanadets-izobrel-bespilotnyu-alternativu-traktoru/>

УДК 631.3-52: 519.711.3

**ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ РЕЖИМА
ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕЕЗДА
FORMATION OF A DYNAMIC MODEL OF A MACHINE-
TRACTOR UNIT FOR THE MODE OF TRANSPORT MOVING**

В.П. Бойков¹, доктор техн. наук, профессор,

В.Б. Попов², канд. техн. наук, доцент

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

²Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого, г.Гомель, Беларусь

Boykov V.P.¹, Professor, Doctor of Technical Sciences,

Popov V.B.², Associate Professor, PhD in Engineering

¹Belorussian National Technical University, Minsk, Belarus

²Sukhoj State Technical University of Gomel, Belarus

Сформирована функциональная математическая модель транспортного переезда, учитывающая особенности машинно-тракторного агрегата

Formed a functional mathematical model of transport moving, taking into account the features of the machine-tractor unit