

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ

Канд. техн. наук Грушников В.А.,  
Лысова Е. Г.

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИРАН)

## IMPROVEMENT OF AGRICULTURAL TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL LOGISTICS

V.A. Grushnikov, Ph.D. (Tech.),  
E.G. Lysova

(All-Russian Institute for Scientific and Technical Information. VINITI RAS)

*Средства механизации, агропромышленный комплекс, растениеводство, животноводство, транспортно-технологическая логистика, производительность, эффективность.*

*Means of mechanization, agro-industrial complex, crop production, animal husbandry, transport and technological logistics, productivity, efficiency.*

*Сельскохозяйственное производство в сегментах высокопроизводительного растениеводства и животноводства современного агропромышленного комплекса немислимо без совершенствования транспортно-технологической логистики, основанной на передовых методах и средствах оптимизации материальных и технических потоков, позволяющих снизить непроизводительные простои и потери функционирования продовольственного конвейера.*

*Agricultural production in the segments of high-performance crop production and livestock breeding of the modern agro-industrial complex is unthinkable without improving transport and technological logistics based on advanced methods and means of optimizing the implementation of material and technical flows, allowing to reduce unproductive downtime and loss of functioning of the food conveyor.*

Оптимальное управление материальными и техническими потоками в реализациях современных технологий агропромышленного комплекса является ключевым фактором необходимой для высокой производительности, требующейся продуктивности в производстве сельскохозяйственной продукции растениеводства и животноводства. Она проявляется в интенсивности проведения как отдельных операций, так и всего комплекса сельскохозяйственных технологий с минимальными потерями на сбой и непроизводительные простои и наиболее наглядно прослеживается в организации работы транспортного конвейера, и, в частности, осуществлении процедур на колесах специальной агротехники.

В предпочтительном варианте организации комплексно-механизированного процесса оптимальным оказывается реализация системы и способа управления сельскохозяйственной машиной как по специфическим аграрно-технологическим операциям, так и по перемещениям трактора и/или комбайна. Повышение функциональности и производительности растениеводческого сегмента агропромышленного комплекса с применением этих машин достигается, например, при проведении опрыскивания возделываемых полей агрокультур согласованным воздействием на рабочие органы в виде поворотной стрелы манипулятора с форсунками, оптимально перемещаемой адаптивным электромеханическим приводом с акселерометрами и гироскопами инерциального измерительного блока по принимаемым сигналам от передатчиков системы GPS-навигации,

эффективно поддерживаемой облачной компьютерной коммуникационной системой. Это обеспечивает адаптивное интенсивности опрыскивания направление и скорость перемещения по заданной или запрограммированной траектории движения оснащенного бортовым процессором, в том числе автономного или дистанционно управляемого, пропашного колесного трактора, буксирующего прицепное сельхозорудие [1].

В этой комплексно-механизированной или автоматизированной системе особое место отводится современным информационным технологиям, эффективно реализуемым, например, усовершенствованными устройством и способом автоматического беспроводного обнаружения универсального и специализированного подвижного состава транспортно-технологического комплекса [2]. Повышение оперативности и точности идентификации типоразмера и степени загрузки применяющегося в процессе доставки с поля в хранилища и элеваторы колесного подвижного состава автомобильного транспорта обеспечивается использованием автоматического беспроводного обнаружения его на весах, оснащенных таймерами, радиочастотными сканерами считывания меток на кузовах автомобилей и цифровыми видеосистемами машиночитаемой системы распознавания образов без вмешательства оператора со свойственной ему ошибкой человеческого фактора.

Эффективность такой или подобной ей системы отслеживания использования на погрузке-разгрузке и в движении автомобильных и тракторных колесных транспортных средств реально поддерживается воз-

возможностями современной навигации. Навигация эффективно реализуется, например, усовершенствованным способом генерирования траектории пути движения сельхозмашины с использованием так называемых профилей кривизны. Способ осуществляется инновационной системой дистанционного автоматического управления автономной беспилотной сельскохозяйственной машиной по оперативному отслеживанию и корректировке рассогласования фактического и запланированного в оптимизационном алгоритме местоположения на маршруте движения с воздействием на механизмы системы разомкнутого электромагнитного рулевого управления с электронным контроллером поддержания траектории на пути к предусмотренной точке назначения [3].

Система получения оптимальной траектории основана на генерировании профиля кривизны на основе начальных состояний самоходной машины (начальное положение, курс, кривизна и скорость), возможностей ее рулевого управления (калиброванные пределы кривизны и скорости движения) и исходных ошибок положения машины относительно заданного маршрута и пункта назначения. Профиль кривизны описывает динамику его изменения на всей дистанции пути. Система сбора информации позволяет строить траекторию реализации маршрута комбинацией клотоид, дуг окружности и прямых линий, соответствующих различным сегментам профиля его кривизны. Составные части и результирующая траектории отображается на пользовательских интерфейсах: стационарном в диспетчерской и мобильных операторских с показом приближения к оптимальной реализации.

Система, наряду с другими организационно-технологическими мероприятиями и техническими средствами, достигается использованием для регистрации информации о кривизне предстоящей траектории движения лазерных и/или лидарных устройств измерений. Измерения позволяют оперативно поддерживать достоверной информацией бортовые процессоры выбора по результатам расчетов оптимальных прогнозных реализаций по предполагаемым профилям кривизны режимов нагрузки силовых агрегатов привода и интенсивности воздействия на механизмы системы рулевого управления, которые осуществляются по критерию минимизации дискретно контролируемых отклонений этих реализаций от предусмотренных по оптимизационному алгоритму рассматриваемого управления с оперативным регулируемым устранением этого рассогласования.

В этом способе оптимизации система обнаружения линий определяет путь сбора данных от текущего местоположения колесного транспортного средства с позиционированием до пути назначения с использованием начальных состояний положения, курса, кривизны и скорости движения. Реализация процесса сбора данных в режиме реального времени может отображаться в пользовательском интерфейсе, позволяющем оператору наблюдать возможные и оптимальную траекторию перемещения по заданному маршруту. Оператор может задействовать автоматическую систему рулевого управления по прогнозируемой (с учетом программного задания компьютеру) траектории обнаружения и реализации перемещений. Это повышает осведомленность пользователя о ситуации для более эффективного принятия решений. Пользователь может выбрать наи-

более подходящее время для включения автоматического контроллера рулевого управления, зная, что на конкретном дискретном отрезке пути отсутствуют риски столкновений и повреждений управляемой им машины.

Система получения так называемой трассерной линии может повысить уровень автономности автомобильного и/или тракторного транспортного средства. Например, при полной вычисленной траектории получения у пользователя может быть меньше задач руления при обработке поля при ручном управлении. Система получения линии также может включать автоматические повороты в конце ряда, которые уменьшают количество ручного управления при переходе между различными путями назначения и, в конечном итоге, уменьшают нагрузку на машиниста-оператора.

Для эффективной реализации способов автоматизации управления сельскохозяйственными машинами ключевым моментом является возможность оперативного использования достоверной текущей информацией по эксплуатационной загруженности машин и механизмов комплекса, без потерь и искажений передаваемых и принимаемых соответствующими устройствами обмена данными в локальных и глобальной информационной сетях. Повышение энергоэффективности и оперативности управления в режиме реального времени мобильным транспортным и стационарным складским и перерабатывающим сегментами современного многофункционального агропромышленного комплекса обеспечивается, например, использованием усовершенствованного способа коммуникационного оповещения участников процесса с применением адаптивного GPS-трекера. Он представляет собой приспособленное к решению конкретных утилитарных задач устройство приема-передачи данных для точного спутникового контроля дислокации людей, комбайнов, косилок, автотранспортных средств, погрузчиков и/или других мобильных объектов, к которым оно прикреплено [4].

Такой сельскохозяйственный трекер, например, прицепа для агорокультур предназначен для отслеживания загрузки урожая и передачи данных из области посева в хранилище. А конкретно GPS-трекер - это устройство приема-передачи данных для спутникового контроля людей, техники и/или других объектов, к которым оно прикрепляется, использующее возможности спутниковой GPS-навигации для точного определения местонахождения объекта. В приложении к буксируемым тракторами прицепным тележкам применение трекеров позволяет эффективно, без промежуточных перевалок сельскохозяйственных грузов, использовать их в системе сквозной транспортной логистики с участием нескольких пользователей-партнеров процесса с отслеживанием местоположения и состояния загрузки. Кроме того, это позволяет рационально, если не оптимально, такому колесному транспортному средству взаимодействовать с косилкой, зерно- и кормоуборочным комбайном, харвестером уборки урожая плодовых культур и с транспортерами, коммуницируя по беспроводной связи с взаимной передачей информации, в том числе транслируемой на сервер диспетчерской.

При удалении транспортного средства от комбайна или транспортера связь между техническими средствами агрокомплекса поддерживается уже не в рамках локальной, а глобальной коммуникационной сети возможностями космической связи геоинформационной

системы. Это обеспечивает постоянную коммуникацию и отслеживание местоположения и загрузки всех объектов транспортно-технологического комплекса. Кроме чисто позиционных задач маршрутизации, это позволяет оптимизировать их взаимную загрузку по местам дислокации, устраняя перегрузку одних и недогрузку других, минимизируя простой в ожидании проведения погрузки-разгрузки. Причем в предпочтительном варианте исполнения трекер обладает способностью регистрировать, в том числе на машиночитаемом носителе, и транслировать информативные данные о количестве и плотности загружаемого, разгружаемого и перевозимого груза. Наряду с повышением информативности транспортно-технологических процессов, это позволяет эффективнее использовать средства автоматизации, вообще, и робототехнические устройства, в частности.

Трекер в ударопрочном корпусе с беспроводным адаптером, как правило, Wi-Fi-коммуникации по электронному протоколу связи, блоком памяти, блоком обработки и хранения информации и транслятором с выведенной наружу антенной универсальным штекерным или USB-разъемом может подключаться к стационарному и/или бортовому источнику электропитания.

Проводной адаптер такого комбинированного трекера может содержать интерфейс последовательной шины или интерфейс шины CAN. Беспроводное соединение для передачи данных может быть основано на Wi-Fi, Bluetooth или цифровом радио. Блок обработки может быть сконфигурирован для записи и передачи, по меньшей мере, одной из сохраненных групп информационных данных сбора, погрузки, упаковки, транспортировки, разгрузки, месте и способе хранения урожая сельскохозяйственных культур, доступных через подключение к USB-разъему процессора бортового компьютера через проводное соединение для передачи данных.

Наряду с эффективностью общесистемного, так называемого, внешнего управления транспортно-технологическим комплексом сельскохозяйственного производства, реализуемого с привлечением возможностей современных информационных технологий и средств, в том числе космической коммуникации, важное значение, по-прежнему, придается надежности и адаптивности функционирования внутренних систем агротехники. Одной из них является усовершенствованная система рулевого управления сельскохозяйственной машины с повышенной курсовой устойчивостью и динамической стабилизацией. Эта система с эффективной реализацией активных адаптивных функций обеспечивает предотвращение опрокидывания на криволинейных траекториях движения [5].

Эта цель достигается устранением или максимально возможным недопущением вызванного недостаточной поворачиваемостью, в первую очередь, скользящего сноса передних колес меньшего диаметра или опорных катков с зубчато-реечным механизмом привода с рулевой трапецией или с независимо действующими гидроцилиндрами и избыточной поворачиваемостью - заноса задних ведущих колес большего диаметра с шарнирно-рычажным приводом. Эти опасности наиболее вероятны, главным образом, при скоростном движении на автомобильной дороге общего пользования утилитарной сельскохозяйственной машины в виде колесного пропашного трактора, буксирующего прицепную тележку. А их устранение или нейтрализация обеспечива-

ется использованием аналогичной современной автомобильной усовершенствованной системы активного рулевого управления передних управляемых колес и адаптивного в том же или противоположном направлении подруливания - задних. Эта комплексная функция рулевого управления реализуется только при относительно высоких скоростях движения по автомобильным дорогам общего пользования с твердым покрытием, а на пашне и/или на газоне блокируется по трудоемкому осуществлению на мягком основании.

Достижению той же цели служит так называемое четырехколесное инновационное рулевое управление сельскохозяйственной машины. Повышение маневренности такой мобильной машины растениеводческого сегмента агропромышленного комплекса, как самоходный опрыскиватель, например, с увеличенным дорожным просветом обеспечивается использованием запатентованной усовершенствованной системы согласованного равного или неравного по радиусам автономного поворота каждого из четырех колес двух управляемых осей и противоположного для реализации короткозаворотного или даже разворота сельхозмашины на месте [6]. Поворот осуществляется шарнирно-рычажными механизмами освобождения или блокировки узлов рулевого управления электронным контроллером бортового процессора инициализации открывания/закрывания каналов циркуляции масла в контурах воздействия на осевые гидравлические механизмы рулевого управления. Датчики перемещений колесных гидроцилиндров по косвенным параметрам контроля отслеживают углы поворота соответствующих колес, а их сигналы используются контроллером для оптимизированного согласованного и/или автономного управления углами поворота каждого колеса в зависимости от требуемого радиуса криволинейного перемещения сельскохозяйственной машины, в том числе с блокировкой любого из них, эффективно реализуемого модифицированной рулевой трапецией колес передней и задней управляемых осей.



Рис. 1. Усовершенствованное рулевое управление колесного трактора

Не менее эффективным является применение в колесном транспортном средстве схемы независимого управления ведущими колесами. Улучшение маневренности патентуемого самоходного сельскохозяйственного транспортного средства повышенной проходимости достигается, например, использованием системы автономного независимого и поддерживаемого электронной контроллерно-процессорным отслеживанием траектории движения колесной машины. Система оснащена устройством управления ведущими передним правым и левым колесами на регулируемой по дорожному просвету подвеске, технологично реализующей необходимость для совершения поворота с заданным минимально возможным радиусом в ограниченном поле маневра разницу между окружными скоростями вращения левого и правого ведущего управляемого колеса [7].

Кроме того, применяя алгоритм этой системы, подворачивая на ограниченный угол левое и правое заднее ведомое колесо в разных направлениях друг от друга, можно осуществлять поворот на скользких опорных поверхностях с низкими коэффициентами трения сцепления и даже на месте с нулевым радиусом поворота. По этой причине такое транспортное средство может преимущественно использоваться в качестве вилочного погрузчика, газонокосилки и т. д. Предотвращение опасного крена и скатывания по уклону под действием силы гравитации достигается использованием аналога автомобильной системы курсовой устойчивости и динамической стабилизации с регулируемым торможением каждого из колес шасси. А максимальная энергоэффективность и экологическая безопасность достигаются реализацией системы рекуперативного торможения гибридного и/или чисто электрического привода с встроенными в ступицы колес компактными электродвигателями с редукторами. Все эти функции оптимально реализуются электронным контроллером бортового процессора рассматриваемого инновационного транспортного средства с датчиками отслеживания таких контролируемых параметров, как скорость, кривизна траектории и углы поворота передних управляемых и задних подруливаемых колес, углы крена и коэффициенты сцепления колес с опорным основанием.

Не менее важной в обеспечении безопасности движения является тормозная система трактора и/или комбайна. Повышение безопасности дорожного движения с участием на автомобильной дороге общего пользования скоростного колесного пропашного и буксировочного сельскохозяйственного трактора обеспечивается, например, использованием в нем повышающей маневренность запатентованной усовершенствованной тормозной системы с двумя педалями раздельного торможения колес каждого борта, позволяющей останавливать внутренние на криволинейной траектории движения колеса без снижения скорости вращения наружных колес [8].

На высоких скоростях движения риски схода с полосы движения и бокового опрокидывания устраняются реализуемой исполнительным механизмом устройства отслеживания чувствительными элементами скорости и замедления/ускорения колес бортов трактора системы относительной друг по отношению к другу блокировки педалей, ступичными втулками своих параллельных рычагов скользяще установленных на поперечной стержневой штанге кабины. Эта блокировка реализуется стержневой перемычкой площадок педалей тормоза раздельного управления колесами бортов по команде устройства замыкания контактов цепи их электрического замыкания. Технологически она осуществляется по комбинированному принципу адаптивного торможения колеса автомобиля и воздействия на бортовой фрикцион трактора или, например, танка.

Возможности оптимизации агротехники растениеводства имеются на всех операциях этого индустриального процесса и эффективно проявляются в комплексе. Так, например, повышение эффективности и энергоэкономичности функционирования буксируемого колесным пропашным трактором комбинированного прицепного сельскохозяйственного орудия вспашки и культивации почвы обеспечивается использованием усовершенствованного комплексно-механизированного устройства. Его назначением является регулирование

дорожного просвета по высоте расположения несущей рамы с подвешенными колесами шасси, опорными катками и подвижно-поворотными прикрепленными почвообрабатывающими инструментами [9].

Регулирование конструктивно-технологически оптимально реализуется всего двумя гидроцилиндрами, размещенными между серединой и передней и задней, соответственно, поперечными балками рамы и воздействующими на компоненты шарнирно-кулисных механизмов регулирования дорожного просвета колес перемещения этого прицепного сельхозорудия по автомобильным дорогам общего пользования, опорных катков по пашне и высоты позиционирования рабочих органов (лемехов плуга, зубьев бороны, дисков культиватора). Гидроцилиндры по отслеживанию электронным контроллером сигналов дистанционных датчиков воздействуют на рычаги кривошипно-кулисного механизма, при выдвигании/втягивании поворачивая балансирные коромысла подвески колес, катков и рабочих органов пропашных инструментов.

Главным преимуществом такой конструктивно-технологической оптимизации является реализация функциональных возможностей одним вместо традиционно двумя громоздкими гидроцилиндрами и устранение необходимости применения дорогих электромагнитных клапанов управления потоками трансмиссионного масла в разветвленной гидросистеме повышенной надежности за счет снижения количества компонентов и сложности регуляторов.

Совершенствование транспортно-технологической логистики эффективно осуществляется не только в растениеводстве, но и в животноводстве. Ярким примером реализации этих мероприятий является, в частности, оптимальное текущее планирование работы мобильных машин транспортировки целлюлозной биомассы корма для животных стойлового содержания. В этой исследовательской работе кафедры промышленной системной техники Халифского университета науки и технологий Абу-Даби проанализированы различные аспекты эффективной организации работы мобильных машин в рамках биоэнергетических комплексов производства кормов для животных [10].

С использованием программно-вычислительных возможностей современных коммерческих пакетов разработана модель смешанного целочисленного линейного программирования, позволяющая минимизировать общую стоимость транспортировки биомассы от мест временного бункерного хранения до биоэнергетической установки путем определения оптимальных ежедневных расписаний для грузовых автомобилей и мобильных погрузчиков с учетом нескольких поездок и посещений, а также операций их синхронизированной погрузки-разгрузки. В частности, эта транспортно-технологическая оптимизация рассмотрена на примере максимального полного использования кукурузного жмыха с оптимизированным количеством транспортных средств мобильного комплекса машин.

По результатам комплексного исследования сделан вывод о том, что транспортировка биомассы из трех-четырех локально позиционированных бункеров временного хранения к централизованному агрегату переработки этого источника корма с использованием закрепленного за ними соответствующего погрузчика и перемещающихся по маятниковым маршрутам переключаемых по узловому принципу оптимизации авто-

мобильных колесных транспортных средств является искомым оптимальным решением. Они с максимальной эффективностью реализуются при сквозном использовании технических средств агрокомплекса, в том числе с контролем местоположения и проведения погрузочно-разгрузочных и транспортных операций с применением обездвиженных, оснащенных трекерами и средствами радиочастотной идентификации прицепных тележек, буксируемых колесными тракторами.



Рис. 2. Колесный трактор с универсальной, оснащенной трекером, прицепной тележкой

Эти и другие примеры реализаций оптимизационных конструктивно-технологических и организационно-технических мероприятий по совершенствованию агротехнической и транспортной логистики сельскохозяйственного комплекса свидетельствуют о многоплановости и многофакторности процесса совершенствования всех используемых в сельском хозяйстве процедур. Они во все большей степени успешности комплексно механизуются и автоматизируются, позволяя максимально возможно на текущий момент развития повысить продуктивность растениеводства и животноводства – источников продовольственного снабжения населения.

В рассмотренных примерах оптимизации сельскохозяйственной транспортно-технологической логистики проявляются возможности организационно-технического совершенствования на основе передовых методов и запатентованных решений конструктивно-технологических проблем наиболее продвинутого современного автомобилестроения, успешно верифицированных в экспериментальных апробациях.

## Литература

1. Machine control system and method. Патент США № 10416314.
2. Automatic Wireless Wagon Detection Apparatus and Method. Патент США № 10317272.
3. Line acquisition path generation using curvature profiles. Патент США № 10416675.
4. Agricultural data transportation system. Патент США № 10419902.
5. Rear Axle Steering System and Methods of Using the Same. Патент № 10421484.
6. Four Wheel Steering With Lock Assembly. Патент США № 10421486.
7. Vehicle Having Independently driven and Controlled Right and Left Wheels. Патент США № 10293853.
8. Steering brake locking system. Патент США № 10081340.
9. Fully Adjustable Lift System. Патент США № 10420271.
10. An H. Optimal daily scheduling of mobile machines to transport cellulosic biomass from satellite storage locations to a bioenergy plant// Applied Energy.- 2019.- Том 236.- С. 231-243.

## Сведения об авторах:

**Грушников Виктор Александрович**, старший научный сотрудник ОНИ по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН).

Телефон 8 499 152 59 10.

E-mail: mach04@viniti.ru.

**Лысова Елена Григорьевна**, младший научный сотрудник ОНИ по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН). Адрес: 125190 Москва, ул. Усиевича, 20.

Телефон 8 499 152 59 10 (сл.).

E-mail: mach04@viniti.ru.