

The main energy consumers at a mobile shearing station are universal collector electric motors used in shearing machines. The stable and reliable operation of these motors directly depends on the stability of the solar photovoltaic system. Since the capacities of the solar photovoltaic installation and electric motors are equal, risks such as engine overturning, inability to start, or unstable operation may occur during transients. Such phenomena can lead to an interruption of the shearing process or a decrease in the efficiency of the system as a whole.

In this regard, the article comprehensively examines the operating modes of universal collector electric motors, theoretical and experimental studies of their transient modes are carried out. A mathematical model of a universal collector electric machine has been developed, simulation models have been developed and analyzed in the MATLAB/Simulink software environment. During the study of the system, the features of engine start-up, response to load changes, as well as dynamic characteristics in constant and transient modes were analyzed.

As a result of the study, oscillograms of transient processes during the connection of shearing machines in different sequences were obtained and their characteristics were studied. The simulation results are compared with experimental data and their mutual agreement is verified. The results obtained make it possible to optimize the system of sustainable energy supply to remote mobile shearing stations and determine the effective operating modes of universal collector engines.

Key words: agriculture, mobile shearing station, power supply system, solar photovoltaic plant, universal collector electric motors, MatLab/Simulink.

МРНТИ 68.85.81

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2025/53>

*П.Жунисбеков¹, М.С.Ундирбаев*¹, М.Т.Жетпейсов¹, Б.Б.Курбаналиев¹,
Р.К.Черикбаев¹, У Байназаров²*

¹НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет»,
город Алматы, Казахстан, polatbek@rambler.ru, makulbek-kz@mail.ru*, mizam-z@mail.ru, bkurbanaliev@mail.ru, rahat_03.1980@mail.ru

²НАО «Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации»,
город Тараз, Казахстан, ua.bajnazarov@dulaty.kz

ТЕОРИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН КАК ТИПОВОЕ ЗВЕНО СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация

В статье представлены результаты исследований машино-тракторных агрегатов с системой автоматического регулирования на базе хозяйства ОПХ «Каскеленский», Агропарк «Оңтүстік».

Актуальность исследования. Предложен метод исследования транспортно-технологической машины на основе исследования профессора Жунисбекова П. (Новый метод исследования МТА как типовые звенья) как типовые звенья линейной системы. В соответствии с особенностями линейных систем исследовали переходную функцию. Каждое типовое звено имеет свою отличающуюся от других звеньев особенную переходную функцию, своеобразный «*отпечаток пальца*». По результатам исследования обосновали тип звена.

Цель научного исследования заключалась в проведении теоретических и экспериментальных исследований транспортно-технологической машины как типовое звено линейной системы, испытание и оценка эффективности применения транспортно-

технологической машины (посевного агрегата), оснащенной системой параллельного вождения.

Методология исследования включала проведение экспериментальной части в соответствии с актуальными стандартами СН РК и ГОСТ, с использованием методов планирования и анализа экспериментов.

Основные результаты. Обосновали метод исследования МТА, расчленением его на типовые звенья линейной системы, исследуя переходную функцию звена-орудия как своеобразного «отпечатка пальца» звена. Сравнив этот процесс, с переходными характеристиками, определили тип звена. В равновесном и устойчивом состоянии работы их рабочих органов, соответствуют по переходному процессу (характеристике) инерционному аperiodическому звену первого порядка. Поэтому, в математическом описании вместо сложных и плохо переваримых дифференциальных уравнений, можно ограничиться дифференциальными уравнениями первого или второго порядка непосредственно связанных с конструктивными параметрами устройства.

Выводы по исследовательской работе. Транспортно-технологические машины в нормальных режимах работы относятся к инерционному аperiodическому звену первого порядка. Приведены материалы об эффективности транспортно-технологической машины (посевного агрегата) с системой автоматического управления (САУ). Основной эффект достигается от того, что более 90% времени оператора освобождается от необходимости управления агрегатом, на ряду с этим повышается производительность, повышается коэффициент использования площади поля минимизацией ширины стыкового междурудья.

Ключевые слова: Автоматическое вождение, САУ, параллельное вождение, транспортные, транспортно-технологические машины, типовые звенья.

Введение

Машинотракторные агрегаты (МТА) относятся к транспортным средствам, которые движутся и выполняют разные технологические операции (вспашку, уборку, посев, культивацию, внесение удобрений и т.д.). У этих транспортно-технологических машин широкое применение нашли системы автоматического и полуавтоматического (параллельного) вождения. Здесь управляют траекторией движения одной точки, например, точки установки антенны САУ. При этом предполагают, что остальные элементы транспортно-технологической машины, особенно рабочие органы орудий движутся по такой же траектории, что точка установки антенны [1].

В известных теориях транспортно-технологические машины исследуются методами механики, применением сложных для переваривания дифференциальных уравнений и преобразований Лапласа.

Предлагается исследовать транспортную и транспортно-технологическую машину как элемент САУ, в виде типового звена. Подобный подход способствует математическому описанию их дифференциальными уравнениями первого или второго порядка. Передаточные функции этих устройств также имеют первый или второй порядок, причем коэффициенты, входящие в выражения для передаточных функций, непосредственно связаны с конструктивными параметрами МТА.

Системы автоматического вождения (САУ) транспортно-технологических машин (машинотракторных агрегатов - МТА) предназначены для облегчения работы оператора-тракториста, а в перспективе — для автоматического вождения МТА, а также создания возможности оператору одновременно управлять несколькими МТА. Актуальность разработки таких систем обусловлена в первую очередь тем, что при работе на повышенных скоростях оператор-тракторист быстро устает, и его способность соблюдать все агротехнические требования снижается.

При работе механизатору нужно ввести на дисплей, системы параллельного движения, ширину захвата и зафиксировать координаты начала движения. В режиме ручного управления осуществляем первый проход агрегата, с точки А к точке В (рис.1а), отмечаем завершение

первого прохода. Прибор самостоятельно проанализирует данные, выстроит параллельные линии и выведет на монитор указатель курса (рис.1б). При появлении препятствий С, оператор вручную осуществляет объезд препятствия, прибор самостоятельно выстроит параллельные линии, с учетом траектории объезда.

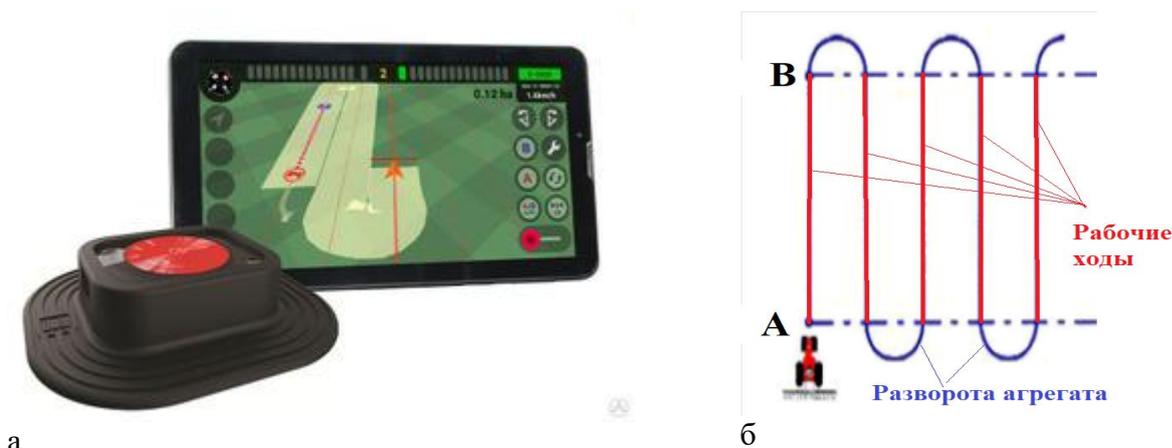


Рисунок 1. Монитор и антенна системы параллельного движения
(а) схема движения агрегатов, (б) от А до В рабочие ходы (красные линии), развороты (синие линии).

В автоматическом режиме работы (рис.1б), транспортно-технологическая машина или агрегат под управлением САУ производит АВ-рабочий ход (красные линии) и повороты (синие линии) на поворотной полосе и входит на следующий АВ-рабочий ход (красные линии) и т.д. В ручном и полуавтоматическом режимах оператор осуществляет поворот агрегата вручную.

Уравнение движения транспортно-технологической машины или машинотракторного агрегата (МТА) как объект управления описывается системой сложных нелинейных дифференциальных уравнений. Они трудно переваримые и сложные.

В качестве ведущей точки агрегата при автоматическом вождении чаще принимают середину передней оси трактора (точка, где установлена GPS/GLONASS-антенна) или точка на кабине трактора.

Методика исследований

Метод исследования транспортно-технологических машин (машинотракторных агрегатов) как типовые звенья системы автоматического регулирования.

Профессором Жунисбековым П. в статье «Новый метод исследования машинотракторных агрегатов как типовые звенья» [2] предложил метод изучения. Здесь исследуется МТА, как типовые звенья линейной системы. При этом трактор является ведущим звеном, а сельхозмашина рассматривается как ведомое звено, связанные между собой через шарнир С точки прицепа (рис.2).

Управляет САУ траекторией движения одной точки. Например, точка установки антенны О (рис.2). При этом предполагают, что остальные точки МТА, особенно рабочие органы орудий движутся по такой же траектории. В действительности остальные точки движутся по своим траекториям.

В зависимости от принятой системой координат $y(x)$ или $y(t)$, уравнение движения управляемой точки О имеет вид:

$$y_o = y_o(t) \text{ или } y_o = y_o(t), \quad (1)$$

где $y_o(t)$ и $y_o(t)$ – уравнение движения управляемой точки О (рис.2);

Действительную траекторию движения других точек А, В, С, Д, Л агрегата можно рассчитать известными методами, относительно траектории точки О, задаваемый САУ.

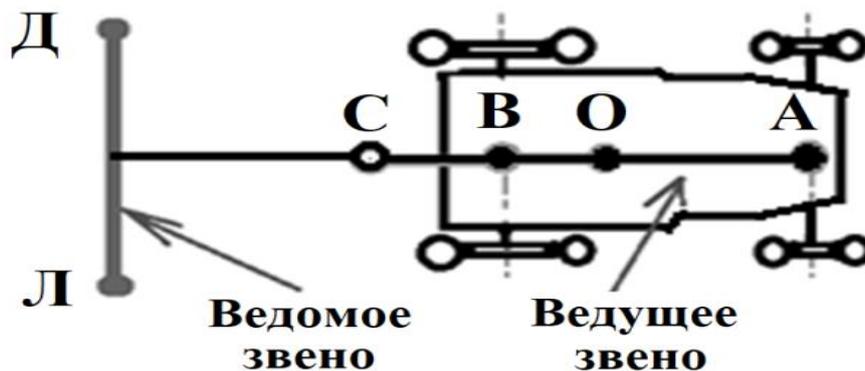


Рисунок 2. Схемы двух (а) и трех звенных (в) транспортно-технологической машины (посевных МТА) с трактором (ведущее звено) и сеялкой (ведомое звено), с перпендикулярными расположениями ДЛ рядами рабочих органов О-точка расположения антенны САУ на тракторе, А центры переднего и В заднего осей этого трактора, С-шарнир точки прицепа, Л и Д – крайние посевные секции сеялки.

В автоматике динамическим может быть не само звено, а лишь процесс, происходящий в нем. Поэтому, под *типовыми динамическими звеньями* подразумеваются разные динамические характеристики звеньев. Звенья могут работать как в статическом (стационарном), так и в динамическом режимах.

К основным типовым звеньям относятся:

- безинерционное звено — звено нулевого порядка (усилительное звено);
- инерционное звено первого порядка или апериодическое звено первого порядка;
- интегрирующее звено — звено первого порядка;
- дифференцирующее звено — звено первого порядка;
- колебательное звено — звено второго порядка;
- стабилизирующее звено.

Приведены на рис.3 переходные характеристики и передаточные функции типовых звеньев. Соотношение входных и выходных сигналов в звеньях одной группы описываются одинаковыми передаточными функциями.

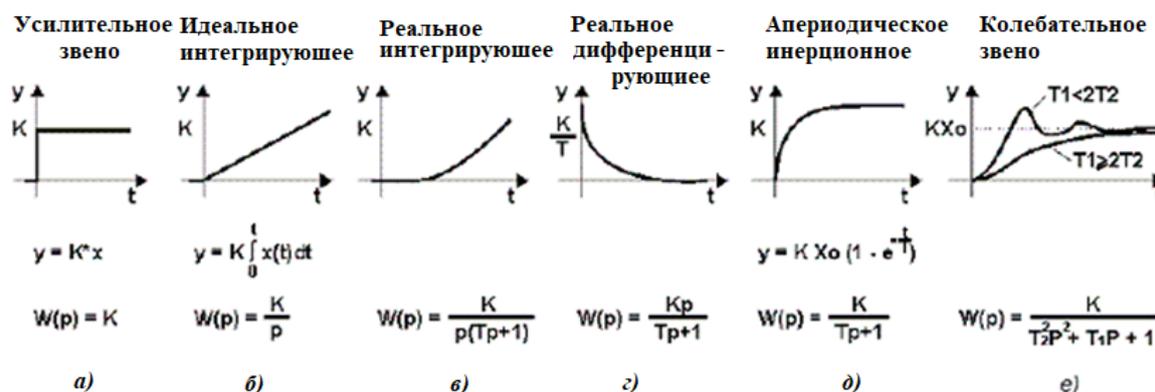


Рисунок 3. Переходные характеристики и передаточные функции типовых звеньев а-усилительного, б-идеально интегрирующего, в-реально интегрирующего, г-реально дифференцирующего, д-апериодически инерционного и е-колебательного звеньев.

Для определения, к какому типовому звену относятся ведомые звенья (орудия) транспортно-технологической машины, мы исследуем их переходный процесс (функцию). Переходная функция $h(t)$ это реакция, отклик звена на ступенчатое единичное воздействие

$I_0(t)$. Так как переходная функция это своеобразный «отпечаток пальца» звена – каждое звено имеет свою отличающуюся от других звеньев особенную функцию. Виды переходных функций, по которым можно определить тип и параметры звена приведены на рис.3.

В транспортно-технологической машине ведущими звеньями являются трактора (рис.2), а орудия - ведомым звеном. Траектория точки О, место установки антенны, управляется системой автоматического регулирования (САУ). А, траектория движения точек прицепа С или мгновенных центров вращения C_0 являются возмещающими воздействиями на ведомые звена МТА, на сеялку (рис.2).

Как звенья, друг от друга, орудия в рабочем положении отличаются конструкцией расположения опорных колес. У одних они (колеса) являются несущими и направляющими, у других несущими и самоустанавливающимися, а у других они отсутствуют. Мы свели эти агрегаты в две группы. В первой группе орудия с опорно-направляющими колесами, где колеса поддерживают и определяют направления их движения (сеялки, разбрасыватели, культиваторы и т.д.). К другой группе сведены орудия, которые в рабочем положении опираются на самоустанавливающиеся опорные колеса (дисковые бороны и др.). Сюда включены орудия, которые в рабочем положении не опираются на колеса.

На рис.4а показана схема звена при отклонении точки прицепа С, прицепного орудия, на единичную функцию или дельта функция $\delta(x)$.

$$\delta(x)=\begin{cases} +\infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где, $\delta(x)=1$, при $x \geq 0$ или $\delta(x)=0$, при $x \leq 0$.

В нормальных условиях эксплуатации МТА, когда боковые силы $R_{бок1}$ и $R_{бок2}$ (рис.4а,в) орудия уравнивали друг друга, тогда при движении точки С прицепа по направлению скорости v и координаты x или t , точка Д, центр ряда рабочих органов орудия (сеялки), асимптотически приближается к линии движения точки С.

Проектируются эти орудия, так чтобы при работе, боковые силы $R_{бок1}$ и $R_{бок2}$ уравнивают друг друга. Этим обеспечивается устойчивость движения. Например, в дисковых боролах устанавливаются секции парами, а в плугах имеются полевые доски, уравнивающие силы, действующие на отвалы и т.д.

Графоаналитический метод определения траектории переходного процесса транспортно-технологической машины.

При сообщении единичного толчка точке С звена, от оси x до точки C_0 (рис.4г). Траектория переходного процесса начинают строить с начальной позиции звена D_0C_0 . Отмечаем начальную точку D_0 (рис.4г). Перемещая точку С на элементарную величину Δc (чем меньше Δc), до точки C_1 определяем положение точки D_1 .

Где

$$\Delta c = C_1 - C_0. \quad (3)$$

Аналогичным образом, определяя положение точек C_i отмечаем положения точек D_i (рис.4г).

Переходный процесс звена-орудия приведен линией в рис.4г. Переходный процесс звена при $k=1$ и длине звена $L=1.2$ м.

Сравнив этот процесс с переходными характеристиками (рис.2д) определили тип типового звена.

Ведомое звено (сеялка) - транспортно-технологической машины или посевного МТА (рис.2), при равновесном состоянии их рабочих органов, соответствуют по переходному процессу (характеристике) **инерционному апериодическому звену первого порядка**. Переходный процесс аппроксимируется экспоненциальной функцией, асимптотически стремящейся к линии движения точки прицепа С.

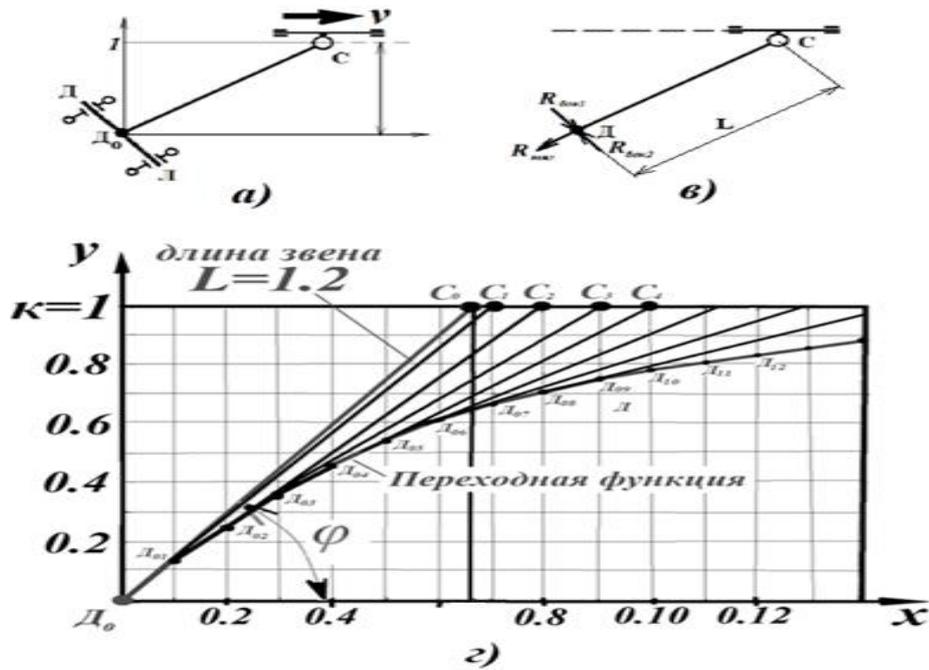


Рисунок 4. Ведомые звена МТА и график переходного процесса при действии единичной ступенчатой функции

а-звено с опорными колесами (сеялка и др.), в-звено без колес или с самоустанавливающимися колесами (почвообрабатывающие и др. агрегаты), г-график переходной функции при воздействии единичной ступенчатой функции. Где, k - коэффициент передачи, $L=1,2$ длина звена, расположения точек С и Д колес звена в момент начала переходного процесса, Д – точка расположения заднего колеса в начале координат ХДУ, С-точка расположения переднего колеса до сообщения единичного толчка, а C_0 – точка расположения переднего колеса после сообщения единичного толчка.

Апериодическое звено первого порядка (инерционное звено первого порядка) описывается, дифференциальным уравнением первого порядка. Выполнив над этим уравнением преобразование Лапласа получим передаточную функцию звена и др.

При подаче на вход инерционного звена скачкообразного сигнала его выходная величина повторяет изменение входной величины с запаздыванием. Этим объясняется название звена.

Предельное значение переходной характеристики равно $k=1$. А касательная к ней в точке $x = 0$ пересекается с линией установившегося значения при $x = T$. Переходная и импульсная характеристики выходят на установившееся значение (с ошибкой не более 5%) примерно за время $3T$. Эти факты позволяют определять постоянную времени экспериментально, по переходной характеристике звена.

Видно, что при увеличении T выходная величина звена $y(x)$ медленнее достигает установившегося значения, равного k , т.е. постоянная времени T характеризует инерционность звена, и определяет путь x или время переходного процесса t_p . В практических расчетах t_p для аperiodического звена первого порядка принимают приближенно равным $3 \times T$.

В соответствии с этим в практике чем больше длина звена L (рис.4в) тем длиннее переходный процесс, тем хуже управляется орудие.

Большое практическое значение имеет амплитудно-фазовая частотная характеристика звена орудия МТА. АФХ этого звена имеет вид:

$$W(i\omega) = \frac{k}{T_0(i\omega) + 1} \quad (5)$$

Для записи вектора АФХ в виде проекций на действительную и мнимую ось производят преобразования и изменяя частоту ω от 0 до ∞ можно построить на комплексной плоскости

годограф (график вектора АФХ), представляющий из себя полуокружность (рис.5), которая располагается в четвертом квадранте комплексной плоскости. Диаметр полуокружности равен коэффициенту k .

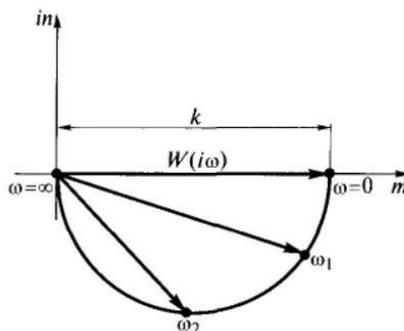


Рисунок 5 - Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФХ) орудия как аperiodическое звено
 k -коэффициент усиления, ω -частота колебании.

Из амплитудно-фазовой частотной характеристики видно (рис.5), что колебания малых частот ($<1/T$) «пропускаются» данным орудием-звеном МТА с отношением амплитуд выходной и входной величин, близким к статическому коэффициенту передачи звена k . Колебания больших частот ($>1/T$) проходят с сильным ослаблением амплитуды, т. е. «плохо пропускаются» или практически совсем «не пропускаются» звеном. Чем меньше постоянная времени T , т. е. чем меньше инерционность звена-орудия, тем более вытянута амплитудная характеристика A вдоль оси частот, или, как говорят, тем шире полоса пропускания частот у данного орудия.

К оценке эффективности применения САУ в посевном агрегате

В агрегатах для дифференциального внесения минеральных удобрений экономичность оценивают по экономии расхода удобрений [8]. По нашему мнению, аналогичный подход в оценке эффективности следует применять для оценки эффективности автоматизированной системы посевных агрегатов, из-за увеличения урожайности из-за уменьшения непосеянной площади или пересева в стыковых междурядьях.

След крайнего сошника агрегата от предыдущего прохода и со следом следующего прохода могут приближаться и отдаляться, иногда они пересекаются. При применении маркеров, из-за исключения перекрытия стыкового междурядья, незначительно увеличивается ширина этого междурядья. При сближении этих следов ближе рядка происходит пересев, а при отделении на величину больше чем ширина рядка - недосев. Эти колебания формируют ширину стыкового междурядья агрегата. Задача САУ, поддержание ширины захвата этого междурядья ближе к ширине захвата рядка, но не меньше этой ширины.

Повышение урожайности от посева сеялкой агрегата с САУ, в случаях приближения ширины стыкового междурядья по сравнению с посевом агрегата с маркером. Для этого определяем дополнительно засеянную площадь $S_{дон}$ в стыковом междурядье, в долях %:

$$S_{дон}, \% = 100 * (m_{маркер} - m_{АСУ}) / B_{агрег}, \% \tag{6}$$

где, $m_{маркер}$, $m_{АСУ}$ - среднее отклонение следов крайних сошников сеялки;

$B_{агрег}$ –ширина захвата посевного агрегата.

В случае $m_{маркер} > m_{АСУ}$ получаем дополнительную площадь, из-за повышения коэффициента использования площади.

А, в случае $m_{маркер} < m_{АСУ}$ наблюдается что агрегат с маркером работает с нарушением технологии посева, с большими перекрытиями в стыковом междурядье.

Повышение урожайности рассчитываем выражением:

$$Y_{дон}, \% = Y * S_{дон}, m/га,$$

где, U - урожайность, т/га.

Эффективность посева агрегатом САУ определяется выражением:

$$C_{\text{эфф.тг}} = c_0 * U * S_{\text{дон}}, \text{ тг/га}, \quad (7)$$

где, c_0 – цена 1 тонны урожая, тг/т.

Результаты и обсуждение

Полевые испытания посевного машинно-тракторного агрегатов проводились в ОПХ «Каскеленский», Агропарк «Оңтүстік». Испытания проводились с целью определения функциональных показателей с применением оборудования для систем точного земледелия при посеве. Испытывались новые рекомендуемые машины для перспективных технологий возделывания пшеницы, ячменя, сои и кукурузы.

На машинно-тракторном агрегате было установлено оборудование для параллельного вождения.

Испытывали посевной комплекс SAKALAK SKPMB (Турция) - пневматическая навесная сеялка точного высева для пропашных культур, с шириной захвата 5,6м

Полевые испытания проводились 13 июня 2020 г., на светло-каштановой почве среднесуглинистого механического состава. Агрегат выполнял посев кукурузы после предшествующей операции дискования.



Рисунок 6 - Сеялка SAKALAKSKPMB-8 в работе

Состав агрегата: Трактор YTO LX 954 производства КНР (YTO Group Corporation), тяговый класс 1,4, мощность двигателя 90 л.с. с сеялкой SAKALAKSKPMB (Турция) пневматическая навесная сеялка точного высева для пропашных культур, ширина захвата 5,6 м (см. рисунок 6).

Показатели посева семян соответствуют описанию сеялки. Фактическая глубина посева соответствовала установочной, со средним значением по опыту 4,9 см. Интервал между семенами сопоставимы с установочным значениям и средним по опыту – 10,1 см. Количество семян средним 9,3 шт на погонный метр. Функциональные показатели находилась в пределах допустимых агротребованиями. Гребнистость поверхности поля после прохождения машины составляла $\pm 2,7$ см.

Эффективность применения автоматизированной системы

В агрегатах для дифференциального внесения минеральных удобрений экономичность оценивают по экономии расхода удобрений [8]. По нашему мнению, аналогичный подход в оценке эффективности следует применять для оценки эффективности автоматизированной системы посевных агрегатов, из-за повышения точности стыковых междурядий, повышением коэффициента использования площади.

При испытании агрегат выполнял посев кукурузы в составе агрегата с трактором УТО LX 954 производства КНР (Dongfeng), тяговый класс 1,4, мощность двигателя 90л.с. с сеялкой SAKALAK SKPMB –Турция (пневматическая навесная сеялка точного высева для пропашных культур), с шириной захвата 5,6м. В результате замеров установлено, что при использовании оборудования для параллельного вождения при скорости агрегата 7км/ч среднее отклонение от траектории предыдущего прохода с автоматическим вождением составляют 1,7см, а при работе с маркером 6,3 см, то есть разница составляет 4,6 см или 0,046м [8].

Тогда, дополнительная площадь $S_{доп}$ (в %) засеянная сеялкой с применением автоматического параллельного вождения **при скорости 7 км/ч** составляет:

$$S_{доп}, \% = 100 * (m_{маркер} - m_{А.С}) / V_{агрег}, \% = 100 * 0,046 / 5,6 = 0,82\%$$

А при скорости агрегата 9 км/ч отклонения составляют соответственно 1,4см и 4,8см, и дополнительная площадь $S_{доп}$ (в %) засеянная сеялкой составляет

$$S_{доп}, \% = 100 * (m_{маркер} - m_{А.С}) / V_{агрег}, \% = 100 * 0,036 / 5,6 = 0,64\%$$

Экономическая эффективность автоматического параллельного вождения на 1га рассчитаем выражениями:

$$C_{эфф.тг} = c_0 * Y * S_{доп}, тг/га,$$

$$C_{эфф.т} = Y * S_{доп}, т/га,$$

где c_0 – цена 1т урожая, тг/т,

Y – урожайность, т/га.

А при скорости агрегата 7км/ч:

$$C_{эфф.тг} = c_0 * Y * S_{доп}, = 10000 * 70 * 0,0082 = 5740 \text{ тг/га},$$

$$C_{эфф.т} = Y * S_{доп}, = 70 * 0,0082 = 0,574 \text{ т/га}.$$

Для 9км/ч:

$$C_{эфф.тг} = c_0 * Y * S_{доп}, = 10000 * 70 * 0,0064 = 4480 \text{ тг/га},$$

$$C_{эфф.т} = Y * S_{доп}, = 70 * 0,0064 = 0,448 \text{ т/га}.$$

В условиях проведения испытаний посевного агрегата кукурузы, с трактором УТО LX 954 и с сеялкой SAKALAK SKPMB, экономический эффект от применения автоматической (параллельной) системы вождения составили от 4480 до 5740 тг/га или от 0,448 до 0,574 т/га.

Управляемой точкой агрегата при автоматическом вождении является точка О установки антенны (рис.2), а контролируемой точкой является место расположения рабочего органа Д и Л. Корреляция движения управляемой точки О агрегата с контролируемыми точками Д и Л обратно пропорционально величинам плеч ОД или ОЛ. Чем дальше расположены точки О и Д или Л, тем труднее управлять траекторией рабочего органа Д или Л автоматическим управлением точкой О расположения антенны САУ.

Качество поддержания траектории точек Д и Д₀, в заданных агротребованиями пределах, усложняется увеличение плеч ОД или ОД₀, особенно когда увеличиваются число сельхозмашин или количество элементов в звене (фиг.3в). Для уточнения этих результатов следуют провести теоретические и экспериментальные исследования агрегатов с параллельным вождением многомашинных агрегатов (фиг.3в)

Выводы

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что орудия МТА, в нормальных условиях работы, соответствуют по переходном процессу и относятся к инерционному аperiодическому типовому звену первого порядка.

Подобный подход к МТА способствует математическому описанию их дифференциальными уравнениями первого или второго порядка. Передаточные функции этих устройств также имеют первый или второй порядок, причем коэффициенты, входящие в выражения для передаточных функций, непосредственно связаны с конструктивными параметрами МТА.

Из амплитудной характеристики следует, что колебания малых частот ($<1/T$) «пропускаются» орудием-звеном МТА с отношением амплитуд выходной и входной величин, близким к статическому коэффициенту передачи звена k .

Колебания больших частот ($>1/T$) проходят с сильным ослаблением амплитуды, т. е. «плохо пропускаются» или практически совсем «не пропускаются» звеном. Чем меньше постоянная времени T , т. е. чем меньше инерционность звена-орудия, тем более вытянута амплитудная характеристика A вдоль оси частот, или, как говорят, тем шире полоса пропускания частот у данного орудия.

Проведенные исследования показали, что применение в транспортно-технологической машине (посевном агрегате) системы параллельного вождения с подруливающим устройством способствует тому, что 90% времени оператор-тракторист не касается руля (при движениях от точек А до В, красные линии, рис.1б) или освобождаясь от руления и спокойно следит за другими показателями агрегата.

Список литературы

- 1.Рзалиев А.С. *Автопилотирование и параллельное вождение МТА*. Ізденістер, нәтижелер – Исследование, результаты №3(87) ISSN 2304-3334, 2020 г
- 2.Жунибеков П. Новый метод исследования машинотракторных агрегатов как типовые звенья. Ізденістер, нәтижелер – Исследование, результаты №4(88), 2020 г
- 3.В.И. Балабанов, А.И. Беленков, Е.В. Березовский, В.В. Егоров, С.В. Железова. Пособие: "Навигационные технологии в сельском хозяйстве". Нивы Зауралья №7 (129) Август 2015.
- 4.Основные типовые звенья САР.
https://studme.org/183422/tehnika/osnovnye_tipovye_zvenya
- 5 Рзалиев А.С. и др. Исследование машинотракторных агрегатов как типовые звенья. **IX международный научный конгресс машины для сельского хозяйства 2021 23-26 июня 2021, ВАРНА, БОЛГАРИЯ.** <http://www.agrimachinery.net/sbornik/2021.pdf>.
- 6 Жунибеков П.Ж. и др. Точное земледелие и вождение МТА системами GPS и ГЛОНАС. Сборник материалов. Международная конференция «Достижения и перспективы развития земледелия и растениеводства», КазНИИ земледелия и растениеводства. Алмалыбак, 2019.
- 7.Nurzhan D. Transients Machines by a Factor of Delayed Feedback $K>1$. Research Journal of Applied Sciences 10 (2): 70-74, 2015 ISSN: 1815-932X © Medwell Journals, 2015
- 8.Тест-драйв системы автоматического вождения AgLeader. <http://polymya-agro.by/news/test-drayv-sistemy-avtomaticheskogo-vozhdeniya-agleader/>
- 9.Отчет ТОО «НПЦАИ» о научно-исследовательской работе за 2018-2020 г.г. по теме: Разработать и внедрить автоматизированные системы управления агротехнологиями в системах точного земледелия.
10. Система автоматического рулевого управления. Системы параллельного и автоматического вождения. <https://agroserver.ru/articles/3428.htm>
11. В.И. Балабанов, А.И. Беленков, Е.В. Березовский. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. Учебное пособие /: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; Москва; 2013
12. Иванов Д. П. "ГЛОНАСС и GPS в аграрном секторе" – Санкт-Петербург: Наука, 2019.
- 13.Петров С. А., Сидоров В. Г. "Основы автоматизированного управления сельхозмашинами" – Екатеринбург: Уральский университет, 2021.
14. Смирнов Н. В. "Моделирование переходных процессов в системах управления" – Новосибирск: Техносфера, 2018.
15. Журнал "АгроТехника XXI век", выпуски 2020-2023 гг.
16. Беляев В. А. "Системы управления сельскохозяйственной техникой" – Москва: Агропромиздат, 2020.

17. Кузнецов Ю. М. "Методы исследования транспортно-технологических машин" – Казань: Издательство КФУ, 2022.

18. Соловьев А. И. "Автоматизация управления сельскохозяйственной техникой" – Ростов-на-Дону: Донской университет, 2020.

References

1 Rzaliev A.S. Avtopilotirovanie i parallel'noe vozhdenie MTA. Izdenister, nәtizheler – Issledovanie, rezul'taty №3(87) ISSN 2304-3334, 2020 g

2 ZHunisbekov P. Novyj metod issledovaniya mashinotraktornykh agregatov kak tipovye zven'ya. Izdenister, nәtizheler – Issledovanie, rezul'taty №4(88), 2020 g

3 V.I. Balabanov, A.I. Belenkov, E.V. Berezovskij, V.V. Egorov, S.V. ZHelezova. Posobie: "Navigatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyajstve". Nivy Zaural'ya №7 (129) Avgust 2015.

4 Osnovnye tipovye zven'ya SAR. https://studme.org/183422/tehnika/osnovnye_tipovye_zvenya

5 Rzaliev A.S. i dr. Issledovanie mashinotraktornykh agregatov kak tipovye zven'ya. IX mezhdunarodnyj nauchnyj kongress mashiny dlya sel'skogo khozyajstva 2021 23-26 iyunya 2021, VARNA, BOLGARIYA. <http://www.agrimachinery.net/sbornik/2021.pdf>.

6 Zhunisbekov P.ZH. i dr. Tochnoe zemledelie i vozhdenie MTA sistemami GPS i GLONAS. Sbornik materialov. Mezhdunarodnaya konferentsiya «Dostizheniya i perspektivy razvitiya zemledeliya i rastenievodstva», KazNII zemledeliya i rastenievodstva. Almalybak, 2019

7 Nurzhan D. Transients Machines by a Factor of Delayed Feedback $K>1$. Research Journal of Applied Sciences 10 (2): 70-74, 2015 ISSN: 1815-932X © Medwell Journals, 2015

8 est-drajv sistemy avtomaticheskogo vozhdeniya AgLeader. <http://polymya-agro.by/news/test-drayv-sistemy-avtomaticheskogo-vozhdeniya-agleader/>

9 Otchet TOO «NPTSAI» o nauchno-issledovatel'skoj rabote za 2018-2020 g.g. po teme: Razrabotat' i vnedrit' avtomatizirovannye sistemy upravleniya agrotekhnologiyami v sistemakh tochnogo zemledeliya

10 Sistema avtomaticheskogo rulevogo upravleniya. Sistemy parallel'nogo i avtomaticheskogo vozhdeniya. <https://agroservers.ru/articles/3428.htm>

11 V.I. Balabanov, A.I. Belenkov, E.V. Berezovskij. Navigatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyajstve. Koordinatnoe zemledelie. Uchebnoe posobie /: RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva; Moskva; 2013

12 Ivanov D. P. "GLONASS i GPS v agrarnom sektore" – Sankt-Peterburg: Nauka, 2019

13 Petrov S. A., Sidorov V. G. "Osnovy avtomatizirovannogo upravleniya sel'khoz mashinami" – Ekaterinburg: Ural'skij universitet, 2021

14 Smirnov N. V. "Modelirovanie perekhodnykh protsessov v sistemakh upravleniya" – Novosibirsk: Tekhnosfera, 2018

15 ZHurnal "AgroTekhnika XXI vek", vypuski 2020-2023 gg

16 Belyaev V. A. "Sistemy upravleniya sel'skokhozyajstvennoj tekhnikoj" – Moskva: Agropromizdat, 2020

17 Kuznetsov YU. M. "Metody issledovaniya transportno-tekhnologicheskikh mashin" – Kazan': Izdatel'stvo KFU, 2022

18 Solov'ev A. I. "Avtomatizatsiya upravleniya sel'skokhozyajstvennoj tekhnikoj" – Ростов-на-Дону: Donskoj universitet, 2020

**Жунисбеков П¹, Ундирбаев М. С.*¹, Жетпейсов М. Т¹, Курбаналиев Б.Б¹,
Черикбаев Р.К.¹, Байназаров У.²**

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті КЕАҚ, Алматы қ.
polatbek@rambler.ru, makulbek-kz@mail.ru*, mizam-z@mail.ru, bkurbanaliev@mail.ru,
rahat_03.1980@mail.ru

²Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті КЕАҚ, Тараз қ.,
ua.bajazarov@dulaty.kz

АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТИПТІК БУЫНЫ РЕТІНДЕ КӨЛІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАР ТЕОРИЯСЫ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУІ

Аңдатпа

Мақалада "Қаскелең" ОӨШ, "Оңтүстік" агропаркі шаруашылығының базасында автоматты реттеу жүйесі бар машина-трактор агрегаттарын зерттеу нәтижелері келтірілген.

Зерттеудің өзектілігі. Профессор П.Жүнісбековтің (МТА-ны типтік буындар ретінде зерттеудің жаңа әдісі) сызықтық жүйенің типтік буындары ретінде зерттеу негізінде көлік-технологиялық машинаны зерттеу әдісі ұсынылды. Сызықтық жүйелердің ерекшеліктеріне сәйкес өтпелі функция зерттелді. Әрбір типтік сілтеменің басқа сілтемелерден ерекшеленетін ерекше өтпелі функциясы, өзіндік "саусақ ізі" бар. Зерттеу нәтижелері бойынша Сілтеме түрі негізделді.

Ғылыми зерттеудің мақсаты желілік жүйенің типтік буыны ретінде көлік-технологиялық машинаға теориялық және эксперименттік зерттеулер жүргізу, параллельді жүргізу жүйесімен жабдықталған көлік-технологиялық машинаны (егіс агрегатын) қолдану тиімділігін сынау және бағалау болды.

Зерттеу әдістемесі эксперименттерді жоспарлау және талдау әдістерін қолдана отырып, ҚР ҚН және МемСТ өзекті стандарттарына сәйкес эксперименттік бөлімді жүргізуді қамтыды.

Негізгі нәтижелер. МТА зерттеу әдісі оны сызықтық жүйенің типтік буындарына бөлу арқылы негізделді, сілтеменің өтпелі функциясын-зеңбіректі сілтеменің "саусақ ізі" ретінде зерттеді. Бұл процесті өтпелі сипаттамалармен салыстыра отырып, Сілтеме түрі анықталды. Тепе-теңдік және тұрақты жағдайда олардың жұмыс органдарының жұмысы өтпелі процесс (сипаттама) бойынша бірінші ретті инерциялық апериодтық буынға сәйкес келеді. Сондықтан, математикалық сипаттамада күрделі және нашар қорытылатын дифференциалдық теңдеулердің орнына бірінші немесе екінші ретті дифференциалдық теңдеулермен шектелуі мүмкін құрылғының құрылымдық параметрлерімен тікелей байланысты.

Зерттеу жұмысы бойынша қорытындылар. Көлік-технологиялық машиналар қалыпты жұмыс режимдерінде бірінші ретті инерциялық апериодтық буынға жатады. Автоматты басқару жүйесі бар көлік-технологиялық машинаның (егіс агрегатының) тиімділігі туралы материалдар келтірілген. Негізгі әсерге оператор уақытының 90% - дан астамы агрегатты басқару қажеттілігінен босатылатындығынан қол жеткізіледі, осының қатарында өнімділік артады, өріс аймағын пайдалану коэффициенті артады, түйіскен жолдың енін азайтады.

Кілт сөздер: Автоматты жүргізу, АБЖ, параллель жүргізу, көлік, көлік және технологиялық машиналар, типтік звенолар.

*P.Zhunisbekov, M.S.Undirbayev, M.T.Zhetpeisov, B.B.Kurbanaliev,
R.K.Cherikbaev, U.Baynazarov²*

¹*Kazakhstan National Agrarian Research University Kazakhstan, Almaty,
polatbek@rambler.ru, makulbek-kz@mail.ru*, mizam-z@mail.ru, bkurbanaliev@mail.ru,
rahat_03.1980@mail.ru*

²*Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz,
ua.bajnazarov@dulaty.kz*

THEORY AND RESEARCH OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AS A TYPICAL LINK OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Abstract

The article presents the results of research on machine-tractor units with an automatic control system on the basis of the Experimental production farm "Kaskelensky", Agropark "Ontustik". The relevance of research.

A method for studying a transport and technological machine is proposed based on the research of Professor P. Zhunisbekov (A new method for studying MTA as standard links) as typical links of a linear system. The transition function was investigated in accordance with the features of linear

systems. Each typical link has its own special transitional function, a kind of "fingerprint", which differs from other links.

Based on the results of the study, the type of link was justified. The purpose of the research was to conduct theoretical and experimental studies of a transport and technological machine as a typical link in a linear system, to test and evaluate the effectiveness of a transport and technological machine (seeding unit) equipped with a parallel driving system.

The research methodology included conducting the experimental part in accordance with the current standards of the National Assembly of the Republic of Kazakhstan and GOST, using planning and analysis of experiments.

The main results. The MTA research method was substantiated by dividing it into typical links of a linear system, examining the transitional function of the tool link as a kind of "fingerprint" of the link. Comparing this process with the transition characteristics, the type of link was determined. In an equilibrium and stable state of operation of their working bodies, they correspond in terms of a transient process (characteristic) to an inertial aperiodic link of the first order. Therefore, in the mathematical description, instead of complex and poorly digested differential equations, one can limit oneself to first- or second-order differential equations directly related to the design parameters of the device.

Conclusions of the research work. Transport and technological machines, in normal operating modes, belong to the inertial aperiodic link of the first order. Materials on the effectiveness of a transport and technological machine (seeding unit) with an automatic control system (ACS) are presented. The main effect is achieved from the fact that more than 90% of the operator's time is freed from the need to control the unit, along with increased productivity, increased field area utilization, minimizing the width of the butt aisle.

Keywords Automatic driving, automatic control system, parallel driving, transport, transport and technological machines, typical links.

МРНТИ 68.85.35

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2025/54>

Д.К. Абулхаиров¹, М.Т. Усербаев¹, И.К. Сагынганова^{2}*

¹ «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ,
Астана, Қазақстан, adk511@bk.ru, usermur@mail.ru

²Қазақстан Ұлттық жаратылыстану ғылымдары академиясы, Астана, Қазақстан,
kaznaen.rk@mail.ru*

ЖИНАУ-ТАСЫМАЛДАУ АГРЕГАТЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа

Мал шаруашылығы өнімдерінің бәсекеге қабілеттілігі көбінесе жем өндірісінің өзіндік құны мен рентабельділігіне байланысты. Ал ауылшаруашылық өнімдері мен ауылшаруашылық техникасының бағасының алшақтығы жағдайында жемшөп құны негізінен оларды өндіруде құрал-жабдықтарды пайдалану шығындарымен анықталады. Ауылшаруашылық өнімдерін алуға кететін шығындарды азайту техника ғылымына байланысты және бұл мәселені шешу бірліктердің өнімділігін (сағаттық өнім) күрт арттыру негізінде мүмкін болады.

Мақала шашыраңқы шөп дайындауға арналған машина кешенінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын жинау-тасымалдау агрегатының (ЖТА) жобалау мәселелеріне арналған. ЖТА бір контурлы жүйе ретінде қарастырылады, ол іріктеуші пен жинау камерасы бар жүк көтергіштің бірлескен жұмысы нәтижесінде қызмет етеді. Іріктеу, жүктеу және массаны жинау