

УДК 631.37

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА

Бортник Артем Валентинович
аспирант
E-mail: artembortnik@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., заведующий кафедрой технической эксплуатации транспорта
SPIN-код: 1831-7116
E-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Юхин Иван Александрович
д.т.н., заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики
SPIN-код: 9075-1341
E-mail: yuival@rambler.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ им П.А. Костычева, Рязань, Россия

Голиков Алексей Анатольевич
кандидат технических наук
E-mail: golikov.fsin@yandex.ru
Академии ФСИН России, Рязань, Россия

В настоящее время эффективность работы картофелеуборочных машин жестко регламентирована агротехническими требованиями, а транспортных средств нет. При перевозке главной причиной возникновения травм является взаимодействие клубней между собой, а так же с неупругими элементами машины (особенно при возникновении колебаний и вибрации кузова ТС вследствие передвижения по неровной поверхности). Если же применяется автотракторный поезд (однозвенный или многозвенный), то дополнительно речь идет о механической системе с самовозбуждающимися колебаниями или автоколебаниями. Учеными установлено, что для однозвенного автотракторного поезда в случае отсутствия внешнего воздействия и при постепенном увеличении эксплуатационной скорости транспортного средства, амплитуда поперечных горизонтальных колебаний стремится к максимальному значению и в дальнейшем прекращает рост (даже при дальнейшем повышении эксплуатационной скорости). Это позволяет создать теоретический задел для дальнейших конструкторских разработок (применение специальных стабилизирующих и

UDC 631.37

05.20.01 - Agricultural mechanization technologies and tools (technical sciences)

ANALYSIS OF THE RESULTS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STABILITY OF A TRACTOR TRAIN

Bortnik Artem Valentinovich
graduate student
E-mail: artembortnik@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., head of the department of technical operation of transport
RSCI SPIN-code 1831-7116
E-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Alexandrovich
Dr.Sci.Tech., head of the department of auto tractor equipment and heat power engineering
RSCI SPIN-code 9075-1341
E-mail: yuival@rambler.ru
Kostychev State Agrotechnological University, Ryazan, Russia

Golikov Alexey Anatolyevich
Cand.Tech.Sci., RSCI SPIN-code 8540-7098
E-mail: golikov.fsin@yandex.ru
Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russia

Currently, the efficiency of potato harvesters is strictly regulated by agricultural requirements, and there are no vehicles. During transportation, the main cause of injuries is the interaction of tubers with each other, as well as with inelastic elements of the car (especially when vibrations and vibrations of the vehicle body occur due to movement on an uneven surface). If an auto-tractor train is used (single-link or multi-link), then in addition we are talking about a mechanical system with self-exciting vibrations or self-oscillations. Scientists have found that for a single-link tractor train, in the absence of external influence and with a gradual increase in the operating speed of the vehicle, the amplitude of transverse horizontal vibrations tends to the maximum value and then stops growing (even with a further increase in the operating speed). This allows you to create a theoretical Foundation for further design developments (the use of special stabilizing and damping devices on the vehicle). The research presented in this article is devoted to the case when multi-link trains are used in on-farm transport, namely, the study of critical parameters that characterize the stability of the vehicle. As a result, it was found that the main criterion for the stability of a road train is the restriction of its traffic corridor

демпфирующих устройств на транспортном средстве). Исследования, представленные в данной статье, посвящены случаю, когда на внутрихозяйственных перевозках используются многозвенного поезда, а именно изучению критических параметров, характеризующих устойчивость ТС. В результате было установлено, что основным критерием устойчивости автопоезда является ограничение коридора его движения

Ключевые слова: ТРАВМИРОВАНИЕ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ, АВТОКОЛЕБАНИЯ, ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС, ПРИЦЕП, УСТОЙЧИВОСТЬ

Keywords: INJURY, AGRICULTURAL PRODUCTS, OSCILLATIONS, VEHICLE, HORIZONTAL OSCILLATION, SELF-OSCILLATING, TRAILER STABILITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-164-019>

Плавность хода считается одним из самых весомых показателей функционирования подвижного состава, характеризующим возможность длительного движения при постоянной скорости (из диапазона допустимых эксплуатационных скоростей) без травмирования перевозимого груза [1, 2].

На плавность хода транспортного средства влияет его резкое ускорение или торможение (особенно при трогании с места или остановке транспортного средства), а также колебания (вертикальные, продольные, горизонтальные или поперечные), вызванные перемещением по криволинейной поверхности [3, 4].

Отсутствие в нашей стране дорог удовлетворительного качества, а также постоянное стремление сельскохозяйственных производителей к повышению производительности выполняемых работ (в данном случае транспортных) ведет к росту эксплуатационных скоростей транспортных средств, а, следовательно, увеличения доли травмированной продукции (перевозимой в кузовах автотракторных поездов) [5, 6].

Согласно статистическим данным [6] общая структура перевозок сельскохозяйственных грузов в РФ следующим образом (табл. 1). Как видно из данных таблицы 1 то подавляющая доля сельскохозяйственной

<http://ej.kubagro.ru/2020/10/pdf/19.pdf>

продукции перевозится навалом или насыпью при помощи бортовых грузовых автомобилей (или грузовых автомобилей и дополнительно прицепов/ полуприцепов) и автотракторных поездов. При этом данный способ весьма чувствителен к дорожным условиям, а также эксплуатационным и техническим параметрам транспортных средств, осуществляющих перевозку.

Таблица 1 - Структура сельскохозяйственных грузов по способу перевозки

Способ перевозки	Ко всему объему перевозок, %
Навалом или насыпью	76
В т.ч. в специализированных кузовах	28
В таре	14
В том числе в специализированных кузовах	8
Мелкими партиями (масса единовременной отправки до 2 т)	4
Наливом	6

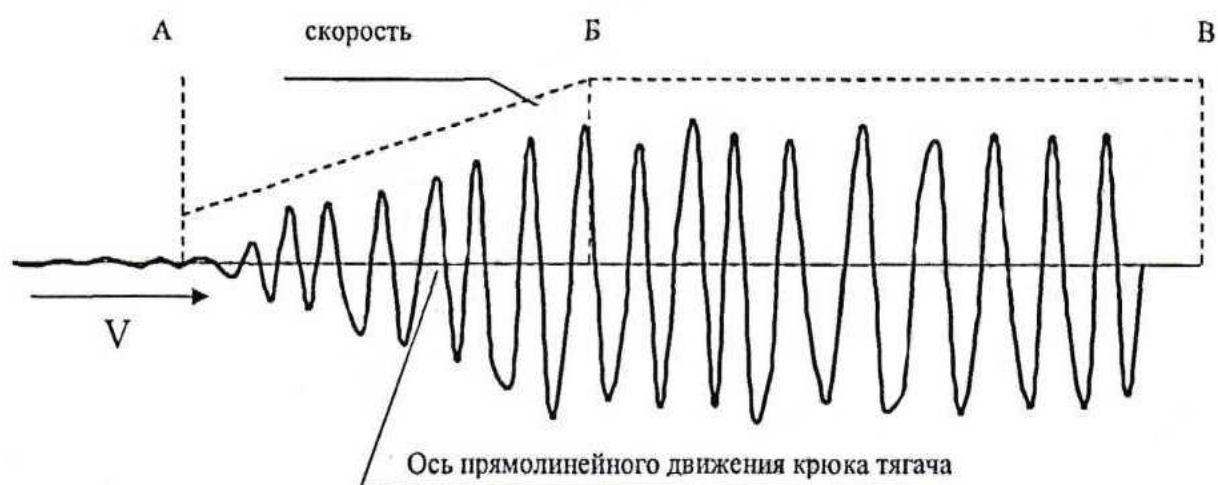
Из вышесказанного следует, что наиболее эффективным инструментом воздействия на снижение повреждений перевозимой сельскохозяйственной продукции является снижение амплитуды и частоты колебаний кузова автотракторного поезда, а, следовательно, требует подробного дальнейшего изучения [7].

Как правило, при оценке устойчивости автотракторных поездов (однозвенных и многозвенных) первостепенным критерием, характеризующим данное явление, выступает критическая скорость или в существующей трактовке – скорость, при которой возникает автоколебательный процесс.

Автоколебания представляют собой периодическое движение, возникающее вследствие собственных динамических свойств механической системы (а не вследствие воздействия внешних периодических воздействий) [8]. Исходя из результатов теоретических

исследований ученых [8, 9] собственные колебания подобных систем имеют предельный цикл, и как следствие максимальным значением амплитуды собственных колебаний.

Суть предельного цикла в условиях движения одноосного прицепа состоит в том, что при отсутствии внешних воздействий и постепенного роста скорости движения автопоезда, амплитуда поперечных горизонтальных колебаний, возникших на определенной скорости, достигает своего максимального значения и не увеличивается с дальнейшим ростом скорости движения [3]. В качестве примера приведем осциллограмму поперечных горизонтальных колебаний одноосного прицепа (рисунок 1) [8].

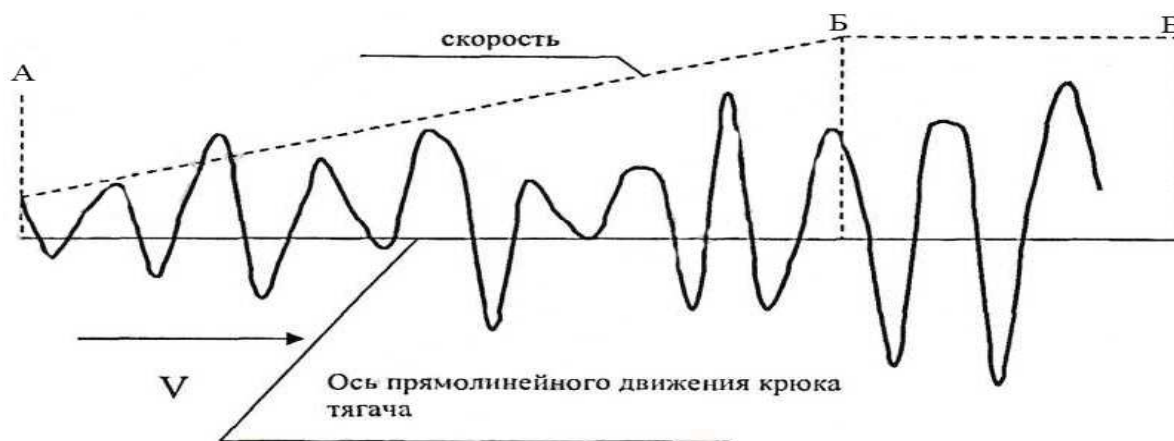


А - момент начала автоколебаний; Б - момент установления автоколебаний (предельный цикл); БВ - участок установленных колебаний при $V = \text{const}$.

Рисунок 1 – Поперечные горизонтальные колебания одноосного прицепа

При движении многозвенного автотракторного поезда наблюдается иная картина - с увеличением эксплуатационной скорости (из диапазона допустимых ее значений) наблюдается рост амплитуды колебаний его звеньев, а их наступление регистрируется практически с самого начала трогания транспортного средства с места [10].

Осциллограмма угловых отклонений кинематических звеньев замыкающего двухосного прицепа 2ПТС-4-793 многозвенного автотракторного поезда в данном случае выглядит следующим образом (рис. 2).



зона «А-Б» - увеличение амплитуды колебаний при увеличении скорости движения V ; зона «Б-В» - сохранение колебательного процесса $V=\text{const}$

Рисунок 2 – Угловые отклонения кинематических звеньев замыкающего двухосного прицепа 2ПТС-4-793

Изучив данные с рисунков 1 и 2 [8] отметим, что в первом случае отчетливо наблюдается наличие предельных значений амплитуды колебаний, т.е. очевидна контрастная картина динамики автоколебательных систем, во втором случае отсутствие таковых - отсутствие этой закономерности [11].

Рассмотрим схему фазовых траекторий (рис. 3), где по оси абсцисс отложены значения величины амплитуд колебаний X одноосного прицепа, а по оси ординат скорость этих колебаний X' [8].

Устойчивый предельный цикл (выделен красной линией) соответствует автоколебаниям системы, при соответствии воздействующей энергии ее расходу [8]. В данном случае для одноосного прицепа свойственно установление предельного цикла автоколебательного процесса независимо от величины начального отклонения от

прямолинейного движения. При этом если эта величина отклонения располагается внутри кривой предельного цикла (рис. 3) или вне ее, со временем в системе устанавливается баланс энергии и, следовательно, автоколебательный процесс.

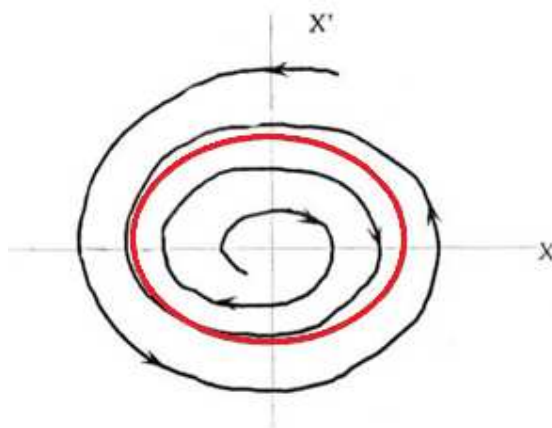


Рисунок 3 – Колебания систем с устойчивым предельным циклом
(автоколебательная система)

Совершенно иная закономерность наблюдается для систем с неустойчивым предельным циклом, от которого во внешнюю область удаляются спиралевидные фазовые траектории (рисунок 4) [8]. В данном случае увеличение скорости движения автопоезда ведет к росту колебаний, что характерно для систем с последовательным сочленением ее элементов.

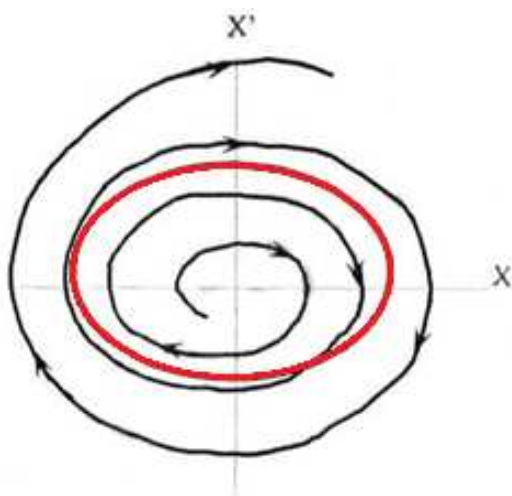


Рисунок 4 – Колебания систем с неустойчивым предельным циклом
(расходящийся процесс)

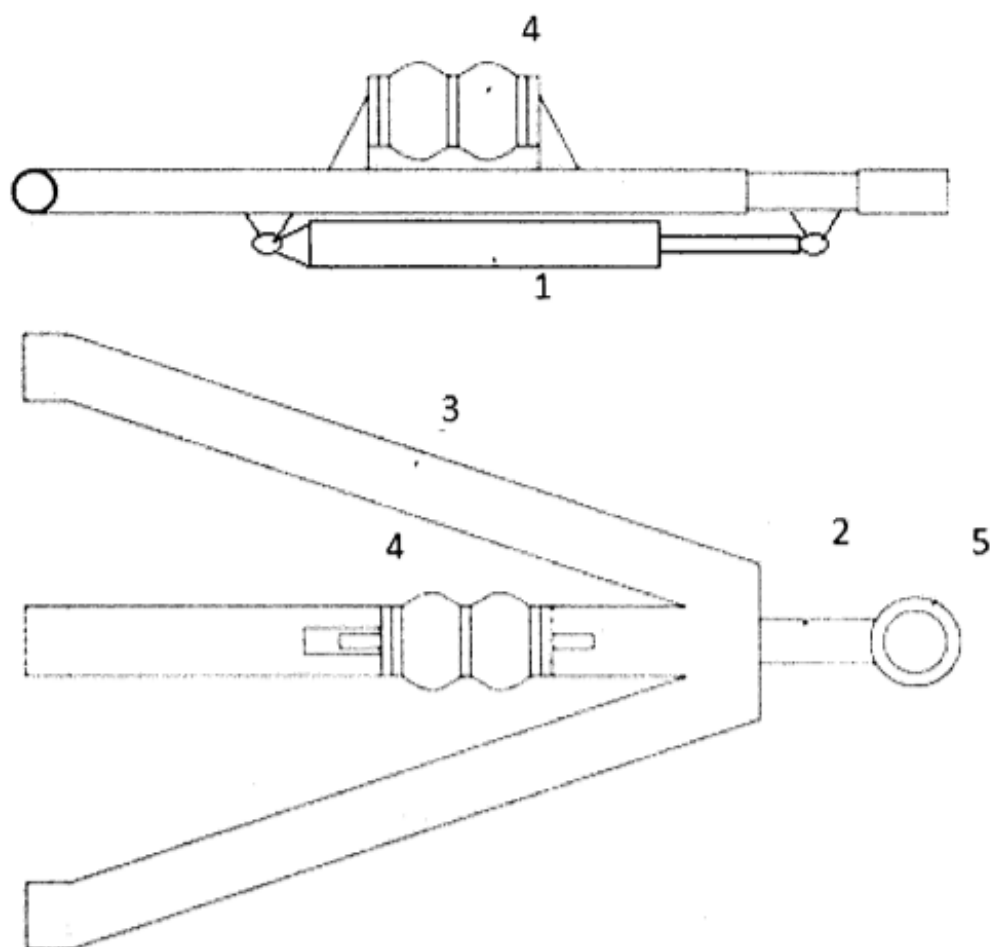
Для многозвенного автотракторного поезда свойственно то, что в большинстве звеньев поперечные горизонтальные колебания возникают под воздействием отклонений точки сцепки с предшествующим звеном. Из этого следует, что они являются вынужденными. При этом на амплитуду и частоту вынужденных колебаний оказывают влияние случайные возмущающие воздействия.

На основании проведенных теоретических исследований, возможно, установить следующее - многозвенный автотракторный поезд не имеет критической скорости (при существующей трактовке данного понятия). Из этого следует, что основным критерием устойчивости транспортного средства является ограничение диапазона допустимых эксплуатационных скоростей.

Из вышеописанного следует, что для достижения необходимой плавности хода тракторного поезда при движении по неровной поверхности (внутрихозяйственные перевозки плодоовощной продукции в основном осуществляются по грунтовым дорогам с различным уклоном) особое внимание должно уделяться скоростному режиму [12]. В противном случае, если стоит задача повышения производительности технологического процесса, требуется доработка отдельных узлов ТС (например, внедрение систем курсовой устойчивости или отдельных устройств стабилизации и т.д.).

К подобным устройствам можно отнести, например, тягово-сцепное устройство с пневмокомпенсатором колебаний (патент на полезную модель № 154410), представленное на рисунке 5. Предлагаемое устройство предназначено для расширения диапазона компенсации динамических нагрузок и стабилизации движения автотракторного прицепа.

В итоге имеем существенное повышение устойчивости автотракторного поезда и плавности его хода, а также снижении уровня повреждений продукции при транспортировке.



1 – гидроамортизатор; 2 – штоке; 3 – дышло; 4 – пневморессоры; 5 – петля.

Рисунок 5 – Общий вид устройства

Помимо представленного устройства существуют аналоги (например, патент № 2436700, № 77827 и прочие), способные повлиять в положительную сторону на тягово-сцепные свойства однозвенных и многозвенных автотракторных поездов и как следствие добиться снижения травмирования сельскохозяйственной продукции в процессе ее перевозки.

Список литературы

1. Заводнов А.В. Изыскание способов снижения повреждения клубней картофеля при транспортировке в контейнерах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Заводнов. – Москва, 2004. - 129 с.

2. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Рембалович Г.К. и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного

университета. 2013. № 88. С. 509-518.

3. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин / Сафиуллин Р.Н., Керимов М.А., Валеев Д.Х. - Санкт-Петербург: Изд. Лань, 2019. – 484 с.

4. К вопросу модернизации транспортных средств для АПК / И.А. Юхин [и др.] // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной конференции. – Саранск: Изд-во ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», 2014. – С. 181-187.

5. Проблемы и технические решения использования высокопроизводительной транспортной сельскохозяйственной техники / Попов А.С. и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. С. 949-974.

6. Юхин И.А. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Юхин. – Рязань, 2016. - 388 с.

7. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading / Byshov N.V. and other / В сборнике: Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies. 2018. С. 176-179.

8. Погорелов С.В. Повышение устойчивости прямолинейного движения тракторных поездов посредством использования тягово-сцепного устройства с регулятором курсового угла: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.В. Погорелов – Саратов, 2005. - 192 с.

9. Теодорчик, К.Ф. Автоколебательные системы [Текст] / К.Ф. Теодорчик. – М.: Гостехиздат, 1952. – 272 с.: ил.

10. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутрихозяйственных перевозках в АПК / Бортник А.В. и др. // Техника и оборудование для села. 2019. № 9 (267). С. 33-36.

11. Многосвязные автопоезда. Решение задач прямолинейной динамики с помощью имитационного моделирования / Горелов В.А., Падалкин Б.В., Чудаков О.И. – Москва: Изд. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2019. – 85 с.

12. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation / Byshov N.V. and other // ARPN Journ. of Engin. and Applied Scien. - 2018 - 10 - s. 3502-3508.

References

1. Zavodnov A.V. Izyskanie sposobov snizhenija povrezhdenija klubnej kartofelja pri transportirovke v kontejnerah: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01 / A.V. Zavodnov. – Moskva, 2004. - 129 s.

2. Povyshenie jekspluatacionno-tehnologicheskikh pokazatelej transportnoj i special'noj tehniki na uborke kartofelja / Rembalovich G.K. i dr. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 88. S. 509-518.

3. Konstrukcija, raschet i jekspluatacionnye svojstva transportnyh i transportno-tehnologicheskikh mashin / Safiullin R.N., Kerimov M.A., Valeev D.H. - Sankt-Peterburg: Izd. Lan', 2019. – 484 s.

4. K voprosu modernizacii transportnyh sredstv dlja APK / I.A. Juhin [i dr.] // Jenergojefektivnye i resursosberegajushhie tehnologii i sistemy: sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj konferencii. – Saransk: Izd-vo FGBOU VPO «MGU im. N.P. Ogarjova», 2014. – S. 181-187.

5. Problemy i tehicheskie reshenija ispol'zovanija vysokoproizvoditel'noj transportnoj sel'skohozjajstvennoj tehniki / Popov A.S. i dr. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 114. S. 949-974.

6. Juhin I.A. Snizhenie povrezhdenij kartofelja i jablok na vnutrihozjajstvennyh perevozkah stabilizaciej transportnyh sredstv: dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.20.01 / I.A. Juhin. – Rjazan', 2016. - 388 s.

7. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading / Byshov N.V. and other / V sbornike: Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies. 2018. S. 176-179.

8. Pogorelov S.V. Povyshenie ustojchivosti prjamolinejnogo dvizhenija traktornyh poezdov posredstvom ispol'zovanija tjagovo-scepnogo ustrojstva s reguljatorom kursovogo ugla: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.03 / S.V. Pogorelov – Saratov, 2005. - 192 s.

9. Teodorchik, K.F. Avtokolebatel'nye sistemy [Tekst] / K.F. Teodorchik. – M.: Gostehizdat, 1952. – 272 s.: il.

10. Meroprijatija po povysheniju jekspluacionnyh pokazatelej avtotraktornoj tehniki pri vnutrihozjajstvennyh perevozkah v APK / Bortnik A.V. i dr. // Tehnika i oborudovanie dlja sela. 2019. № 9 (267). S. 33-36.

11. Mnogozvennye avtopoezda. Reshenie zadach prjamolinejnoj dinamiki s pomoshh'ju imitacionnogo modelirovanija / Gorelov V.A., Padalkin B.V., Chudakov O.I. – Moskva: Izd. Moskovskij gosudarstvennyj tehicheskij universitet imeni N.Je. Baumana, 2019. – 85 s.

12. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation / Byshov N.V. and other // ARPN Journ. of Engin. and Applied Scien. - 2018 - 10 - s. 3502-3508.