

Information about authors

1. **Lukina Irina Vasilievna**, Senior Lecturer of the Department of Mathematics, Physics and Information Technology, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. Karl Marx, 29, e-mail: iv_rabota@inbox.ru, tel. 89278478408;

2. **Maksimov Ivan Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. Karl Marx, 29, e-mail: maksimov48@inbox.ru, tel. 89373834088;

3. **Derevyannykh Evgenia Anatolyevna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. Karl Marx, 29, e-mail: jane-evgeniya@yandex.ru, tel. 89053450435;

4. **Vasilyeva Olga Gennadievna**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. Karl Marx, 29, e-mail: olech.vasiljeva@yandex.ru, tel. 89196704397.

УДК 629.113:629.332

DOI:

**О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ
УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОЕЗДА**

О. Г. Огнев¹, Ю. Н. Строганов², А. Н. Максимов³, Н. Н. Белова³

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Уральский федеральный университет
620002, Екатеринбург, Российская Федерация

³Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Сельское хозяйство сегодня является одной из наиболее транспортеемких отраслей народного хозяйства. Благодаря интенсивному развитию сельского хозяйства, перевозка товаров сельскохозяйственного производства растет из года в год. Для осуществления растущего объема перевозок товаров широко используются автотранспортные поезда (АТП), которые являются на сегодняшний день наиболее популярным транспортным средством не только в нашей стране, но и за рубежом. При этом к АТП предъявляются новые требования: необходимость повышения скорости и увеличения тоннажа доставляемых грузов. Поэтому улучшение эксплуатационных характеристик АТП, позволяющее снизить аварийность на трассах, по-прежнему является актуальной проблемой, которая имеет также важное практическое значение. Безопасность движения автотранспортных поездов на дорогах во многом зависит от устойчивости их перемещения по оптимальной траектории. В представленной работе предлагается использовать математическую модель, которая позволит произвести оценку устойчивости движения автотранспортных поездов на дорогах, а также определить направление повышения безопасности их движения. Сущность модели заключалась в том, что процесс колебания АТП и его элементов вследствие внешнего возмущающего воздействия на трассе разбивается на несколько характерных этапов, основные параметры которых (амплитуда смещения и угол поворота элементов АТП относительно направления движения) определялись исходя из первоначальных условий движения АТП, силы и продолжительности внешнего воздействия. Предполагается, что повысить безаварийность движения автотранспортных поездов можно с помощью изменения конструктивных характеристик прицепных устройств. Научная новизна и практическая значимость работы подтверждается полученными патентами на разработанные технические устройства и результатами лабораторных испытаний.

Ключевые слова: автотранспортный поезд, математическая модель, анализ механизма, устойчивость движения, закон сохранения импульса.

Введение. Каждое десятое ДТП (дорожно-транспортное происшествие) в РФ происходит с участием грузовых автомобилей и автотранспортных поездов (АТП) [7]. С учетом того, что только за 2019 г. число ДТП в России составило 147 738 случаев, а число пострадавших – 189 671 человек, в том числе 15 158 человек погибших [6], исследование проблемы обеспечения устойчивости движения АТП является достаточно актуальным.

Целью исследований являлось формирование математической модели движения АТП в условиях посторонних воздействий, например, боковых сил и прочее.

Материалы и методы исследований. Состав АТП представлен на рис. 1. АТП – трехзвенный механизм (рис. 2), имеющий два подвижных соединения. Причем элементы *П* и *ТС* строго ориентированы относительно линии *O* движения АТП (на начальном этапе движения), а элемент *Д* обладает возможностью при определенных условиях поворачиваться относительно оси *O*.

Основная задача обеспечения безаварийности перемещения АТП по прямолинейной трассе – возможность сохранения заданной оптимальной траектории его перемещения, особенно при внешнем дестабилизирующем воздействии. При криволинейном движении АТС (поворот, перестраивание в другой ряд и пр.) дополнительным усложняющим фактором являются силы инерции элементов *ТС* и *П*, повышающие вероятность бокового смещения (заноса) элементов АТП относительно траектории его движения.

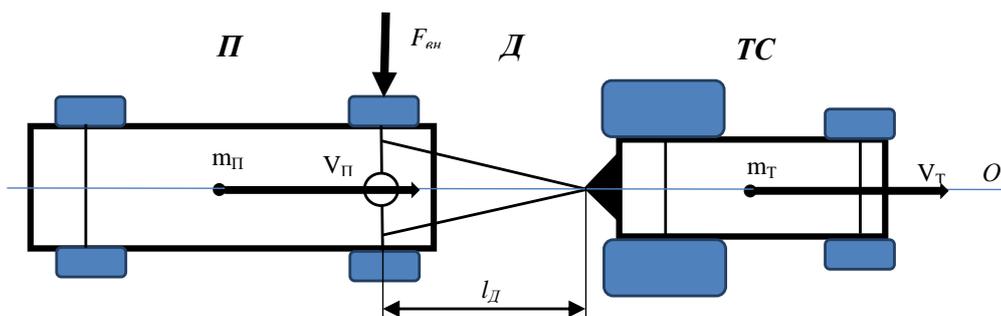


Рис. 1. Состав АТП

ТС – транспортирующее средство, *П* – прицеп с опорно-поворотной платформой (ОПП), *Д* – дышло, *F* – внешнее воздействие, *l*_{ТС}, *l*_Д, *l*_П – длина транспортирующего средства, дышла и прицепа

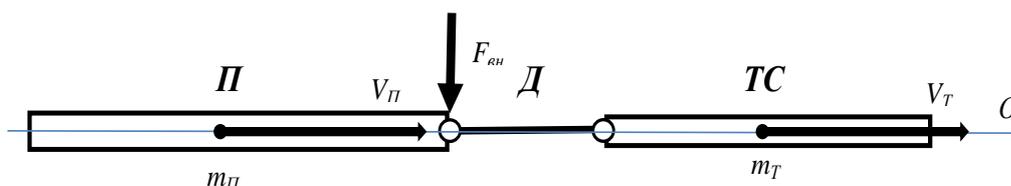


Рис. 2. Схема трехзвенного механизма АПП

Для оценки устойчивости процесса перемещения по трассе АТП в случае внешнего воздействия можно применить закон сохранения импульса замкнутой системы. В таком случае при анализе поведения механизма АТП можно использовать основные принципы формирования механизмов [1], [2], [3], [8], [9], [10].

Результаты исследований и их обсуждение. Изменение импульса замкнутой системы возможно только за счет приложения внешних сил, причем важны не только величина и направление внешнего воздействия *F*_{вн}, но и его длительность:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} = \vec{F}_{\text{вн}}, \quad (1)$$

где *dp* – изменение импульса системы; *dt* – продолжительность внешнего воздействия.

Тогда в соответствии с законом изменения импульса механизм внешнего воздействия на движущийся АТП можно представить как

$$m_{\text{ТС}}\vec{V}_{i\text{ТС}} + m_{\text{П}}\vec{V}_{i\text{П}} = m_{\text{ТС}}\vec{V}_{i+1\text{ТС}} + m_{\text{П}}\vec{V}_{i+1\text{П}} + \vec{F}_{\text{вн}} t, \quad (2)$$

где *i* – этапы (время) движения АТП.

Изменение положения элементов АПП вследствие внешнего воздействия, разделенное на несколько характерных этапов, представлено на рисунках 3-8.

На первом этапе внешнее воздействие *F*_{вн} повышает суммарный импульс АТП. Причем будет изменяться импульс только последнего элемента АТП – П, поскольку ОПП прицепа закреплена свободно и имеет возможность достаточно легко перемещаться относительно элементов ТС и П. Изменением импульса элемента ТС можно пренебречь, как и сопротивлением перемещению элемента Д. Также будем считать незначительными и силы трения о дорожное полотно для всех колес первого (ТС) и третьего (П) элементов механизма АТП.

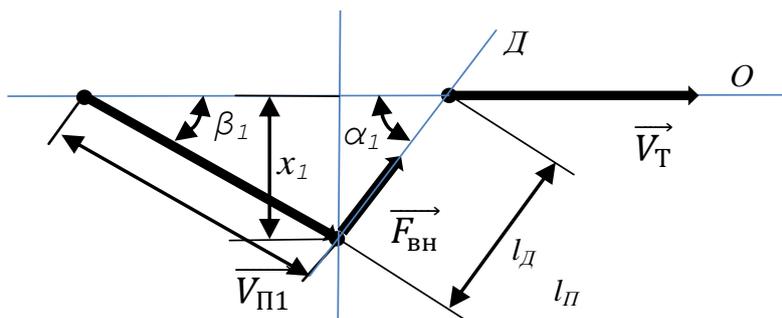


Рис. 3. Положение элементов АПТ в конце 1-го этапа

Для конца 1-го этапа в соответствии с законом сохранения импульса системы

$$m_T \vec{V}_T + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi} + \vec{F}t = m_T \vec{V}_T + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi_1}. \quad (3)$$

Скорость элемента П в конце 1-го этапа можно определить как

$$\vec{V}_{\Pi_1} = \frac{m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi} + \vec{F}_{\text{вн}} t}{m_{\Pi}}, \quad (4)$$

$$V_{\Pi_1} = \frac{F_{\text{вн}} t}{m_{\Pi} \sin \beta_1}. \quad (5)$$

Боковая составляющая скорости элемента П (скорость бокового заноса) определяется следующим образом:

$$V_{\text{Пбок}} = \frac{F_{\text{вн}} t}{m_{\Pi}}. \quad (6)$$

Величина бокового смещения (заноса) элемента П будет рассчитываться следующим образом:

$$x_1 = V_{\text{Пбок}} t = \frac{F_{\text{вн}} t^2}{m_{\Pi}} = l_{\text{Д}} \sin \alpha_1 = l_{\text{П}} \sin \beta_1. \quad (7)$$

Углы отклонения осей дышла (элемента Д) и прицепа (элемента П) от направления движения в конце 1-го этапа будут, соответственно,

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{x_1}{l_{\text{Д}}}\right) = \frac{l_{\text{П}}}{l_{\text{Д}}} \sin \beta_1, \quad (8)$$

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{x_1}{l_{\text{П}}}\right) = \frac{l_{\text{Д}}}{l_{\text{П}}} \sin \alpha_1. \quad (9)$$

На втором этапе пространственная несогласованность векторов V_{Π} и V_T элементов П и ТС приводит к появлению стабилизирующей (дестабилизирующей) внутренней силы $F_{\text{см}}$, пытающейся восстановить первоначальное положение элементов П и ТС механизма (рис. 3). Возвращение элемента П в первоначальное положение (вектор скорости V_{Π_2} совпадает с осью движения O) происходит за счет смещения (поворота) элемента ТС механизма относительно оси O .

Выражение (2) примет следующий вид:

$$m_T \vec{V}_T + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi_1} = m_T \vec{V}_{T_2} + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi_2}. \quad (10)$$

Перемещение элементов АПТ будет задаваться движением элемента Д, движение которого (рис. 4), в свою очередь, будет определяться действующим на него импульсом (сдвигающей силой $V_{\text{сдвД}}$, равной сумме проекций импульсов элементов П и ТС на ось Д):

$$\vec{p}_{\text{Д}} = m_T V_T \cos \alpha_1 + m_{\Pi} V_{\Pi_1} \sin(90^\circ - \alpha_1 - \beta_1). \quad (11)$$

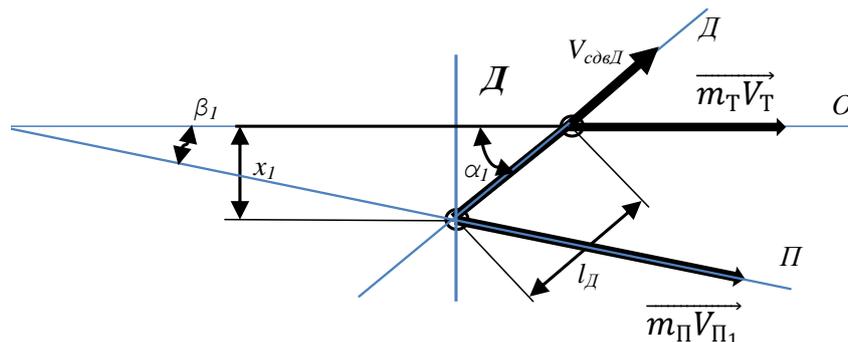


Рис. 4. Силы, действующие на элемент Д в начале 2-го этапа

Данный этап заканчивается при совмещении элемента П с осью О. Продолжительность возвращения элемента П на ось О (время этапа) будет определяться действием проекции суммы импульсов элементов П и ТС на ось Д:

$$\vec{p}_D = (m_{\Pi}V_{\Pi_1}\sin(90^\circ - \alpha_1 - \beta_1) + m_{\Gamma}V_{\Gamma}\cos\alpha_1)t_2 = (m_{\Pi} + m_{\Gamma})\vec{V}_{\text{сдвД}} = \frac{(m_{\Pi} + m_{\Gamma})l_D}{t_2}. \quad (12)$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{(m_{\Pi} + m_{\Gamma})l_D}{m_{\Pi}V_{\Pi_1}\sin(90^\circ - \alpha_1 - \beta_1) + m_{\Gamma}V_{\Gamma}\cos\alpha_1}}. \quad (13)$$

Величина бокового смещения (заноса) элементов ТС и П будет рассчитываться так:

$$x_2 = x_{\Gamma\text{С}} = l_D \sin\alpha_1 = x_1. \quad (14)$$

Скорость $V_{\text{сдвД}}$ элемента Д вдоль направления его движения (оси Д):

$$\vec{V}_{\text{сдвД}} = \frac{l_D}{t_2}, \quad (15)$$

а ее проекция на линию, перпендикулярную оси О, определит скорость бокового заноса (сдвига) элемента П (а также и ТС):

$$V_{\text{бок}_2} = V_{\text{сдвД}} \sin\alpha_1 = \frac{l_D}{t_2} \sin\alpha_1 = \frac{x_2}{t_2}. \quad (16)$$

Угол отклонения оси элемента ТС от оси О будет следующим:

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{x_2}{l_{\Gamma\text{С}}}\right). \quad (17)$$

Скалярные значения скоростей элементов АПТ в конце 2-го этапа:

$$V_{\Gamma_2} = (m_{\Pi}V_{\Pi_1}\sin\beta_1)/(m_{\Gamma}\sin\gamma_2). \quad (18)$$

На третьем этапе элемент П, заняв свое первоначальное положение вдоль оси О (рис. 5), под действием силы инерции $F_{\text{ин}}$ принимает положение, которое представлено на рис. 6. При этом силы инерции действуют только на элемент П, который вследствие наличия ОПП имеет возможность смещаться относительно оси О. Положение элемента ТС на данном этапе можно считать неизменным.

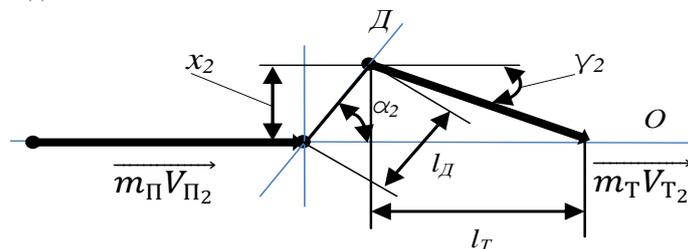


Рис. 5. Положение элементов АПТ в начале 3-го этапа

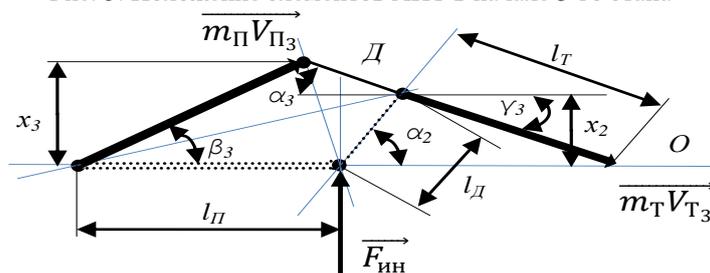


Рис. 6. Положение элементов АПТ в конце 3-го этапа

Таким образом, силу инерции $F_{\text{ин}}$ можно считать возмущающей (формирующей колебательный процесс смещения элементов АПТ относительно оси О):

$$F_{\text{ин}} = m_{\Pi}a_2 = m_{\Pi} \frac{2x_2}{t_2^2}, \quad (19)$$

где a_2 – ускорение, приобретенное элементом П в конце 2-го этапа.

Продолжительность этапа будет определяться окончанием действия сил инерции. При оценке поворота элемента П относительно оси О, исходя из условия симметрии треугольников, образованных расположением элементов П и Д, получим следующие зависимости:

$$\beta_3 = 2 \arctg\left(\frac{l_D \sin\alpha_2}{l_{\Pi} + l_D \cos\alpha_2}\right), \quad (20)$$

$$\alpha_3 = \arccos \left(\frac{l_{\Pi} + l_{Д} \cos \alpha_2 - l_{\Gamma} \cos \beta_3}{l_{Д}} \right), \quad (21)$$

$$\gamma_3 = \gamma_2. \quad (22)$$

Величина бокового смещения x_3 элемента Π в конце 3-го этапа:

$$x_3 = l_{\Pi} \sin \beta_3. \quad (23)$$

Время действия сил инерции на элемент Π (время 3-го этапа):

$$t_3 = \sqrt{2x_3/a_3}. \quad (24)$$

На четвертом этапе пространственная несогласованность векторов импульса элементов Π и Γ , действующих на элемент Δ , приводит к его повороту относительно механизма АТП. При этом элемент Δ , проворачиваясь по часовой стрелке, в начале 4-го этапа совмещается с осью элемента Γ , способствуя возвращению вектора импульса движения элемента Γ на ось движения O (рис. 7), а затем, продолжая свой поворот, ускоряет процесс этого возврата. В конце 4-го этапа элементы механизма АТП принимают положение, зеркально симметричное их положению в начале 2-го этапа (рис. 8).

В соответствии с условием сохранения импульса для конца 4-го этапа

$$m_{\Gamma} \vec{V}_{\Gamma} + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi} = m_{\Gamma} \vec{V}_{\Gamma_2} + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi_2} = m_{\Gamma} \vec{V}_{\Gamma} + m_{\Pi} \vec{V}_{\Pi_4}. \quad (25)$$

Время 4-го этапа

$$t_4 = \frac{V_{\Gamma_4} \sin \gamma_3}{x_2}. \quad (26)$$

Величина бокового смещения x_4 элемента Π в конце 4-го этапа

$$x_4 = x_3 + V_{\Pi_4} \cos \beta_3. \quad (27)$$

Угол отклонения элемента Π от линии O будет определяться как

$$\beta_4 = \arcsin \left(\frac{x_4}{l_{\Pi}} \right). \quad (28)$$

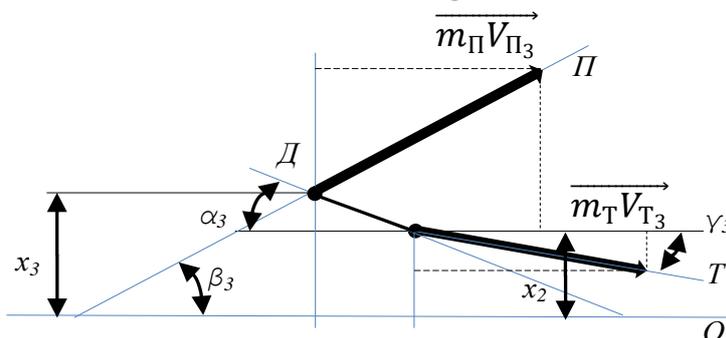


Рис. 7. Силы, действующие на элемент Δ в начале 4-го этапа

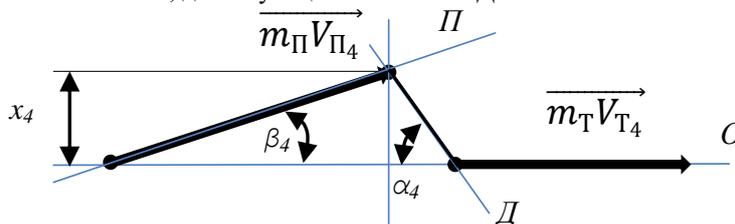


Рис. 8. Положение механизма АТП в конце 4-го этапа

В дальнейшем этапы 2-4 повторяются. Таким образом, данный процесс можно отнести к категории колебательных. Изменение величины бокового смещения (заноса) элементов x , как и углов смещения (α , β или γ), можно рассматривать в качестве физических величин колебательного процесса. Их уменьшение с каждым новым циклом – затухающий процесс.

Выводы. Вышеприведенная модель может быть использована при анализе процесса устойчивости движения АТП и поиске способов воздействия на него с целью снижения вероятности аварий.

При сообщении движущемуся АТП дополнительного бокового импульса увеличивается суммарный поступательный импульс всей системы АТП (боковые колебания преобразуются в увеличение скорости движения АТП), либо нарушается устойчивость его движения (боковые колебания приводят к выходу амплитуды движения АТП за пределы безопасного коридора), либо АТП опрокидывается.

Воздействие на конструкцию прицепного устройства может оказывать существенное влияние и на устойчивость траектории движения АТП за счет более быстрого снижения боковых колебательных воздействий на него.

Данный вывод основывается на апробации данных, представленных в нескольких патентах [4], [5], в ходе лабораторных испытаний.

Литература

1. Белов, В. В. Математические модели как основа экспериментальных исследований и прогнозирования характеристик объектов исследований / В. В. Белов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – № 13-1. – С. 26-28.
2. Белов, В. В. Теоретические основы синтеза и конструирования пружинных механизмов в машиностроении / В. В. Белов. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – 374 с.
3. Деревянных, Е. А. К вопросу о кручении неоднородных призматических стержней в случае трансляционной анизотропии / Е. А. Деревянных, А. Н. Максимов, Т. В. Митрофанова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2018. – № 4 (38). – С. 49-53.
4. Патент № 179448 U1. Российская Федерация, МПК В62D 53/08. Опорно-поворотное устройство автопоезда. – № 2017109328: заявл. 20.03.2017; опубл. 15.05.2018 / Ю. Н. Строганов, О. Г. Огнев, А. И. Попова, О. Ю. Строганова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». – 7 с.
5. Патент № 191032 U1. Российская Федерация, МПК В62D 63/00. Устройство для стабилизации движения двухосного прицепа. – № 2019107391: заявл. 15.03.2019; опубл. 22.07.2019 / Ю. Н. Строганов, А. И. Попова, О. Ю. Строганова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». – 8 с.
6. Показатели состояния безопасности дорожного движения. – Текст: электронный // Stat.gibdd.ru [сайт]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 21.01.2020).
7. Самые частые ДТП в России. – Текст: электронный // Journal.tinkoff.ru [сайт]. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/stat-dtp/> (дата обращения: 21.01.2020).
8. Смирнов, П. А. Аналитический метод исследования нарушения ритмичности движения городского автотранспорта / П. А. Смирнов, В. В. Белов, О. Г. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 37. – С. 54-57.
9. Influence of the parameters of support wheels on the amount of the device of the trailer from the tracking course / S. S. Alatyrev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012002.
10. Simulation of car movement along circular path / A. I. Fedotov, D. A. Tikhov-Tinnikov, N. I. Ovchinnikova, A. V. Lysenko // IOP Conference Ser.: Earth Env. 87 082018. – URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/8/082018>.

Сведения об авторах

1. **Огнев Олег Геннадьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики, физики и инженерной графики, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, город Пушкин, Петербургское шоссе, 2, строение 2; e-mail: ognew.og@mail.ru;
2. **Строганов Юрий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных машин и роботов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; e-mail: yurij.stroganov@mail.ru;
3. **Максимов Алексей Николаевич**, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой математики, физики и информационных технологий, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29; e-mail: alexei.maksimov@yandex.ru;
4. **Белова Надежда Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры математики, физики и информационных технологий, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29; e-mail: bn.belova@yandex.ru.

ON THE APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING METHODS IN THE CALCULATION OF THE STABILITY MOVEMENT OF MOTOR TRANSPORT TRAIN

O. G. Ognev¹, Yu. N. Stroganov², A. N. Maksimov³, N. N. Belova³

¹Saint-Petersburg State Agrarian University
196601, Saint-Petersburg, Russian Federation

²Ural Federal University
620002, Yekaterinburg, Russian Federation

³Chuvash State Agrarian University
428003, Cheboksary, Russian Federation

Brief abstract. Agriculture today is one of the most transport-intensive sectors of the national economy. Due to the intensive development of agriculture, the transportation of agricultural goods is growing from year to year. To carry out the growing volume of transportation of goods, motor transport train (MTT) are widely used, which are by far the most popular means of transport not only in our country, but also abroad. At the same time, new requirements are imposed on the MTT: the need to increase the speed and increase the tonnage of delivered goods. Therefore, the improvement of the operational characteristics of the (MTT), which makes it possible to reduce the accident rate on the routes, is still an urgent problem, which is also of great practical importance. The safety of motor transport trains on the roads largely depends on the stability of their movement along the optimal trajectory. In the presented work, it is proposed to use a mathematical model that will make it possible to assess the stability of the movement of motor transport trains on the roads, as well as to determine the direction of improving the safety of their movement. The essence of the model was that the process of oscillation of the MTT and its elements due to external disturbance on the track is divided into several characteristic stages, the main parameters of which (the displacement amplitude and the angle of rotation of the MTT elements relative to the direction of movement) were determined based on the initial conditions of the MTT movement, forces and the duration of the external influence. It is assumed that it is possible to improve the accident-free movement of motor transport train by changing the design characteristics of trailers. The scientific novelty and practical significance of the work is confirmed by the received patents for the developed technical devices and the results of laboratory tests.

Key words: motor transport train, mathematical model, mechanism analysis, motion stability, momentum conservation law.

References

1. Belov, V. V. Matematicheskie modeli kak osnova eksperimental'nyh issledovaniy i prognozirovaniya harakteristik ob"ektov issledovaniy / V. V. Belov // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2012. – № 13-1. – S. 26-28.
2. Belov, V. V. Teoreticheskie osnovy sinteza i konstruirovaniya pruzhinnyh mekhanizmov v mashinostroenii / V. V. Belov. – Cheboksary: Chuvashskaya gosudarstvennaya sel'skokozyajstvennaya akademiya, 2018. – 374 s.
3. Derevyannyh, E. A. K voprosu o kruchenii neodnorodnyh prizmaticheskikh sterzhnej v sluchae translyacionnoj anizotropii / E. A. Derevyannyh, A. N. Maksimov, T. V. Mitrofanova // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.YA. Yakovleva. Seriya: Mekhanika predel'nogo sostoyaniya. – 2018. – № 4 (38). – S. 49-53.
4. Patent № 179448 U1. Rossijskaya Federaciya, MPK B62D 53/08. Oporno-povorotnoe ustrojstvo avtopoezda. – № 2017109328: zayavl. 20.03.2017: opubl. 15.05.2018 / YU. N. Stroganov, O. G. Ognev, A. I. Popova, O. YU. Stroganova; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B. N. El'cina». – 7 s.
5. Patent № 191032 U1. Rossijskaya Federaciya, MPK B62D 63/00. Ustrojstvo dlya stabilizacii dvizheniya dvehosnogo pricepa. – № 2019107391: zayavl. 15.03.2019: opubl. 22.07.2019 / YU. N. Stroganov, A. I. Popova, O. YU. Stroganova; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina». – 8 s.
6. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. – Tekst: elektronnyj // Stat.gibdd.ru [sajt]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (data obrashcheniya: 21.01.2020).
7. Samye chastye DTP v Rossii. – Tekst: elektronnyj // Journal.tinkoff.ru [sajt]. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/stat-dtp/> (data obrashcheniya: 21.01.2020).
8. Smirnov, P. A. Analiticheskij metod issledovaniya narusheniya ritmichnosti dvizheniya gorodskogo avtotransporta / P. A. Smirnov, V. V. Belov, O. G. Ognev // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2017. – № 37. – S. 54-57.
9. Influence of the parameters of support wheels on the amount of the device of the trailer from the tracking course / S. S. Alatyrev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012002.

10. Simulation of car movement along circular path / A. I. Fedotov, D. A. Tikhov-Tinnikov, N. I. Ovchinnikova, A. V. Lysenko // IOP Conference Ser.: Earth Env. 87 082018. – URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/8/082018>.

Information about authors

1. **Ognev Oleg Gennadievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics, St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Pushkin city, Peterburgskoye shosse, 2, building 2, e-mail: ognew.og@mail.ru;

2. **Stroganov Yury Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Hoisting and Transporting Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Yekaterinburg, st. Mira, 19, e-mail: yurij.stroganov@mail.ru;

3. **Maksimov Aleksey Nikolaevich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: alexei.maksimow@yandex.ru;

4. **Belova Nadezhda Nikolaevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: bnn.belova@yandex.ru.

УДК628.17

DOI:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧКИ ВОДЫ ПО ГРАФИКУ НАГРУЗКИ СКВАЖИННОГО НАСОСА

А. Г. Свешников, Г. М. Михеев

*Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. Вода – основной элемент жизнедеятельности всего живого на Земле. Наше государство является одним из лидеров по запасам воды. Биосфера, бесспорно, не может существовать также и без солнца. Без него в растениях не будут происходить процессы фотосинтеза, а у людей снизится иммунитет.

Было установлено, что в системе водоснабжения, имеющей устройство частотного преобразователя, существует сложность обнаружения утечки воды, вследствие чего потребление электрической энергии значительно возрастает, увеличиваются потери сырья, а также повышается вероятность осушения скважины. Другим ее недостатком является большой износ насосного агрегата. Однако, несмотря на все перечисленные недочеты, система водоснабжения имеет свои достоинства.

В настоящей статье на примере работы электронасоса, установленного в одном из населённых пунктов Чувашской Республики, показана возможность определения наличия или отсутствия утечки жидкости в системе водоснабжения с применением скважинного насоса, снабжённого устройством частотного регулирования.

Рассмотрен и проанализирован график потребления тока электронасосом в течение одних суток. Было установлено, что в системе водоснабжения с применением частотного регулирования оператор может зафиксировать наличие или отсутствие утечки жидкости, проанализировав график нагрузки электронасоса.

Был сделан вывод, что несвоевременное обнаружение утечки жидкости при безбашенной системе водоснабжения приводит к осушению скважины. При этом графики нагрузки устройства с частотным регулированием удаётся составить с применением облачного сервиса «OpenCloud» компании ОВЕН.

Ключевые слова: системы водоснабжения, насосы с устройством частотного регулирования, обнаружение утечки жидкости, потребление воды, количество циклов работы насоса, программный продукт.

Введение. Вода является одним из важнейших элементов биосферы нашей планеты, поскольку её нельзя заменить ничем так же, как уголь – на зеленую энергетику. Основное назначение воды как природного ресурса – поддерживать жизнедеятельность всего живого: растений, животных и людей [3], [12], [14]. Это фундаментальная основа всей жизни на Земле.

В табл. 1 представлены сведения о запасе воды по странам мира [8]. Очевидно, что наше государство является одним из лидеров по этому показателю.