

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра технической физики и теоретической механики

# МЕХАНИКА. ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ

Международный сборник научных трудов

Выпуск 13

Под редакцией  
доктора технических наук, профессора *А. О. ШИМАНОВСКОГО*

Гомель 2020

В сборнике публикуются материалы, представленные на Международном семинаре преподавателей вузов по теоретической механике, состоявшемся в Белорусском государственном университете транспорта.

Для преподавателей вузов, ученых, занимающихся исследованиями в области механики. Может быть полезен аспирантам, студентам технических вузов, инженерно-техническим работникам.

*Сборник включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований*

**Редакционная коллегия:**

*Шимановский А. О.* (главный редактор), доктор технических наук, профессор (Гомель, БелГУТ);

*Путьято А. В.* (зам. главного редактора), доктор технических наук, доцент (Гомель, БелГУТ);

*Черноус Д. А.* (отв. секретарь), кандидат технических наук, доцент (Гомель, БелГУТ);

*Богданович П. Н.*, доктор технических наук, профессор (Гомель, БелГУТ);

*Боцко Й. С.*, PhD, профессор (Словакия, Кошице, Технический университет Кошице);

*Галай Э. И.*, доктор технических наук, доцент (Гомель, БелГУТ);

*Довгяло В. А.*, доктор технических наук, профессор (Гомель, БелГУТ);

*Кузнецова М. Г.*, кандидат технических наук, доцент (Гомель, БелГУТ);

*Леоненко Д. В.*, доктор физико-математических наук, доцент (Гомель, БелГУТ);

*Плескачевский Ю. М.*, доктор технических наук, член-корреспондент НАН Беларуси (Минск, БНТУ);

*Старовойтов Э. И.*, доктор физико-математических наук, профессор (Гомель, БелГУТ);

*Халецки М.*, PhD (Польша, Варшава, SGGW);

*Шабловский О. Н.*, доктор физико-математических наук, профессор (Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого)

## СОДЕРЖАНИЕ

### Научные публикации

<i>Askarbekov R. N., Duishenaliev T. B., Orozbaev A. A.</i> Modeling of vibrations in a building structure with rubber-metal supports .....	5
<i>Aslanov E. A.</i> A problem of wave propagation in an elastic tube containing heterogeneous liquid .....	13
<i>Белоус В. Ю.</i> Влияние режима дуговой сварки на структуру и свойства сварных соединений высокопрочного титанового сплава Т120 .....	21
<i>Бурченков В. В., Маркавцов А. А.</i> Оценка состояния и перспективы совершенствования диагностики деталей и узлов подвижного состава .....	32
<i>Ворожун И. А.</i> Анализ корректности математических моделей соударения вагонов-платформ при упругом способе крепления на них ярусов труб .....	40
<i>Галай Э. И., Инагамов С. Г., Юлдашов А. А.</i> Оценка работы тормозного оборудования грузовых вагонов на участке Ангрен – Пап АО «Узбекские железные дороги» .....	47
<i>Довяло В. А., Моисеенко В. Л., Максимчик К. В., Дмитриев А. В.</i> Особенности среднего и капитального ремонтов специальных путевых машин.....	55
<i>Коханенко В. Н., Сиротин П. В., Кондратенко А. И., Евтушенко С. И.</i> Собственные колебания пневмогидравлической рессоры .....	63
<i>Кузнецова М. Г., Диулин Д. А.</i> Особенности эксплуатации, диагностики и прогнозирования состояния крепи вертикальных стволов шахт.....	68
<i>Леоненко Д. В.</i> Свободные колебания трехслойных стержней с учетом вязкого сопротивления .....	81
<i>Локтионов А. В.</i> Оценка эффективности работы машины и исполнительного механизма с резовыми дисками .....	88
<i>Локтионов А. В., Сидорович А. А.</i> Кинематика режущего инструмента при сферическом движении исполнительного механизма проходческого комбайна .....	93
<i>Маркавцов А. А., Холодильов О. В., Кузнецова М. Г.</i> Совершенствование технологии акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов подвижного состава .....	102
<i>Муслимов А. П., Алмасбеков А. А., Аскарбеков Р. Н.</i> Исследование автоматической системы регулирования зазора гидростатических направляющих токарного станка .....	108
<i>Нестерович А. В.</i> Радиальное и тангенциальное несесимметричное нагружение круговой трехслойной пластины .....	116
<i>Романенко В. Р., Невзорова А. Б.</i> Деформирование криволинейных участков железнодорожного пути под воздействием подвижного состава .....	122
<i>Сахаров П. А.</i> Расчетно-экспериментальный метод исследования продольной динамики поезда .....	128
<i>Старовойтов Э. И.</i> Изменение нейтронного потока при прохождении через трехслойную пластину .....	141

<i>Тариков Г. П., Акулова Е. М.</i> Определение трещиностойкости рельса при его контактном взаимодействии с колесом .....	147
<i>Фалькова Е. В., Назарова Л. П., Зувев А. А., Арнольд А. А., Данилов Н. А.</i> Особенности определения потерь в малорасходных насосах энергетических систем космических аппаратов .....	154
<i>Чаганова О. С., Быстренкова Т. И., Меньшова Е. В.</i> Расчет средств крепления строительных грузов на современных вагонах сочлененного типа .....	159
<i>Черноус Д. А., Коднянко Е. В.</i> Оценка применимости модели Винклера основания для анизотропного покрытия .....	166
<i>Шимановский А. О., Кракова И. Е.</i> Влияние условий закрепления контура сэндвич-панелей на их напряженно-деформированное состояние .....	183
<i>Якубович О. И., Шимановский А. О.</i> Анализ прочности узла сочленения стрелы подъемно-транспортной машины .....	189

### **Краткие сообщения**

<i>Алимкулов М. М., Маханов Б. А., Жаймаганбетов Б. А.</i> Повышение требований к конструкции верхнего строения пути железных дорог .....	194
<i>Назарова Л. П., Савчин Д. А., Фалькова Е. В., Швецова Д. С.</i> Совершенствование методики измерения крутящего момента при испытаниях насосов двигателей летательных аппаратов .....	198
<i>Сиротин П. В., Коханенко В. Н., Евтушенко С. И., Кондратенко А. И.</i> Динамическая модель пневмогидравлической рессоры .....	201
<i>Скринников Е. В., Кондратенко А. И., Коханенко В. Н., Евтушенко С. И., Келесаев Д. Б.</i> Вынужденные колебания пневмогидравлической рессоры .....	205
<i>Фалькова Е. В., Назарова Л. П., Зувев А. А., Арнольд А. А., Данилов Н. А.</i> Комплексный метод в теории теплоотдачи для полостей вращения насосов с кольцевой линией тока .....	209

### **Учебно-методические публикации**

<i>Акулов Н. В., Акулова Е. М.</i> Совершенствование методики преподавания курса «Детали машин» и его интеграция со специальными дисциплинами .....	213
<i>Ахметова З. П., Истамов Ф., Дустов А. И.</i> Использование проблемного обучения в высших учебных заведениях .....	219
<i>Кольга В. В., Фисенко Е. Н.</i> Формирование профессиональных компетенций бакалавров аэрокосмических направлений при освоении дисциплины «Теоретическая механика» .....	232
<i>Локтионов А. В., Сидорович А. А.</i> Вывод дифференциального уравнения малых колебаний эллиптического маятника методом Даламбера – Лагранжа .....	238
<i>Шимановский А. О., Кузнецова М. Г., Кракова И. Е.</i> Проведение XVI Международной олимпиады по теоретической механике в дистанционном формате .....	244
1 Условия задач .....	246
2 Решения задач .....	248
3 Результаты конкурса .....	256
4 Команды-участницы и их руководители .....	257
<b>Правила оформления статей</b> .....	259

**Askarbekov, R. N.** Modeling of vibrations in a building structure with rubber-metal supports / R. N. Askarbekov, T. B. Duishenaliev, A. A. Orozbaev // Mechanics. Researches and Innovations. – 2020. – Vol. 13. – P. 5–12.

*R. N. ASKARBEKOV, T. B. DUISHENALIEV, A. A. OROZBAEV*  
*Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic*

### **MODELING OF VIBRATIONS IN A BUILDING STRUCTURE WITH RUBBER-METAL SUPPORTS**

There are presented the experimental results for the layout of the two-storied building made in the scale of 1:10. There is analyzed the influence of the rubber-metal supports in the monolithic construction on the oscillations in its base. The changes in the oscillation frequencies depending on the hardness of used rubber are considered. The experimental results demonstrated the advantages of using less hard rubber.

**Keywords:** layout, rubber-metal supports, vibrometer, vibration.

*P. N. АСКАРБЕКОВ, Т. Б. ДУЙШЕНАЛИЕВ, А. А. ОРОЗБАЕВ*  
*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ С РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ОПОРАМИ**

Приведены результаты экспериментов, в которых на макете двухэтажного здания, выполненного в масштабе 1:10, анализировалось влияние резино-металлических опор в составе монолитной конструкции здания на колебания, возникающие в его основании. Рассмотрено изменение частоты колебаний в зависимости от твёрдости использованной резины. Результаты экспериментов продемонстрировали преимущества использования резины с меньшей твердостью.

**Ключевые слова:** макет, резинометаллические опоры, вибромметр, колебания.

**Aslanov, E. A.** A problem of wave propagation in an elastic tube containing heterogeneous liquid / E. A. Aslanov // *Mechanics. Researches and Innovations.* – 2020. – Vol. 13. – P. 13–20.

*E. A. ASLANOV*

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan*

## **A PROBLEM OF WAVE PROPAGATION IN AN ELASTIC TUBE CONTAINING HETEROGENEOUS LIQUID**

In the work there is performed the solution of a one-dimensional problem of harmonic waves propagation in an orthotropic elastic tube containing heterogeneous incompressible liquid with the rheological behaviour described by Maxwell model. There is numerically depicted the influence of concentration of inclusions on wave characteristics for the case of long stationary waves propagation in heterogeneous liquid flowing in an elastic tube of variable circular section. The properties of the liquid comply with linear visco-elastic model of Foigt. The solution of this problem is defined by singular boundary problem of Sturm – Liouville. It is assumed that the tube is rigidly fixed to surrounding and, thus, its longitudinal displacement is equal to null. Cases of finite and semi-infinite tubes are considered.

**Keywords:** wave propagation, elastic tube, heterogeneous liquid, harmonic waves, viscoelasticity, haemodynamics.

*Э. А. АСЛАНОВ*

*Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан*

## **О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН В УПРУГОЙ ТРУБКЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ГЕТЕРОГЕННУЮ ЖИДКОСТЬ**

Выполнено решение одномерной задачи о распространении гармонических волн в ортотропной упругой трубке, содержащей неоднородную несжимаемую жидкость, реологическое поведение которой описывается моделью Максвелла. Численно проанализировано влияние концентрации включений на волновые характеристики для случая распространения длинных стационарных волн в неоднородной жидкости, текущей в упругой трубке переменного округлого сечения, свойства которой соответствуют линейной вязкоупругой модели Фойхта. Решение этой задачи определяется сингулярной краевой задачей Штурма – Лиувилля. Предполагается, что трубка жестко закреплена в окружающем пространстве и, следовательно, ее продольное смещение равно нулю. Рассмотрены случаи конечных и полубесконечных трубок.

**Ключевые слова:** распространение волн, упругая трубка, неоднородная жидкость, гармонические волны, вязкоупругость, гемодинамика.

**Белоус, В. Ю.** Влияние режима дуговой сварки на структуру и свойства сварных соединений высокопрочного титанового сплава Т120 / В. Ю. Белоус // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 21–31.

*В. Ю. БЕЛОУС*

*Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ДУГОВОЙ СВАРКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА Т120**

Рассмотрена технология получения сварных соединений с прочностью не менее 0,9 от прочности основного материала. При анализе влияния термического цикла сварки на титановые сплавы изучены диаграммы анизотермического превращения. Доработана методика изучения влияния термического цикла сварки на структурно-фазовые превращения в металле шва и зоне термического влияния экспериментального сложнoleгированного титанового сплава Т120 системы Ti-6,5Al-3Mo-2,5V-4Nb-1Cr-1Fe-2,5Zr и проведена оценка свойств его сварных соединений. Показано, что большие значения скоростей сварки обеспечивают фазовый состав металла шва и зоны термического влияния с меньшим количеством метастабильных фаз. Сварные соединения титанового сплава Т120, выполненные аргонодуговой сваркой, имеют значения показателей предела прочности 1162 МПа, что соответствует 97 % от прочности сплава.

**Ключевые слова:** титан, титановые сплавы, аргонодуговая сварка, структура сварного шва, диаграмма анизотермического превращения.

*V. Yu. BILOUS*

*E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

## **THE INFLUENCE OF THE ARC WELDING MODE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOY T120**

The technology of producing welded joints with a strength of at least 0.9 of the strength of the base material is considered. When analyzing the effect of the thermal welding cycle on titanium alloys, anisothermal transformation diagrams are studied. The methodology for studying the influence of the thermal cycle of welding on the structural-phase transformations in the weld metal and the heat-affected zone of the experimental complex-alloyed titanium alloy T120 of the Ti-6,5Al-3Mo-2,5V-4Nb-1Cr-1Fe-2,5Zr system is improved and the properties are evaluated its welded joints. It is shown that high values of welding speeds provide the phase composition of the weld metal and the heat affected zone with a smaller number of metastable phases. T120 titanium alloy welded joints made by argon arc welding have a tensile strength of 1162 MPa, which corresponds to 97 % of the alloy strength.

**Keywords:** titanium, titanium alloys, argon arc welding, weld structure, anisothermal transformation diagram.

**Бурченко, В. В.** Оценка состояния и перспективы совершенствования диагностики деталей и узлов подвижного состава / В. В. Бурченко, А. А. Маркавцов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 32–39.

*В. В. БУРЧЕНКОВ, А. А. МАРКАВЦОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИАГНОСТИКИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Приведены сведения о системах контроля технического состояния локомотивов и вагонов, рассмотрены условия эксплуатации и мониторинга содержания ответственных узлов подвижного состава. Сформулирована методика оценки состояния локомотивов и вагонов по градиенту нарастания деградационных процессов. Рассмотрены принципы расчета необходимого количества диагностических устройств для контроля технического состояния подвижного состава.

**Ключевые слова:** локомотивная диагностика, тепловой мониторинг, деградационные процессы, технический контроль, прогнозные оценки состояния.

*V. V. BURCHENKOV, A. A. MARKAVTSOV*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **ASSESSMENT OF CONDITION AND PROSPECTS OF DIAGNOSTICS IMPROVEMENT OF ROLLING STOCK PARTS AND UNITS**

There is given the information about systems for monitoring the technical condition of locomotive and car mechanical devices, the operation conditions and maintenance monitoring of rolling stock critical components are considered. A methodology for assessing the condition of locomotives and cars based on the gradient of increasing degradation processes is formulated. The principles of calculating the required number of diagnostic devices for monitoring the technical condition of rolling stock are considered.

**Keywords:** locomotive diagnostics, thermal monitoring, degradation processes, technical control, predictive assessments of the state.



**Ворожун, И. А.** Анализ корректности математических моделей соударения вагонов-платформ при упругом способе крепления на них ярусов труб / И. А. Ворожун // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 40–46.

*И. А. ВОРОЖУН*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **АНАЛИЗ КОРРЕКТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОУДАРЕНИЯ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ ПРИ УПРУГОМ СПОСОБЕ КРЕПЛЕНИЯ НА НИХ ЯРУСОВ ТРУБ**

Выполнен анализ полученных результатов по принятой математической модели процесса соударения различного количества вагонов при жестком и упругом способах крепления груза. Исследовано влияние коэффициента трения между ярусами труб и рамой платформы, а также предварительного натяжения упругих элементов крепления на величину остаточного продольного смещения труб относительно платформы при ее соударении с вагонами стенки. Корректность математической модели устанавливалась путем сопоставления результатов расчета с результатами, полученными при натурных испытаниях на соударение вагонов. Приведены рекомендации по использованию при выполнении расчетов количества вагонов стенки.

**Ключевые слова:** платформа, трубы, крепление грузов, динамические силы, соударение вагонов.

*I. A. VARAZHUN*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **CORRECTNESS ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF FLATCARS COLLISION AT AN ELASTIC FIXING METHOD FOR TIERS OF PIPES ON THE FLATCAR FRAME**

The analysis of the obtained results is carried out according to the accepted mathematical model of the collision process of a different number of cars with rigid and elastic methods of cargo fastening. There is investigated the effect of the friction coefficient between the tiers of pipes and the flatcar frame, as well as the pretensioning of elastic fastening elements on the value of residual longitudinal displacement of the pipes relative to the platform when it collides with the wall cars. The correctness of the mathematical model was established by comparing the calculation results with the results obtained during field tests for the cars collision. There are given the recommendations for the use of the wall cars number at performing calculations.

**Keywords:** flatcar, pipes, fastening of loads, dynamic forces, collision of cars.

**Галай, Э. И.** Оценка работы тормозного оборудования грузовых вагонов на участке Ангрэн – Пап АО «Узбекские железные дороги» / Э. И. Галай, С. Г. Инагамов, А. А. Юлдашов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 47–54.

*Э. И. ГАЛАЙ, С. Г. ИНАГАМОВ, А. А. ЮЛДАШОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ОЦЕНКА РАБОТЫ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА УЧАСТКЕ АНГРЭН – ПАП АО «УЗБЕКСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»**

Систематизированы основные неисправности груженых вагонов на основе изучения данных по отказам тормозного оборудования на линии Ангрэн–Пап, являющейся важным звеном для экономики Республики Узбекистан. Показано, что основные проблемы связаны со значительным износом тормозных колодок и повышением их температуры. Приведены результаты расчета износа чугунных колодок по толщине и оценка его зависимости от скорости движения подвижного состава для разных коэффициентов распределения теплового потока в колодке и уклонов. Также выполнен расчет критического времени непрерывного торможения. Показано, что при правильном диагностировании неисправностей имеется возможность устранения неравномерного износа тормозных колодок.

**Ключевые слова:** тормозное оборудование, грузовые вагоны, линия Ангрэн–Пап, неисправности вагона, критическое время торможения, износ чугунных колодок.

*E. I. HALAI, S. G. INAGAMOV, A. A. YULDASHOV*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **EVALUATION OF THE FREIGHT CARS BRAKING EQUIPMENT OPERATION ON THE ANGREN – PAP SECTION OF JSC "UZBEK RAILWAYS"**

The main malfunctions of loaded cars are systematized on the basis on the study of data on failures of brake equipment on the Angren – Pap railroad section, which is an important link for the economy of the Republic of Uzbekistan. It is shown that the main problems are associated with significant wear of brake pads and an increase in their temperature. The results of calculating the cast iron pads wear by thickness and an assessment of its dependence on the speed of the rolling stock for different coefficients of heat flow distribution in the pads and slopes are presented. The critical time of continuous braking is also calculated. It is shown that with correct diagnostics of malfunctions, it is possible to eliminate uneven wear of brake pads.

**Keywords:** braking equipment, freight cars, Angren – Pap line, car malfunctions, critical braking times, wear of cast iron pads.

Довгяло, В. А. Особенности среднего и капитального ремонтов специальных путевых машин / В. А. Довгяло, В. Л. Моисеенко, К. В. Максимчик, А. В. Дмитриев // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 55–62.

*В. А. ДОВГЯЛО, В. Л. МОИСЕЕНКО, К. В. МАКСИМЧИК, А. В. ДМИТРИЕВ  
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕГО И КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПУТЕВЫХ МАШИН**

Рассматриваются особенности среднего и капитального ремонтов специального подвижного состава, эксплуатируемого на Белорусской железной дороге. Представлены результаты работ по обновлению нормативной базы для проведения среднего и капитального ремонтов, осуществленных сотрудниками Белорусского государственного университета транспорта.

**Ключевые слова:** специальный подвижной состав, планово-предупредительная система обслуживания и ремонта, средний ремонт, капитальный ремонт, техническая эксплуатация, техническое обслуживание.

*V. A. DOVGYALO, V. L. MOISEENKO, K. V. MAKSIMCHYK, A. V. DMITRIEV  
Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **FEATURES OF MEDIUM AND CAPITAL REPAIRS OF SPECIAL RAILWAY TRACK MACHINES**

The features of mid-life and overhaul repairs of special rolling stock operated on the Belarusian Railway are considered. The results of work on updating the regulatory framework for medium and major repairs carried out by employees of the Belarusian State University of Transport are presented.

**Keywords:** special rolling stock, scheduled preventive maintenance and repair system, mid-life repair, overhaul, technical operation, maintenance.

**Коханенко, В. Н.** Собственные колебания пневмогидравлической рессоры / В. Н. Коханенко, П. В. Сиротин, А. И. Кондратенко, С. И. Евтушенко // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 63–67.

*В. Н. КОХАНЕНКО<sup>1</sup>, П. В. СИРОТИН<sup>1</sup>, А. И. КОНДРАТЕНКО<sup>2</sup>, С. И. ЕВТУШЕНКО<sup>3</sup>*  
*<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия*

*<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

*<sup>3</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

### **СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ**

Приводится решение методом переменного масштаба в общем виде нелинейных уравнений колебаний самоходных машин. Решение позволяет оптимально выбрать параметры системы при проектировании пневмогидравлических рессор состоящих из нескольких гасителей колебаний. Сравнение результатов расчета по предложенной модели с результатами, полученными другими авторами (другими методами), показывает достаточную для практики пользования точность (погрешность не превышает 5 %) при сравнении с параметрами, полученным экспериментально. Модель позволяет достаточно просто определить амплитуды, полупериоды и частоты собственных колебаний системы для дальнейшей оценки возможности резонансных явлений при последующих внешних воздействиях.

**Ключевые слова:** метод переменного масштаба, математическая модель, пневмогидравлическая рессора, собственные колебания системы, амплитуда, полупериод, частота.

*V. N. KOKHANENKO<sup>1</sup>, P. V. SIROTIN<sup>1</sup>, A. I. KONDRATENKO<sup>2</sup>, S. I. EVTUSHENKO<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russia*

*<sup>2</sup>Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

*<sup>3</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia*

### **SELF-OSCILLATIONS OF A HYDRO-PNEUMATIC SPRING**

There is demonstrated a solution of nonlinear equations of self-propelled machines' vibrations by the variable scale method in general form. The solution allows to select the system parameters optimally when designing pneumatic-hydraulic springs consisting of several vibration dampers. Comparison of calculation results obtained from the proposed model with the results achieved by other authors (by other methods) shows sufficient accuracy for practical use (not exceeding 5 %) in comparison with the experimentally obtained parameters. The model makes it quite easy to determine the amplitudes, half-periods, and frequencies of system natural oscillations for further evaluation of the possibility of resonant phenomena under subsequent external influences.

**Keywords:** variable scale method, mathematical model, pneumatic-hydraulic spring, natural vibrations of the system, amplitude, half-period, frequency.

**Кузнецова, М. Г.** Особенности эксплуатации, диагностики и прогнозирования состояния крепи вертикальных стволов шахт / М. Г. Кузнецова, Д. А. Диулин // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 68–80.

*М. Г. КУЗНЕЦОВА<sup>1</sup>, Д. А. ДИУЛИН<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

<sup>2</sup>*ОАО «Трест Шахтоспецстрой», Солигорск, Беларусь*

### **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ**

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при эксплуатации стволов шахт, выполнен обзор методов диагностирования, анализа и прогнозирования несущей способности вертикальных стволов шахт, в том числе с применением компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** вертикальные шахты, диагностика прочности, компьютерное моделирование стволов шахт, прогнозирование срока безопасной эксплуатации шахт.

*M. G. KUZNIATSOVA<sup>1</sup>, D. A. DZIULIN<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

<sup>2</sup>*JSC "Trest Shahtospecstroy", Soligorsk, Belarus*

### **SPECIFIC FEATURES OF OPERATION, DIAGNOSTICS AND FORECASTING OF THE CONDITION OF VERTICAL SHAFTS LINING**

The paper considers the main problems arising during the operation of mine shafts, there is carried out the review of the methods for diagnosing, analyzing and predicting the bearing capacity of vertical shaft shafts, including computer modeling application.

**Keywords:** vertical mines, diagnostics of strength characteristics, computer modeling of mine shafts, forecasting the safe operation of mines.

**Леоненко, Д. В.** Свободные колебания трехслойных стержней с учетом вязкого сопротивления / Д. В. Леоненко // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 81–87.

*Д. В. ЛЕОНЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ С УЧЕТОМ ВЯЗКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Рассмотрены свободные поперечные колебания упругого трехслойного стержня со сжимаемым наполнителем с учетом сил вязкого трения. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета приняты гипотезы Бернулли и Тимошенко. Система уравнений движения выведена вариационным методом Гамильтона. Получены аналитические решения для частот свободных колебаний и искомых перемещений.

**Ключевые слова:** трехслойный стержень, затухание, свободные колебания.

*D. V. LEONENKO*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **FREE VIBRATION OF THREE-LAYERED RODS TAKING INTO ACCOUNT THE FORCES OF RESISTANCE**

Free transverse vibrations of the elastic three-layered rod with a compressible filler are considered taking into account the forces of viscous friction. To describe the kinematics of a package asymmetric in thickness, the hypotheses of Bernoulli and Timoshenko are adopted. The system of motion equations is derived by Hamilton's variational method. The analytical solutions are obtained for the frequencies of free vibrations and the desired displacements.

**Keywords:** three-layered rod, damping, free vibrations.

**Локтионов, А. В.** Оценка эффективности работы машины и исполнительного механизма с резцовыми дисками / А. В. Локтионов // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 88–92.

*A. V. LOKTIONOV*

*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИНЫ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА С РЕЗЦОВЫМИ ДИСКАМИ**

Рассматривается эффективность применения комбайна при проведении выработок сечением менее 10 м<sup>2</sup>. Дана конструктивная оценка эффективности исполнительного механизма с резцовыми дисками. Рекомендовано для исключения контактирования боковых граней радиальных резцов с разрушаемым массивом устанавливать под углом по ширине диска два резца, которые поочередно работают основными боковыми гранями только при определенном перемещении исполнительного органа. Установлено, что машины с продольно-осевыми режущими головками целесообразно посредством съемных устройств оснащать различным режущим инструментам применительно к большому диапазону горно-технических условий.

**Ключевые слова:** проходческий комбайн, исполнительный орган, резец, производительность, экономическая эффективность.

*A. V. LOKTIONOV*

*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

## **EVALUATION OF OPERATION EFFICIENCY FOR A MACHINE AND AN ACTUATOR WITH INCISORIAL DISCS**

The mining heading machine use efficiency is considered at operation on workings with a cross section of less than 10 m<sup>2</sup>. A constructive effectiveness assessment of the actuator with cutting discs. To exclude the radial cutter side faces contact with breakable land mass it is recommended to install two cutting discs at an angle across the width, which in turn operate as the major side faces only at a certain executive body displacement. It has been established that it is expedient to equip with various cutting tools the machines with the longitudinal axial cutting heads for a large range of mining and technical conditions.

**Keywords:** mining heading machine, actuator, cutter, productivity, economic efficiency.

**Локтионов, А. В.** Кинематика режущего инструмента при сферическом движении исполнительного механизма проходческого комбайна / А. В. Локтионов, А. А. Сидорович // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 93–101.

*А. В. ЛОКТИОНОВ, А. А. СИДОРОВИЧ*

*Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь*

### **КИНЕМАТИКА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ СФЕРИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА**

Проанализированы методики расчёта кинематических параметров исполнительных механизмов проходческих комбайнов. Получены расчётные формулы для определения кинематических характеристик пространственного механизма в сферической системе координат. Рассмотрены кинематические углы резцов, которые при разрушении массива не должны превышать их геометрические значения. Дана сравнительная оценка методик расчёта кинематических характеристик с использованием кинематических уравнений Эйлера и матричным методом. Продемонстрировано, что расчёт матричным методом позволяет существенно упростить расчёт.

**Ключевые слова:** кинематический расчёт, исполнительный механизм, режущий инструмент, сферическое движение, матричный метод.

*A. V. LOKTIONOV, A. A. SIDOROVICH*

*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

### **THE KINEMATICS OF THE CUTTING TOOL AT A SPHERICAL MOVEMENT OF A MINING HEADING MACHINE ACTUATOR**

The methods of calculating the kinematic parameters of actuators are analyzed. The calculation formulas for determining the kinematic characteristics of the spatial actuator operating in a spherical coordinate system are obtained. The kinematic angles of the cutters are considered, they should not exceed their geometric values when the mass is destroyed. There is given a comparative evaluation of methods for calculating the actuator kinematic characteristics using the kinematic equations and Euler formulas and matrix method. It is shown that the usage of the matrix method can significantly simplify the calculation.

**Keywords:** kinematic calculation, actuator, cutting tool, spherical motion, matrix method.



**Маркавцов, А. А.** Совершенствование технологии акустико-эмиссионной диагностики подшипниковых узлов подвижного состава / А. А. Маркавцов, О. В. Холодилов, М. Г. Кузнецова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 102–107.

*А. А. МАРКАВЦОВ<sup>1,2</sup>, О. В. ХОЛОДИЛОВ<sup>2</sup>, М. Г. КУЗНЕЦОВА<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, Минск, Беларусь*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

В работе рассмотрены проблемы диагностики состояния буксовых узлов, обосновано применение метода акустической эмиссии для их неразрушающего контроля. В подпакете Static Structural инженерного программного комплекса ANSYS выполнено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния подшипникового узла под действием соответствующей реальной эксплуатационной нагрузки. Определены локальные области повышенных напряжений для последующей установки в них датчиков акустической эмиссии.

**Ключевые слова:** подвижной состав, буксовый узел, неразрушающий контроль, напряженно-деформированное состояние, акустико-эмиссионная диагностика.

*А. А. MARKAUTSOU<sup>1,2</sup>, А. U. HALADZILAU<sup>2</sup>, М. G. KUZNIATSOVA<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Construction-technological centre of Belarusian Railway, Minsk, Belarus*

*<sup>2</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **IMPROVEMENT OF AN ACOUSTIC-EMISSION DIAGNOSTICS TECHNOLOGY FOR THE ROLLING STOCK BEARING UNITS**

In the paper the problems of the axle boxes state diagnosing are considered, the acoustic emission method application for their non-destructive testing is reasoned. There was performed a computer simulation of the bearing axle stress-strain state under the action of the load corresponding to real operating conditions using the Static Structural subpackage of the ANSYS engineering software complex. Local areas of increased stress are determined for the subsequent installation of acoustic emission sensors in them.

**Keywords:** rolling stock, axle box unit, non-destructive testing, stress-strain state, acoustic emission diagnostics.

**Муслимов, А. П.** Исследование автоматической системы регулирования зазора гидростатических направляющих токарного станка / А. П. Муслимов, А. А. Алмасбеков, Р. Н. Аскарбеков // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 108–115.

*А. П. МУСЛИМОВ, А. А. АЛМАСБЕКОВ, Р. Н. АСКАРБЕКОВ*  
*Кыргызский государственный технический университет им. И. Разакова,*  
*Бишкек, Кыргызстан*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАЗОРА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ ТОКАРНОГО СТАНКА**

Важным вопросом при проектировании станков, предназначенных для финишной обработки деталей, является стабилизация зазора в гидростатических направляющих токарного станка, которая обеспечивает точность обработки изделий и увеличивает производительность труда. Представлена математическая модель разработанной автоматической системы регулирования зазора. Приведены результаты расчета, демонстрирующие эффективность разработанной системы.

**Ключевые слова:** гидростатические направляющие, зазор, гидросуппорт, регулятор расхода, усилитель.

*A. P. MUSLIMOV, A. A. ALMASBEKOV, R. N. ASKARBEKOV*  
*Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan*

### **RESEARCH OF THE AUTOMATIC CLEARANCE REGULATION SYSTEM OF LATHE HYDROSTATIC GUIDES**

An important issue in the design of machine tools for finishing parts is the stabilization of the gap in the hydrostatic guides of the lathe, which ensures the accuracy of processing products and increases labor productivity. The paper presents a mathematical model of the developed gap regulating automatic system. The calculation results are presented, they demonstrate the effectiveness of the developed system.

**Keywords:** hydrostatic guides, gap, hydraulic support, flow regulator, amplifier.

**Нестерович, А. В.** Радиальное и тангенциальное неосесимметричное нагружение круговой трехслойной пластины / А. В. Нестерович // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 116–121.

*A. V. NESTEROVICH*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **РАДИАЛЬНОЕ И ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ НЕОСЕССИММЕТРИЧНОЕ НАГРУЖЕНИЕ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ**

Исследовано деформирование трехслойной круговой пластины под действием неосесимметричных радиальных и тангенциальных нагрузок, приложенных к срединной плоскости заполнителя. Приведена система дифференциальных уравнений равновесия и методом Фурье для пластины с закрепленным контуром получено решение для случая нагрузок, изменяющихся по синусоидальному закону. Учтено влияние температуры на упругие характеристики материалов слоев. Проведен численный анализ решения.

**Ключевые слова:** трехслойная круговая пластина, неосесимметричное нагружение, радиальная нагрузка, тангенциальная нагрузка, температура.

*A. V. NESTEROVICH*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **RADIAL AND TANGENTIAL NON-AXISYMMETRIC LOADING OF A CIRCULAR THREE-LAYERED PLATE**

There is investigated a deformation of a three-layered circular plate under the action of nonaxisymmetric radial and tangential loads applied to the median plane of the filler. A system of equilibrium differential equations is presented, and its solution is obtained using the Fourier method at a constant amplitude of loads and a fixed contour of the plate. The influence of temperature on the elastic characteristics of the materials of the layers is taken into account. Numerical testing was carried out.

**Keywords:** three-layered circular plate, non-axisymmetric loading, radial load, tangential load, temperature.

**Романенко, В. Р.** Деформирование криволинейных участков железнодорожного пути под воздействием подвижного состава / В. Р. Романенко, А. Б. Невзорова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 122–127.

*V. R. ROMANENKO, A. B. NEUZORAVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Приведены систематизация данных и анализ причин деформации и отклонения от проектных значений кривизны железнодорожных путей на Белорусской железной дороге. Продемонстрировано, что сочетание нескольких видов деформаций на большом количестве кривых вызывает дополнительные динамические воздействия на путь и подвижной состав. Разработаны предложения по организации проведения выправочных работ с применением выправочно-подбивочно-рихтовочных машин типа ВПП без измерительной поездки по предварительно рассчитанным и скорректированным данным. Определена последовательность подготовки данных для машин ВПП по приведению кривых в проектное положение.

**Ключевые слова:** путевые работы, криволинейные участки, деформирование.

*V. R. ROMANENKO, A. B. NEUZORAVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **DEFORMATION OF RAILWAY TRACK CURVED SECTIONS UNDER THE ROLLING STOCK INFLUENCE**

Data systematization and analysis of the causes of deformation and deviation from the design values of the railway tracks curvature on the Belarusian railway are presented. It is established that the combination of several types of deformations on a large number of curves causes additional dynamic effects on the track and on the rolling stock. There was developed the proposals for the organization of straightening operations with the use of a VPR-type machine without a measuring trip based on pre-calculated and corrected data. The sequence of data preparation for VPR machines for bringing curves to the design position is determined.

**Keywords:** track works, curved sections, deformation.

**Сахаров, П. А.** Расчетно-экспериментальный метод исследования продольной динамики поезда / П. А. Сахаров // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 128–140.

*П. А. САХАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ПОЕЗДА**

Предложена модель продольной динамики поезда, учитывающая контактное взаимодействие автосцепок и реализованная в программном комплексе MSC.ADAMS. Разработанная модель позволяет учитывать упруго-диссипативные свойства каждого поглощающего аппарата вагонов, моделировать ситуации их заклинивания, учитывать зазоры между автосцепками и в соединениях с тяговыми хомутами, обеспечивая начальные параметры сжатого или растянутого поезда. Для повышения точности расчетов предложен расчетно-экспериментальный метод идентификации силовых характеристик поглощающих аппаратов, позволяющий на основании результатов динамических и статических испытаний амортизаторов разрабатывать их математические модели. Показано, что предлагаемое приведение расчетных выражений к унифицированному виду упрощает алгоритм численной реализации. Представлено сравнение результатов расчета динамического взаимодействия вагонов, выполненного по разработанной модели, с экспериментальными данными, которое показало высокую точность результатов моделирования.

**Ключевые слова:** моделирование движения поезда, продольная сила, поглощающий аппарат, унифицированная модель.

*P. A. SAKHARAU*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## **CALCULATION AND EXPERIMENTAL METHOD FOR TRAIN LONGITUDINAL DYNAMICS RESEARCH**

A model of the train longitudinal dynamics implemented in the MSC.ADAMS software package is proposed and it takes into account the contact interaction of automatic couplings. The developed model makes it possible to take into account the elastic-dissipative properties of each draft gear of the cars, to simulate the situations of their jamming, to take into account the gaps between automatic couplings and in the joints with traction clamps, providing the initial parameters of a compressed or stretched train. To improve the accuracy of calculations, a computational-experimental method for identifying the power characteristics of damper device is proposed. It allows to develop their mathematical models based on the results of dynamic and static tests of shock absorbers. It is shown that the proposed reduction of the calculated expressions to a unified form simplifies the algorithm for numerical implementation. There is presented a comparison of the results of the cars dynamic interaction calculating, performed according to the developed model, with experimental data, which showed the high accuracy of the simulation results.

**Key words:** train motion simulation, longitudinal force, damper device, unified model.

**Старовойтов, Э. И.** Изменение нейтронного потока при прохождении через трехслойную пластину / Э. И. Старовойтов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 141–146.

*Э. И. СТАРОВОЙТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ИЗМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ТРЕХСЛОЙНУЮ ПЛАСТИНУ**

Рассмотрено изменение величины интегрального нейтронного потока при прохождении через упругую трехслойную пластину. Согласно экспериментальным данным принято, что при малых деформациях изменение объема материала прямо пропорционально интегральному нейтронному потоку. Затухание потока при прохождении через материалы слоев принято экспоненциальным. Получены расчетные формулы для определения интегрального нейтронного потока в слоях пластины. Приведены расчетные зависимости.

**Ключевые слова:** трехслойная пластина, упругость, нейтронный поток, затухание.

*E. I. STAROVOITOV,*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **CHANGE IN THE NEUTRON FLUX AT PASSING THROUGH A THREE-LAYERED PLATE**

The change in the integral neutron flux value at its passing through an elastic three-layered plate is investigated. According to experimental data, it is assumed that for small deformations, the change in the material volume is directly proportional to the integral neutron flux. The flow damping at passing through the layers' materials is assumed to be exponential. There are obtained the formulas for changes in the integral neutron flux in the plate layers. Calculation dependencies are given.

**Keywords:** three-layered plate, elasticity, neutron flux, attenuation.

**Тариков, Г. П.** Определение трещиностойкости рельса при его контактном взаимодействии с колесом / Г. П. Тариков, Е. М. Акулова // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 147–153.

*Г. П. ТАРИКОВ<sup>1</sup>, Е. М. АКУЛОВА<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

*<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Гомель, Беларусь*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ РЕЛЬСА ПРИ ЕГО КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КОЛЕСОМ**

Решается задача об определении трещиностойкости рельса в системе «рельс – колесо». Приводится способ определения трещиностойкости рельса, учитывающий контактный характер взаимодействия рельса и колеса. Этот способ основан на совместном использовании теории контактных задач и механики разрушения. Представлен числовой пример.

**Ключевые слова:** колесо, рельс, контактная задача, коэффициент интенсивности напряжений, трещиностойкость.

*G. P. TARIKOV<sup>1</sup>, E. M. AKULOVA<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

*<sup>2</sup>Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

## **DETERMINATION OF RAIL CRACK RESISTANCE IN ITS CONTACT WITH WHEEL**

The problem of determining the rail crack resistance in the "rail-wheel" system is solved. A method for determining the rail crack resistance is given, taking into account the contact nature of the rail-wheel interaction. This method is based on the combined use of the theory of contact problems and fracture mechanics. A numerical example is presented.

**Keywords:** wheel, rail, contact interaction, stress intensity factor, crack resistance.

Особенности определения потерь в малорасходных насосах энергетических систем космических аппаратов / Е. В. Фалькова, Л. П. Назарова, А. А. Зуев, А. А. Арнгольд, Н. А. Данилов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 154–158.

*Е. В. ФАЛЬКОВА<sup>1</sup>, Л. П. НАЗАРОВА<sup>1</sup>, А. А. ЗУЕВ<sup>1</sup>, А. А. АРНГОЛЬД<sup>2</sup>,  
Н. А. ДАНИЛОВ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. акад. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

*<sup>2</sup>АО «Красноярский машиностроительный завод», Красноярск, Россия*

### **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ В МАЛОРАСХОДНЫХ НАСОСАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Проведен анализ режимных параметров малорасходных центробежных насосов используемых в энергетических системах летательных и космических аппаратах. С учетом используемых рабочих тел и диапазона температурного режима выявлено, что в полости между рабочим колесом и корпусом насоса реализуется ламинарное вращательное течение. Разработана методика определения потерь мощности на дисковое трение рабочего колеса.

**Ключевые слова:** дисковое трение, баланс мощности, малорасходный центробежный насос, динамический пространственный пограничный слой.

*Е. В. FALKOVA<sup>1</sup>, L. P. NAZAROVA<sup>1</sup>, A. A. ZUEV<sup>1</sup>, A. A. ARNGOLD<sup>2</sup>, N. A. DANILOV<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

*<sup>2</sup>JSC "Krasnoyarsk Machine Building Plant", Krasnoyarsk, Russia*

### **DETERMINATION OF LOSSES IN THE LOW MASS FLOW RATE PUMPS AND ENERGY SYSTEMS OF SPACE VEHICLES**

The operating parameters analysis for the low-consumption centrifugal pumps used in aircraft and spacecraft power systems is carried out. Taking into account the used working bodies and the temperature range, it was found that a laminar rotational flow is realized in the cavity between the impeller and the pump body. A method for determining the power loss due to the impeller disk friction is developed.

**Keywords:** disk friction, power balance, low-flow centrifugal pump, dynamic spatial boundary layer.



**Чаганова, О. С.** Расчет средств крепления строительных грузов на современных вагонах сочлененного типа / О. С. Чаганова, Т. И. Быстренкова, Е. В. Меньшова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 159–165.

*О. С. ЧАГАНОВА, Т. И. БЫСТРЕНКОВА, Е. В. МЕНЬШОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **РАСЧЕТ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ НА СОВРЕМЕННЫХ ВАГОНАХ СОЧЛЕНЕННОГО ТИПА**

Выполнен анализ способов размещения и средств крепления различных строительных грузов при перевозке в современных вагонах. Рассмотрен вариант погрузки поддонов с керамической плиткой и крепления их с помощью пневмооболочек в 20-футовом контейнере. Рассмотрены особенности крепления строительных конструкций на вагонах-платформах сочлененного типа.

**Ключевые слова:** строительный груз, вагоны сочлененного типа, крепление.

*O. S. CHAGANOVA, T. I. BYSTRANKOVA, K. V. MIANSHOVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **CALCULATION OF FASTENING MEANS FOR CONSTRUCTIONAL CARGOES TRANSPORTATION ON MODERN ARTICULATED CARS**

The analysis of placement methods and fastening means for different construction cargoes at their transportation by modern railway cars is carried out. There is considered the loading of car by pallets with ceramic tiles and their fastening using airbags in the 20-foot container. The features of constructional cargoes fastening on modern articulated cars are considered.

**Keywords:** construction cargoes, articulated rail cars, cargo fastening.

**Черноус, Д. А.** Оценка применимости модели Винклера основания для анизотропного покрытия / Д. А. Черноус, Е. В. Коднянко // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 166–182.

*Д. А. ЧЕРНОУС<sup>1</sup>, Е. В. КОДНЯНКО<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

*<sup>2</sup>ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Солигорск, Беларусь*

### **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛИ ВИНКЛЕРОВА ОСНОВАНИЯ ДЛЯ АНИЗОТРОПНОГО ПОКРЫТИЯ**

В осесимметричной постановке с использованием интегрального преобразования Ханкеля получено решение задачи теории упругости о действии распределенной нагрузки на покрытие, образованное трансверсально изотропным материалом, которое находится на изотропном основании. Предложен вариант решения задачи с помощью упрощенной модели, где для описания деформирования покрытия используется модель Винклера, а основание рассматривается как изотропное полупространство, нагрузки на которое передаются без изменений с внешней поверхности покрытия. Проведен сравнительный анализ результатов использования модели Винклера и точного решения, основанного на интегральном преобразовании.

**Ключевые слова:** упругий слой, трансверсально-изотропный материал, осесимметричная постановка, функция Лява, преобразование Ханкеля, модель Винклера.

*D. A. CHARNAVUS<sup>1</sup>, A. V. KADNIANKA<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

*<sup>2</sup>JSC "Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production", Soligorsk, Belarus*

### **ESTIMATION OF THE APPLICABILITY OF THE WINKLER BASE MODEL FOR ANISOTROPIC COATING**

A solution to the elasticity theory problem about the distributed load action on a located on an isotropic base coating formed by a transversely isotropic material is obtained in an axisymmetric formulation using the Hankel integral transform. There is proposed a variant of problem solving using a simplified model, where the Winkler model is used for the coating deformation description and the base is considered as an isotropic half-space loaded by the transferred without changes from the coating outer surface loads. The results comparative analysis is carried out for the Winkler model and the exact solution based on the integral transformation.

**Keywords:** elastic layer, transversally isotropic material, axisymmetric formulation, Lyav function, Hankel transform, Winkler model.

**Шимановский, А. О.** Влияние условий закрепления контура сэндвич-панелей на их напряженно-деформированное состояние / А. О. Шимановский, И. Е. Кракова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 183–188.

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, И. Е. КРАКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ КОНТУРА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ НА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ**

С помощью конечно-элементного моделирования в среде программного комплекса ANSYS анализируется напряженно-деформированное состояние прямоугольных трехслойных пластин при действии равномерно распределенного давления. Задача решается в упругой постановке с учетом геометрической нелинейности. Рассматривается влияние на деформации конструкции различных вариантов шарнирного закрепления контура сэндвич-панелей при наличии жесткой диафрагмы и без нее.

**Ключевые слова:** сэндвич-панель, напряженно-деформированное состояние, закрепление контура.

*А. О. SHIMANOVSKY, I. E. KRAKAVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **INFLUENCE OF THE SANDWICH PANELS' COUNTOUR FIXING CONDITIONS ON THEIR STRESS-STRAIN STATE**

The stress-strain state of rectangular three-layered plates under the action of a uniformly distributed pressure is analyzed with the help of finite element modeling in the ANSYS software package environment. The problem is solved in an elastic formulation, taking into account geometric nonlinearity. The article considers the influence of various options for hinged fixing of the sandwich panels contour with and without a rigid diaphragm on the structure deformation.

**Keywords:** sandwich panel, stress-strain state, contour fixing.

**Якубович, О. И.** Анализ прочности узла сочленения стрелы подъемно-транспортной машины / О. И. Якубович, А. О. Шимановский // *Механика. Исследования и инновации.* – 2020. – Вып. 13. – С. 189–193.

*О. И. ЯКУБОВИЧ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УЗЛА СОЧЛЕНЕНИЯ СТРЕЛЫ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ**

Аналитическим способом и путем конечно-элементного моделирования с применением программного комплекса ANSYS выполнен анализ напряженно-деформированного состояния узла соединения гидроцилиндра со стрелой, удерживающей люльку подъемного крана. Показано, что усталостное разрушение конструкции возможно не только при положениях стрелы, соответствующих ее наибольшему допускаемому вылету.

**Ключевые слова:** стреловой кран, узел соединения, усталостное разрушение, компьютерное моделирование.

*A. O. SHIMANOVSKY, V. I. YAKUBOVICH*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **STRENGTH ANALYSIS FOR THE BOOM JOINT NODE OF LIFTING AND TRANSPORTATION MACHINE**

The stress-strain state analysis for the node joint of hydraulic cylinder and the boom holding crane cradle was carried out analytically and by means of finite element modeling in the ANSYS software package. It is shown that fatigue failure of a structure is possible not only at boom positions corresponding to its maximum allowable outreach.

**Keywords:** jib crane, joint unit, fatigue failure, computer simulation.

**Алимкулов, М. М.** Повышение требований к конструкции верхнего строения пути железных дорог / М. М. Алимкулов, Б. А. Маханов, Б. А. Жаймаганбетов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 194–197.

*М. М. АЛИМКУЛОВ, Б. А. МАХАНОВ, Б. А. ЖАЙМАГАНБЕТОВ*

*Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Выполнен анализ конструкций верхнего строения пути, характерных для железных дорог Европы и Северной Америки. Рассматриваются технические решения, позволяющие уменьшить удельное давление на верх земляного полотна при увеличении интенсивности эксплуатации железных дорог.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, верхнее строение пути, балласт, земляное полотно, деформация земляного полотна.

*M. M. ALIMKULOV, B. A. MAKHANOV, B. A. ZHAYMAGANBETOV*

*Kazakh Academy of Transport and Communication named after M. Tynyspaev, Almaty, Kazakhstan*

## **INCREASING IN REQUIREMENTS TO THE TOP STRUCTURE OF THE RAILWAY TRACKS**

The analysis of the track superstructure, typical for the Europe and North America railways is carried out. There are considered the technical solutions, allowing to reduce the specific pressure on the top of the roadbed with the increasing in the operation intensity of railways.

**Keywords:** railway track, track superstructure, ballast, subgrade, deformation of subgrade.

Совершенствование методики измерения крутящего момента при испытаниях насосов двигателей летательных аппаратов / Л. П. Назарова, Д. А. Савчин, Е. В. Фалькова, Д. С. Швецова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 198–200.

*Л. П. НАЗАРОВА, Д. А. САВЧИН, Е. В. ФАЛЬКОВА, Д. С. ШВЕЦОВА*  
*Сибирский государственный университет науки и технологий*  
*им. акад. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НАСОСОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Рассматриваются предложения по усовершенствованию метода измерения крутящего момента при проведении гидродинамических испытаний насосов жидкостных ракетных двигателей.

**Ключевые слова:** стенд испытания насосов, балансирная рама, рейтерное устройство, крутящий момент, торсионный вал.

*L. P. NAZAROVA, D. A. SAVCHIN, E. V. FALKOVA, D. S. SHVETSOVA*  
*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,*  
*Russia*

### **IMPROVEMENT OF THE TORQUE MEASUREMENT METHOD FOR TESTING AIRCRAFT ENGINE PUMPS**

The paper considers the proposal of improving the method of torque measurement during the hydrodynamic tests of liquid rocket engines' centrifugal pumps.

**Keywords:** pump test stand, balanced frame, rider bed, torque, torsional shaft.

Динамическая модель пневмогидравлической рессоры / П. В. Сиротин, В. Н. Коханенко, С. И. Евтушенко, А. И. Кондратенко // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 201–204.

*П. В. СИРОТИН<sup>1</sup>, В. Н. КОХАНЕНКО<sup>1</sup>, С. И. ЕВТУШЕНКО<sup>2</sup>,  
А. И. КОНДРАТЕНКО<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия*

*<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

*<sup>3</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ**

Выполнен анализ структурной схемы пневмогидравлической рессоры (ПГР). С учетом особенностей распределения расходов жидкости в системе и изменения давления газа получено динамическое уравнение движения, описывающее динамику рессоры. По структуре это уравнение совпадает с уравнением затухающих колебаний. Его решение позволяет определить характеристики процесса собственных колебаний ПГР.

**Ключевые слова:** динамическая модель, рессора с двумя пневмопружинами, сжатие жидкости и газа, гидроцилиндр, дроссель, регулирование расхода.

*P. V. SIROTIN<sup>1</sup>, V. N. KOKHANENKO<sup>1</sup>, S. I. EVTUSHENKO<sup>2</sup>, A. I. KONDRATENKO<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

*<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia*

*<sup>3</sup>Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

## **DYNAMIC MODEL OF A PNEUMOHYDRAULIC SPRING**

The analysis of the structural diagram of the pneumohydraulic spring (PHS) is carried out. Taking into account the peculiarities of the distribution of liquid flow rates in the system and changes in gas pressure, a dynamic equation of motion is obtained and it describes the spring dynamics. In structure, this equation coincides with the damped oscillations equation. Its solution allows to determine the characteristics of the process of the PHS natural oscillations.

**Keywords:** dynamic model, spring with two pneumatic springs, compression of liquid and gas, hydraulic cylinder, throttle, flow control.

Вынужденные колебания пневмогидравлической рессоры / Е. В. Скринников, А. И. Кондратенко, В. Н. Коханенко, С. И. Евтушенко, Д. Б. Келехсаев // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 205–208.

*Е. В. СКРИННИКОВ<sup>1</sup>, А. И. КОНДРАТЕНКО<sup>2</sup>, В. Н. КОХАНЕНКО<sup>1</sup>, С. И. ЕВТУШЕНКО<sup>3</sup>, Д. Б. КЕЛЕХСАЕВ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, Новочеркасск, Россия*

*<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

*<sup>3</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

## **ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ**

Приводится решение нелинейных уравнений вынужденных колебаний, возникающих при движении сельскохозяйственных машин в реальных условиях. Считается, что вынуждающая сила имеет постоянное значение в течение заданного промежутка времени, причем движение поршня гидроцилиндра может осуществляться в любую сторону (ямка или выступ). Начальные условия решения предполагают движение из состояния покоя. Для случая малых колебаний системы получены зависимости от времени скорости и ускорения поршня гидроцилиндра.

**Ключевые слова:** внешнее возмущение, пневмогидравлическая рессора, вертикальные колебания кузова, решение нелинейных уравнений.

*E. V. SKRINNIKOV<sup>1</sup>, A. I. KONDRATENKO<sup>2</sup>, V. N. KOKHANENKO<sup>1</sup>, S. I. EVTUSHENKO<sup>3</sup>, D. B. KELEHSAEV<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russia*

*<sup>2</sup>Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

*<sup>3</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia*

## **FORCED OSCILLATIONS OF A HYDRO-PNEUMATIC SPRING**

The article provides a solution to nonlinear equations of forced oscillations arising from the movement of agricultural machines in real conditions. It is considered that the driving force has a constant value for a given time interval, and the movement of the hydraulic cylinder piston can be carried out in any direction (hole or protrusion). The initial conditions for the solution imply movement from a state of rest. For the case of small system oscillations, the time dependences of the hydraulic cylinder piston velocity and acceleration are obtained.

**Keywords:** external disturbance, pneumohydraulic spring, vertical body vibrations, solution of nonlinear equations.



Комплексный метод в теории теплоотдачи для полостей вращения насосов с кольцевой линией тока / Е. В. Фалькова, Л. П. Назарова, А. А. Зуев, А. А. Арнгольд, Н. А. Данилов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 209–212.

*Е. В. ФАЛЬКОВА<sup>1</sup>, Л. П. НАЗАРОВА<sup>1</sup>, А. А. ЗУЕВ<sup>1</sup>, А. А. АРНГОЛЬД<sup>2</sup>,  
Н. А. ДАНИЛОВ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

*<sup>2</sup>АО «Красноярский машиностроительный завод», г. Красноярск, Россия*

### **КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД В ТЕОРИИ ТЕПЛОТДАЧИ ДЛЯ ПОЛОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ НАСОСОВ С КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИЕЙ ТОКА**

Рассмотрено аналитическое решение уравнения энергии температурного пространственного пограничного слоя с учетом конвективной составляющей для криволинейных линий тока в граничных условиях элементов турбомашин с универсальной вариацией типов рабочих тел, характеризующихся изменением критерия подобия Прандтля в области  $Pr > 1$ , имеющей важное значение для развития ракетно-космической техники при проектировании двигателей и энергетических установок летательных аппаратов нового поколения с высокими энергетическими характеристиками.

**Ключевые слова:** закон теплообмена, температурный пограничный слой, коэффициент теплоотдачи, интегральное соотношение уравнения энергии.

*E. V. FALKOVA<sup>1</sup>, L. P. NAZAROVA<sup>1</sup>, A. A. ZUEV<sup>1</sup>, A. A. ARNGOLD<sup>2</sup>,  
N. A. DANILOV<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

*<sup>2</sup>JSC "Krasnoyarsk Machine Building Plant", Krasnoyarsk, Russia*

### **COMPLEX METHOD IN THE THEORY OF HEAT TRANSFER FOR PUMP ROTATION CAVITIES WITH AN ANNULAR CURRENT LINE**

The analytical solution of the temperature spatial boundary layer energy equation is considered, taking into account the convective component for curved current lines in the boundary conditions of turbomachine elements with a universal variation of the types of working bodies characterized by a change in the Prandtl similarity criterion in the region  $Pr > 1$ , which is important for the development of rocket and space technology in the design of engines and power plants of new generation aircraft with high energy characteristics.

**Keywords:** heat transfer law, temperature boundary layer, heat transfer coefficient, integral energy equation.

**Акулов, Н. В.** Совершенствование методики преподавания курса «Детали машин» и его интеграция со специальными дисциплинами / Н. В. Акулов, Е. М. Акулова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 213–218.

*Н. В. АКУЛОВ, Е. М. АКУЛОВА*

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

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА «ДЕТАЛИ МАШИН» И ЕГО ИНТЕГРАЦИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ**

Недостаточная разработанность проблемы взаимосвязи фундаментальной и специальной подготовки приводит к тому, что система знаний, умений и навыков студентов представляет собой конгломерат слабосвязанных сведений. Повсеместное применение автоматизированных систем приводит к коренным изменениям не только в производстве, но и в профессиональной подготовке студентов машиностроительного профиля. Разработанный и внедренный в учебный процесс электронный курс по дисциплине «Детали машин» способствует совершенствованию методики преподавания и оказывает существенную помощь студентам в освоении учебного материала. Отмечена важная роль интеграции курса со специальными дисциплинами.

**Ключевые слова:** методика преподавания, детали машин, электронный курс.

*N. V. AKULOV, E. M. AKULOVA*

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

### **IMPROVEMENT OF TEACHING METHODS FOR THE "MACHINE DETAILS" COURSE AND ITS INTEGRATION WITH SPECIAL DISCIPLINES**

The existing underdevelopment of the problem of the relationship between fundamental and special training leads to the fact that the system of knowledge, skills and abilities of students is a conglomerate of loosely coupled information. The widespread use of automated systems leads to fundamental changes not only in production, but also in the professional training of students in mechanical engineering. The electronic course on the discipline "Machine parts" developed and introduced into the educational process. It contributes to the improvement of teaching methods and provides significant assistance to students in its development. The important role of integration with special disciplines is noted.

**Key words:** teaching methods, machine parts, electronic course.

**Ахметова, З. П.** Использование проблемного обучения в высших учебных заведениях / З. П. Ахметова, Ф. Истамов, А. И. Дустов // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 219–231.

*З. П. АХМЕТОВА<sup>1</sup>, Ф. ИСТАМОВ<sup>2</sup>, А. И. ДУСТОВ<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт технологий и инновационного менеджмента, Куляб, Таджикистан*

*<sup>2</sup>Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ**

Выполнен анализ ситуации, связанной с развитием проблемного обучения в вузах и при обучении школьников. Приводятся авторские варианты применения методики проблемного обучения в образовательном процессе.

**Ключевые слова:** проблемное обучение, электронные ресурсы, система высшего образования, новые технологии в учебном процессе.

*Z. P. AKHMETOVA<sup>1</sup>, F. ISTAMOV<sup>2</sup>, A. I. DUSTOV<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Kulob Institute of Technology and Innovation Management, Kulob, Tajikistan*

*<sup>2</sup>Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan*

## **THE USE OF PROBLEM LEARNING IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

The analysis of the situation related to the development of problem-based learning in universities and in schoolchildren teaching is carried out. The author's variants of the problem learning methodology application to the educational process are given.

**Keywords:** problem learning, electronic resources, higher education system, new technologies in the educational process.

**Кольга, В. В.** Формирование профессиональных компетенций бакалавров аэрокосмических направлений при освоении дисциплины «Теоретическая механика» / В. В. Кольга, Е. Н. Фисенко // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 232–237.

*В. В. КОЛЬГА, Е. Н. ФИСЕНКО*

*Сибирский государственный университет науки и технологии  
им. акад. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия*

### **ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БАКАЛАВРОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

В статье рассматривается актуальная проблема путей повышения качества профессиональной подготовки бакалавров в области аэрокосмической техники. Прежние методы обучения бакалавров уже не соответствуют требованиям работодателей в части возможностей применения полученных знаний на реальном производстве. Перед вузами стоит задача поиска новых путей и методов подготовки студентов для проектирования современных летательных аппаратов. Авторами рассматривается процесс формирования профессиональных компетенций бакалавров в области аэрокосмической техники при изучении дисциплины «Теоретическая механика».

**Ключевые слова:** профессиональные компетенции, модель обучения; профессиональная подготовка бакалавров, аэрокосмические направления подготовки.

*V. V. KOLGA, E. N. FISENKO*

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

### **FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF BACHELORS IN AEROSPACE AREAS AT THE "THEORETICAL MECHANICS" COURSE LEARNING**

The article deals with the actual problem of ways to improve the bachelors professional training quality for the technical spheres of aerospace orientation. The previous methods of bachelors training no longer meet the requirements of employers, in terms of the possibilities of applying the knowledge gained in real production. Universities are faced with the task of finding new ways and methods of training students to design modern aircraft. The authors consider the process of professional competencies formation for the aerospace machines bachelors in the "Theoretical mechanics" course.

**Keywords:** professional competencies, training model, professional training of bachelors, aerospace training areas.

**Локтионов, А. В.** Вывод дифференциального уравнения малых колебаний эллиптического маятника методом Даламбера – Лагранжа / А. В. Локтионов, А. А. Сидорович // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 238–243.

*А. В. ЛОКТИОНОВ, А. А. СИДОРОВИЧ*

*Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь*

### **ВЫВОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА МЕТОДОМ ДАЛАМБЕРА – ЛАГРАНЖА**

Выполнено сравнение способов получения дифференциальных уравнений малых колебаний эллиптического маятника с помощью уравнений Лагранжа II рода и методом Даламбера – Лагранжа. Отмечается, что уравнение динамики целесообразно использовать при составлении дифференциальных уравнений механической системы с двумя и более степенями свободы.

**Ключевые слова:** эллиптический маятник, метод Даламбера – Лагранжа, дифференциальные уравнения.

*A. V. LOKTIONOV, A. A. SIDOROVICH*

*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

### **DERIVATION OF THE DIFFERENTIAL EQUATION FOR AN ELLIPTIC PENDULUM SMALL OSCILLATIONS BY THE D'ALEMBERT-LAGRANGE METHOD**

Comparison of methods for obtaining differential equations for the elliptical pendulum small oscillations using the Lagrange equations of the second kind and the d'Alembert-Lagrange method is performed. It is noted that the dynamics equation is advisable to be used when compiling differential equations of a mechanical system with two or more degrees of freedom.

**Keywords:** elliptic pendulum, d'Alembert-Lagrange method, differential equations.

**Шимановский, А. О.** Проведение XVI Международной олимпиады по теоретической механике в дистанционном формате / А. О. Шимановский, М. Г. Кузнецова, И. Е. Кракова // Механика. Исследования и инновации. – 2020. – Вып. 13. – С. 244–258.

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, М. Г. КУЗНЕЦОВА, И. Е. КРАКОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

### **ПРОВЕДЕНИЕ XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ В ДИСТАНЦИОННОМ ФОРМАТЕ**

Представлена информация о XVI Международной олимпиаде по теоретической механике, которая состоялась в Белорусском государственном университете транспорта в апреле 2020 г. Приведены условия и решения задач, сведения о результатах олимпиады.

**Ключевые слова:** теоретическая механика, олимпиада, условия задач, решения.

*A. O. SHIMANOVSKY, M. G. KUZNIATSOVA, I. E. KRAKAVA*  
*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

### **XVI INTERNATIONAL ENGINEERING MECHANICS CONTEST IN DISTANCE FORM**

There is presented the information about the 16th International Engineering Mechanics Contest which took place at the Belarusian State University of Transport in April 2020. The problem tasks and solutions and the Contest results information are demonstrated.

**Keywords:** engineering mechanics, contest, problem conditions, solutions.