

Мерейтой күндері.....	5
Әділбекова К. Б., Қаербеков Ж. Қ., Медведев А., Стаерова Н. Д.	
Пойыз жүрісінің жылдамдығын арттыру мақсатында теміржолды қайта құру.....	9
Евтушенко Т. Л., Ықсан Ж. М., Шумейко И. А.	
Тісті тәждің радиал ауытқымасының қалыптасуын талдау.....	19
Есхожин Д. З., Нөкешев С. О., Ахметов Е. С., Есхожин К. Д.	
Минералды тыңайтқышқа арналған ійінді қопсытқыштың конструкциясын және параметрлерін негіздеу.....	26
Зарипов Р. Ю.	
Автомобиль көлігінің күн элементтерін қолдануды талдау.....	36
Зарипов Р. Ю., Фисенко А., Фабдолла Ж., Серикпаев Т.	
Велогибридтер ретінде болашақ қалалар көлік жүйесінің элементі.....	46
Пинчук Г. Г., Таскарина А. Ж.	
Анод блогының сапасына гидравликалық баспалаудың параметрлерінің әсерін эксперименталды зерттеу.....	55

Абишев К. К., к.т.н., ассоц. профессор (главный редактор)
Мусина Ж. К., к.т.н., ассоц. профессор (ответственный секретарь)

Члены редакционной коллегии:

Abel Chavez, PhD, assistant professor (USA);
Igor M. Tkachenko, Dr. Sc., professor (Spain);
Mareks Mezitis, Dr.sc.ing., professor (Latvia);
Petr Bouchner, PhD, professor (Czech Republic);
Ronny Berndtsson, professor (Sweden);
Аликулов Д. Е., д.т.н., профессор (Узбекистан);
Барзов А. А., д.т.н., профессор (Россия);
Бекенов Т. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);
Бочкарёв П. Ю., д.т.н., профессор (Россия);
Витвицкий Е. Е., д.т.н., профессор (Россия);
Гумаров Г. С., д.т.н., профессор (Казахстан);
Иванчина Э. Д., д.т.н., профессор (Россия);
Калиакпаров А. Г., д.т.н., профессор (Казахстан);
Каракаев А. К., д.т.н., профессор (Казахстан);
Коновалов В. В., д.т.н., профессор (Россия);
Кудерин М. К., д.т.н., профессор (Казахстан);
Мендебаев Т. М., д.т.н., профессор (Казахстан);
Муслимов А. П., д.т.н., профессор (Кыргызстан);
Никитин Г. М., д.т.н., профессор (Казахстан);
Нуржауов А., д.т.н., профессор (Казахстан);
Танкович В. С., к.т.н., профессор (Беларусь);
Украинец В. Н., д.т.н., профессор (Казахстан);
Чайкин В. А., д.т.н., профессор (Россия);
Шапко В.Ф., к.т.н., профессор (Украина);
Шеров К. Т., д.т.н., профессор (Казахстан);
Янюшкин А. С., д.т.н., профессор (Россия);
Шокубаева З. Ж. (технический редактор).

Рындин В. В. Физикалық шамалардың өзара байланысы.....	63
Рындин В. В., Сиюнич Р. Н. Mathcad жүйесінде магистральдық мұнай құбырын зерттеу және есептеу.....	72
Салина В. А., Жучков В. И., Заякин О. В. Термодинамикалық модельдеу әдісімен кешенді никельхром қамтитын ферроқорытпаларды алу үшін силикотермиялық тәсілді зерттеу.....	85
Салыков Б. Р., Нечаев М. И. Автомобиль қозғалысының математикалық үлгілерін талдау.....	91
Сармурзин Г., Каракаев А. К., Бейсенова Х. З., Зарипов Р. Ю. Теміржол вагондарынан мұздатылған жүктерді тиімді түсірудің негізгі технологиялық шешімдері.....	95
Шаяхметов А. Б. Сутегі отынға көшудің келешегі.....	106
Авторларға арналған ережелер.....	115

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПАВЛОДАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА

СОДЕРЖАНИЕ

Юбилейные даты.....	5
Адильбекова К. Б., Каербек Д. Ж., Медведев А. С., Ставрова Н. Д. Реконструкция железнодорожного пути с целью увеличения скорости движения поездов.....	9
Евтушенко Т. Л., Ықсан Ж. М., Шумейко И. А. Анализ формирования радиального биения зубчатого венца.....	19
Есхожин Д. З., Нукешев С. О., Ахметов Е. С., Есхожин К. Д. Обоснование конструктивных и технологических параметров коленчатого вращателя для минеральных удобрений.....	26
Зарипов Р. Ю. Анализ применения солнечных элементов питания на автомобильном транспорте.....	36
Зарипов Р. Ю., Фисенко А., Ғабдолла Ж., Серикпаев Т. Велогибриды как элемент транспортной системы городов будущего.....	46
Пинчук Г. Г., Таскарина А. Ж. Экспериментальные исследования влияния параметров гидравлического прессования на качество анодных блоков.....	55
Рындин В. В. Взаимосвязь физических величин.....	63
Рындин В. В., Сиюнич Р. Н. Исследование и расчёт магистрального нефтепровода в системе Mathcad.....	72
Салина В. А., Жучков В. И., Заякин О. В. Изучение силикотермического способа получения комплексных никельхромсодержащих ферросплавов методом термодинамического моделирования	85
Салыков Б. Р., Нечаев М. И. К анализу математических моделей движения автомобиля.....	91
Сармурзин Г., Каракаев А. К., Бейсенова Х. З., Зарипов Р. Ю. Основные технологические решения по эффективной разгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов.....	95
Шаяхметов А. Б. Перспективы перехода на водородное топливо.....	106
Правила для авторов.....	115

КОРРЕКТОР:
А. Р. Омарова,
К. Б. Жетписбай

ВЕРСТКА:
А. К. Шукурбаева

© ПГУ им. С. Торайгырова

CONTENTS

Jubilee dates.....	5
Adilbekova K. B., Kaerbekov D. J., Medvedev A. S., Stavrova N. D. The rebuilding of the railway to increase speed of trains.....	9
Yevtushenko T. L., Yksan Zh. M., Shumeyko I. A. The analysis of the formation of the radial run-out of a gear rim.....	19
Eskhozhin D. Z., Nukeshev S. O., Akhmetov E. S., Eskhozhin K. D. Justification of the design and technological parameters of the cranked tedder for mineral fertilizers.....	26
Zaripov R. Analysis of application of solar cells to power road transport	36
Zaripov R., Fisenko A., Gabdolla Z., Serikpaev T. Velohybrids as an element of the transport system in the cities of the future.....	46
Pinchuk G. G., Taskarina A. Zh. Experimental researches of the influence of hydraulic pressing parameters on the quality of anode blocks.....	55
Ryndin V. V. The relationship of physical quantities.....	63
Ryndin V. V., Siunits R. N. Research and calculation of the main oil pipeline in Mathcad.....	72
Salina V. A., Zhuchkov V. I., Zayakin O. V. Study of a silicothermic method of complex nickel chrome-containing ferroalloys production by the thermodynamic modeling method.....	85
Salykov B. R., Nechaev M. I. To the analysis of mathematical models of movement of the vehicle.....	91
Sarmurzin G., Karakaev A. K., Beisenova H. Z., Zaripov R. Main technological solutions for effective unloading of frozen cargo from railways wagons.....	95
Shayakhmetov A. B. Perspectives of transition to hydrogen fuel.....	106
Rules for authors.....	115

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ



7 ноября 2017 года исполнилось 80 лет Алтыбасарову Мейраму Курмановичу – кандидату физико-математических наук, профессору кафедры «Механика и нефтегазовое дело» Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова.

Мейрам Курманович родился в селе Грязновка Павлодарской области. В 1957 году закончил среднюю школу села Лебяжье. После окончания средней школы работал завучем Лебяжинского районного комитета ЛКСМ Казахстана.

В 1959 году поступил на первый курс механико-математического факультета Казахского государственного университета имени С. М. Кирова (КазГУ).

В 1964 году окончил Казахский государственный университет имени С. М. Кирова по специальности «Математика» с присвоением квалификации «Математик – Дифференциальные и интегральные уравнения». После окончания КазГУ в январе 1965 года начал трудовую деятельность, как молодой специалист, в качестве ассистента кафедры «Высшая математика» Павлодарского индустриального института.

В период с 1970 по 1974 годы обучается в аспирантуре при КазГУ, по специальности – «Механика», по окончании которой успешно защищает кандидатскую диссертацию на тему «Некоторые вопросы динамики твердого тела, имеющего полости с жидкостью переменной массы», с присуждением ученой степени кандидата физико-математических наук.

В 1974 году возвращается в Павлодарский индустриальный институт на должность старшего преподавателя кафедры «Теоретическая механика». Далее идет карьерный рост: в 1975 году – и.о. доцента кафедры «Теоретическая механика», в 1976 году – заведующий кафедрой «Теоретическая механика».

В 1982 году решением Высшей аттестационной комиссии СССР присвоено учёное звание доцента по кафедре «Теоретическая механика».

В 1984 году избран на должность декана инженерно-строительного факультета, а в 1988 году – заместитель декана факультета довузовской и фундаментальной подготовки.

В 1993 году ему было поручена организация новой кафедры «Прикладная математика и механика».

В период с 1994 по 2004 годы работал проректором по учебной работе во вновь открытом Екибастузском инженерно-техническом институте имени К. Сатпаева.

В сентябре 2004 года был принят заведующим кафедрой «Архитектура и дизайн» Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова. В связи с состоянием здоровья в 2005 году был переведен на должность профессора этой кафедры.

С сентября 2006 года профессор кафедры «Основы конструирования машин», после ее реорганизации профессор кафедры «Двигатели и организация дорожного движения». С 2009 года по настоящее время – профессор кафедры «Механика и нефтегазовое дело».

Алтыбасаров Мейрам Курманович один из ветеранов университета, внёсший значительный вклад в его становление и развитие. Он обладает большой трудоспособностью, постоянно совершенствует свое педагогическое мастерство, делится своим опытом не только с молодыми специалистами, но и с людьми, имеющими достаточно большой опыт работы в ВУЗе, имеет более 50 публикаций по научной тематике и по методике обучения. Направление научной работы – исследование устойчивости движения твердого тела.

Алтыбасаров Мейрам Курманович подготовил студентов для участия на республиканских и международных олимпиадах по теоретической механике, которые занимали призовые места.

Он награжден медалью «Ветеран труда» в 1987 году, нагрудным знаком «Почетный работник образования Республики Казахстан» в 2005 году, медалью «С.Торайгыров атындағы Алтын медаль» в 2010 году, нагрудным знаком «За заслуги перед областью» в 2013 году. Мейрам Курманович имеет многочисленные благодарности, награждался ценными подарками и грамотами.

В 2009 году ему присвоено почетное звание «Почетный заведующий кафедрой Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова».

Мейрам Курманович человек тонкой души и интуиции, философ в душе, добр и бескорыстен, специалист высшей квалификации, имеющий большой авторитет среди коллег и студенческой аудитории.

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ



20 ноября 2017 года исполнилось 65 лет Кудерину Марату Крыкбаевичу – доктору технических наук, профессору, декану архитектурно-строительного факультета Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова.

Марат Крыкбаевич родился в селе Лебяжье Лебяжинского района Павлодарской области. После окончания средней школы в 1970 году поступил на первый курс Павлодарского индустриального института (ПИИ) по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Марат Крыкбаевич после окончания в 1975 году ПИИ, начал свою трудовую деятельность мастером строительного участка на производстве. В период с 1975 по 1976 годы работал мастером Павлодарского участка управления «СредАзСпецЭнергомонтаж». В 1976–1977 годы мастером Павлодарского мостоуправления «САСЭМ».

С 1978 года перешел на преподавательскую деятельность: преподавателем специальных дисциплин строительных отделений Красноармейского сельскохозяйственного, затем Павлодарского учетно-экономического техникумов.

С 1982 года трудовая деятельность Кудерина М. К. неразрывно связана с преподавательской деятельностью в Павлодарском государственном университете имени С. Торайгырова, здесь он прошел путь от ассистента кафедры «Строительные конструкции» до декана архитектурно-строительного факультета.

В 1986–1987 годы – ассистент, младший научный сотрудник кафедры испытательных сооружений Московского инженерно-строительного института имени В.В.Куйбышева.

В 1989 году он успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 2008 году – диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук, в 2010 году присуждено ученое звание профессора.

В 1989–1995 годы – ассистент, старший преподаватель, доцент, заведующий кафедрой Павлодарского индустриального института и Павлодарского государственного университета.

В 1995–1998 годы – исполняющий обязанности проректора по социально-экономическим вопросам и директор инженерно-строительного института учебно-научно-производственного комплекса (УНПК).

В 1998–2001 годы – директор ТОО «Агроцентр-Павлодар».

С 2001 года по настоящее время – декан архитектурно-строительного факультета Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова.

Наряду с преподавательской деятельностью Марат Крыкбаевич занимается научно-исследовательской работой, также руководит научно-исследовательскими работами магистрантов по специальности «Строительство». Под его руководством один соискатель защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук и более 15 магистрантов защитили магистерские диссертации. Дипломные работы студентов под руководством Кудерина М. К. неоднократно отмечались дипломами I и II степени на республиканских и международных конкурсах дипломных проектов.

По результатам научно-педагогической деятельности Кудериным Маратом Крыкбаевичем опубликованы более 200 научных и учебно-методических работ, в том числе 4 монографии, более 20 учебных пособий и 12 инновационных патентов на изобретения. Наиболее крупные публикации: «Расчет одноэтажного производственного здания со стальным каркасом», «Методы испытания строительных конструкций».

Марат Крыкбаевич – обладатель гранта «Лучший преподаватель вуза» Министерства образования и науки Республики Казахстан за 2007 год.

Кудерин Марат Крыкбаевич за результаты, достигнутые в научной, педагогической, изобретательской, научно-методической работе, за активную общественную деятельность неоднократно поощрялся почетными грамотами и благодарственными письмами администрацией университета, акимата области и города, а также Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Он награжден медалью «Золотая медаль С. Торайгырова», нагрудными знаками «Почетный работник образования Республики Казахстан», «Почетный строитель Казахстана», «За заслуги перед областью» и «За вклад в развитие науки Республики Казахстан».

Марат Крыкбаевич – профессионал, преданный науке, его ученики трудятся в проектно-изыскательских учреждениях региона и страны. Им разработана технология получения керамогранитных плит из местного сырья и создана научная школа ученых в строительной сфере.

ГРНТИ 73.29.11

**К. Б. Адильбекова¹, Д. Ж. Каербек², А. С. Медведев³,
Н. Д. Ставрова⁴**

^{1,2,3}студенты, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; ⁴ст. преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан e-mail: ¹kar9.96@mail.ru; ²dan-g-rose@mail.ru; ³medan966@gmail.com; ⁴nt_stavrova@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В статье рассмотрены проблемы, связанные с организацией перевозок на железной дороге в Республике Казахстан. В частности, произведен анализ современного состояния развития железных дорог и перспективы их реконструкции с применением длинных стометровых рельсов.

В основной части статьи рассмотрены основные этапы по внедрению длинных рельсов: производство, транспортировка и укладка. Производство длинных стометровых рельсов в Казахстане налажено на Актюбинском рельсобалочном заводе. Укладка длинномерных рельсов производства Актюбинского рельсобалочного завода, отличающихся высокими эксплуатационными и техническими характеристиками, увеличивает протяженность бесстыковых участков магистрали.

Для обеспечения транспортировки длинных рельсов в статье рассмотрен специальный подвижной состав и приспособления. Также описано оборудование и машины для подготовки путей и укладки рельсов на железнодорожных магистралях Казахстана.

Ключевые слова: реконструкция, рельсы, стыки, железнодорожный путь, бесстыковой путь, наибольшая допустимая скорость, закалка.

ВВЕДЕНИЕ

Казахстан обладает разветвлённой сетью железных дорог общей протяжённостью около 15341 километров (2013 г.); 6 тысяч из которых двухпутные и около 5 тысяч – электрифицированные. Развёрнутая длина главных путей – 18,8 тыс. км, станционных и специальных путей – 6,7 тыс. км. Значение железнодорожного транспорта в Казахстане очень велико. Более 68 % всего грузооборота и свыше 57 % пассажирооборота страны приходится на долю железных дорог. В железнодорожной отрасли на 2013 год, было занято более 160 тысяч человек, что составляло почти 1 % населения Казахстана (16 911 на 2013 год).

Большая часть сети находится под управлением Казахстанских железных дорог, малая часть относится к ведомствам горнодобывающих и нефтедобывающих отраслей [1].

Железнодорожный путь – это комплекс инженерных сооружений и обустройств, образует дорогу с направляющей рельсовой колеей, предназначен для бесперебойного круглогодичного обращения подвижного состава; является одним из важнейших технических средств железных дорог. Железнодорожный путь состоит из нижнего и верхнего строений. Верхнее строение пути

обычной конструкции состоит из рельсошпальной решетки, образованной рельсами, соединенными между собой стыковыми накладками, а со шпалами – промежуточными скреплениями, заглубленными в балластный слой, который вне искусственных сооружений опирается на основную площадку земляного полотна.

От состояния железнодорожного пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, объемы перевозок, а также эффективность использования подвижного состава [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Железнодорожный транспорт является важнейшим элементом экономики и транспортной системы государства [5].

Как с экономической, так и с экологической точек зрения грузовые железнодорожные перевозки необходимо считать наиболее предпочтительными при перевозках массовых перевозок грузов на дальние расстояния.

Одними из основных направлений развития транспорта является проектирование и создание высокоскоростных железнодорожных магистралей; совершенствование конструкции верхнего строения пути [6].

Реконструкция (модернизация) железнодорожного пути направлена на повышение прочности, несущей способности, стабильности, долговечности и других показателей надежности как железнодорожного пути в целом, так и его составных частей и элементов, обеспечивающих продление продолжительности жизненного цикла, сокращение трудоемкости и стоимости технического обслуживания пути и получение экономического эффекта при его эксплуатации.

Реконструкция железнодорожного пути, на котором намечается обращение пассажирских поездов со скоростями более 200 км/ч, должна выполняться в рамках комплексной реконструкции инфраструктуры железнодорожной линии по специально разработанным нормативам и требованиям.

Реконструкция железнодорожного пути должна проводиться в первую очередь на линиях 1–3 классов, подготавливаемых для скоростного движения пассажирских поездов, увеличения пропускной и провозной способности, повышения нагрузки на ось. Реконструкция больших мостов, тоннелей, галерей и автодорожных путепроводов должна проводиться по отдельным проектам.

Железнодорожный транспорт на перевозку грузов затрачивает в 7 раз меньше энергии, чем автомобильный транспорт и является наиболее экологически чистым.

Для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта необходимо решить ряд проблем, таких как: повышение скорости движения и широкое применение бесстыкового пути.

Бесстыковой путь (или бархатный) – условное наименование железнодорожного пути, расстояние между рельсовыми стыками которого значительно превосходит длину стандартного рельса (25 метров) [3].

Техническое и технологическое отставание железнодорожного транспорта Казахстана стало причиной снижения его конкурентоспособности по сравнению с другими видами транспорта в сфере пассажирских перевозок.

В Казахстане удельный вес скоростных сообщений пока незначителен в общем объеме железнодорожных пассажирских перевозок. Высокоскоростные линии (со скоростями движения более 250 км/час) отсутствуют.

Максимальная скорость пассажирских поездов сейчас – 140 километров в час.

Повышение скорости движения поездов должно осуществляться последовательно. Для скоростного движения должны реконструироваться существующие железнодорожные магистрали с максимальной скоростью движения пассажирских поездов не более 160–200 км/ч, и должны создаваться высокоскоростные специализированные железнодорожные магистрали (ВСМ) со скоростью движения поездов до 350 км/ч.

Так, средняя скорость поезда «Тулпар-Тальго» составляет 140 км в час, в то время как средняя участковая скорость движения на высокоскоростной линии Ухань – Гуаньчжоу в Китае протяженностью около 1 тыс. км превышает 310 км в час, а поездов TGV во Франции на ряде ВСМ (высокоскоростных магистралей) – от 250 до 275 км в час.

Перспективным направлением является создание выделенных линий для организации высокоскоростного движения пассажирских, и ускоренного движения грузовых поездов – высокоскоростных магистралей.

Широкое применение бесстыкового пути, при которых уменьшаются динамические нагрузки на колесо и снижается вибрация, влияющая на утомляемость пассажира.

Для каждого движущегося поезда существует наиболее возможная для него скорость, которую поезд может развить в зависимости от состояния пути – наибольшая допускаемая скорость, ограничиваемая правилами движения поездов. Для возможности обращения поездов большой скорости требуется прочное устройство пути и наименьшее сопротивление движению

Например, в данный момент стандартная длина рельсов нормальной колеи 12,5 и 25 м [3].

В таком случае, если продолжать использовать 25-метровые рельсы, то на 1 км пути будет большее количество стыков, чем при использовании 100-метровых рельсов, что не благоприятствует скоростному движению. Для организации скоростного движения предпочтительнее использовать длинномерные (100-метровые) рельсы (рисунок 1), поскольку они уменьшают количество стыков [14]. Итак, рассмотрим основные этапы по внедрению 100-метровых рельс на железные дороги Казахстана.

Производство. В Казахстане имеется Актюбинский рельсобалочный завод (далее АРБЗ), на котором производятся длинномерные рельсы ДТ350СС, которые предназначены для укладки железнодорожных путей широкой колеи скоростного совмещенного движения; имеют усовершенствованную геометрическую форму, обеспечивают плавное передвижение вагонов, комфорт пассажирам, позволяют развивать товарным составам высокую скорость, до 250 км/час [15].

Укладка длинномерных рельсов производства АРБЗ, отличающихся высокими эксплуатационными и техническими характеристиками, увеличивает протяженность бесстыковых участков магистрали.

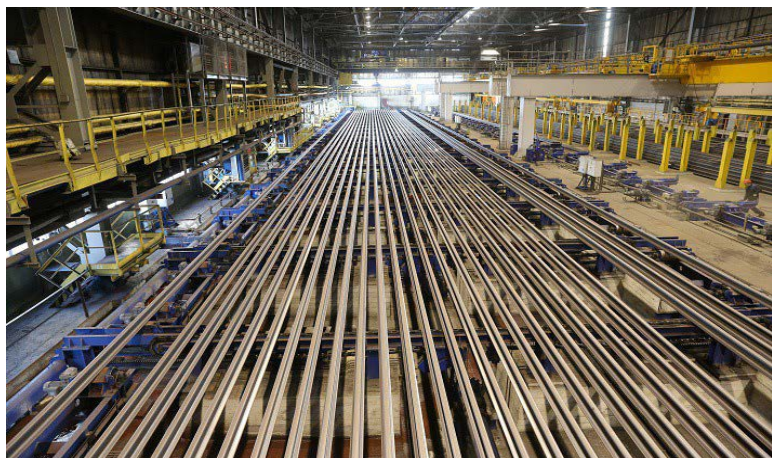


Рисунок 1 – Длинномерные 100-метровые рельсы

Данная продукция обеспечивает плавность и комфорт при движении пассажирских поездов, а также позволяет грузовым составам развивать повышенную скорость. АРБЗ является единственным на территории Евразийского экономического союза производителем длинномерных (120 метров) железнодорожных термоупрочненных рельсов стандарта Р-65. Это, в свою очередь, обеспечивает скоростное движение поездов, снижение расходов на содержание подвижного состава и самого пути, а также сокращает время в пути для пассажиров [5].

Технология изготовления длинномерных рельсов основана на дифференцированной двухсторонней закалке головки и подошвы рельса сжатым воздухом с прокатного нагрева с последующим самоотпуском за счет тепла внутренних слоев рельса (без специального нагрева для отпуска), схема которой показана на рисунке 2. Рельсовая заготовка поступает из электросталеплавильного цеха. Там обеспечивается требуемый химический состав рельсовой стали (дозированное содержание хрома, алюминия, кислорода, водорода, ванадия и некоторых других элементов). Из нагревательной печи заготовка подается на рельсопрокатный стан. В клетях стана формируют геометрический профиль рельса. Установка двухсторонней закалки обеспечивает упрочнение головки рельсов без потери пластичности металла. Далее на холодильнике с помощью системы из 196 вентиляторов температура снижается за 2 часа с 550 °С до 60 °С с регулируемой переменной скоростью. Охлажденный рельс поступает на роликотправильный комплекс, придающий ему прямолинейность в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Наконец, с помощью методов неразрушающего контроля идет проверка качества рельсов (размеров профиля и прямолинейности

рельса, наличия внутренних и поверхностных дефектов). Схема производства стометровых рельсов представлена на рисунке 3.

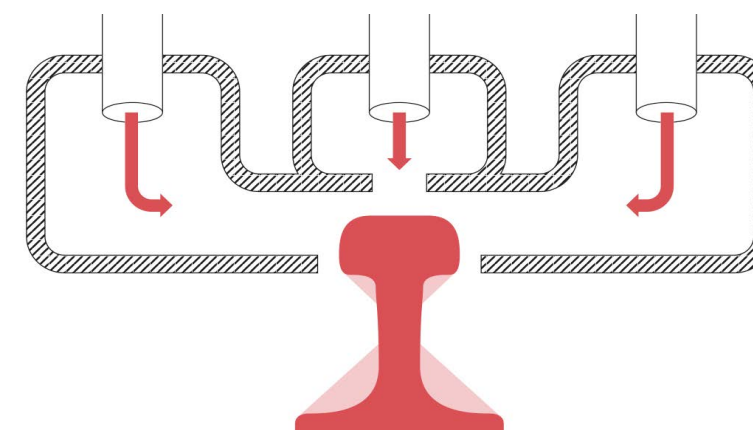


Рисунок 2 – Дифференцированная закалка головки рельса воздухом

В результате рельсы категории ДТ-350 имеют более высокий по сравнению с объемнозакаленными рельсами категории Т1 комплекс физико-механических свойств: предел выносливости, циклическую трещиностойкость, прямолинейность, вероятность безотказной работы (эксплуатационную надежность).

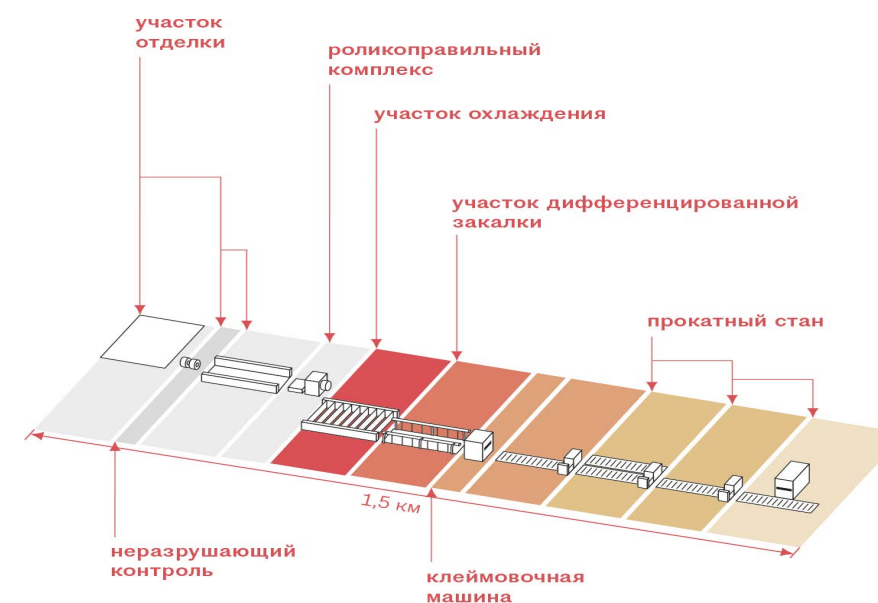


Рисунок 3 – Общая схема производства стометровых рельсов

Рельсы аналогичны лучшим в мире рельсам производства японской компании Nippon Steel, которые также изготавливаются из стали с повышенным содержанием хрома и термически упрочняются путем закалки сжатым воздухом с прокатного нагрева [5].

Сравнение характеристик новых длинномерных и прежних 25-метровых рельсов приведено в таблице 1 [17].

Таблица 1 – Сравнение основных показателей новых длинномерных 100-метровых рельсов ДТ-350 и прежних 25-метровых рельсов Т1

Наименование сертификационных показателей	Категория рельсов	
	ДТ350 (сталь Э76ХФ)	Т1 (сталь Э76Ф)
Твердость в шейке и подошве, НВ	менее 352 и 363	менее 388
Ударная вязкость, Дж/см	15	25
Содержание кислорода, %	менее 0,002	менее 0,004
Содержание алюминия, %	менее 0,004 %	менее 0,020
Содержание хрома, %	0,20–0,80 %	менее 0,20 %
Работоспособность (вероятность безотказной работы), %	100	80

Транспортировка. Перевозка железнодорожных рельсов на платформе железнодорожного состава требует определенных навыков и соблюдения мер предосторожности. Рельсы длиной 1,25 м при железнодорожной перевозке могут загружаться в полувагоны или на платформы. При загрузке на железнодорожную платформу необходимо установить по краям платформы четыре пары стоек. Это зафиксирует рельсы и не позволит им во время перевозки рассыпаться. Высота стоек должна быть на 20 см выше уровня перевозимых железнодорожных рельсов. После загрузки парные стойки, расположенные друг напротив друга, связываются проволокой не тоньше 6 мм, причем не в одну нить, а, как минимум, в пять нитей.

Сюжетные рельсы транспортируются по железнодорожным путям с помощью специально изготовленного сцеп из семи платформ, представленного на рисунке 4. Он сконструирован таким образом, что в ходе транспортировки при поворотах концы рельсов могут смещаться относительно оси сцепа, а центральная часть жестко стоит на месте. Это позволяет рельсам быть гибкими в поворотах и при этом не сдвигаться во время движения, торможения и удара, что обеспечивает безаварийную и безопасную транспортировку.



Рисунок 4 – Сцеп из платформ для перевозки длинных рельсов

Данное оборудование при установке на платформы инвентарного парка позволяет обеспечить максимально возможную загрузку 100 метровыми рельсами на подвижном составе.



Рисунок 5 – Съемное оборудование для перевозки рельсов

Съемное оборудование для перевозки рельсов длиной 100 м (рисунок 5) применяется для размещения рельсов, погруженных с технологических линий металлургических комбинатов, и перевозки рельсов на склад рельсосварочных предприятий, реконструированных для приема рельсов длиной 100 м. Оборудование размещается на четырехосных платформах модели ПМ-820 или универсальных платформах моделей 13-401, 13-4012 с нагрузкой на ось 23,5 т.

Укладка. Существуют два способа укладки стыкового железнодорожного пути: раздельный и звеньевой. При раздельном способе на место укладки доставляют шпалы, рельсы и крепления и эти элементы пути последовательно укладывают и собирают. Процесс укладки пути таким способом состоит из многих операций и поэтому трудно поддается механизации.

Звеньевая укладка пути предусматривает его монтаж из готовых звеньев, собираемых на специально оборудованных полигонах при более высокой степени механизации, чем это делается непосредственно на трассе дороги [4].

Строительно-монтажный поезд СМП состоит из путеукладчика и платформ, оборудованных универсальным съемным оборудованием УСО-4М, также в составе находятся моторно-дизельная платформа МПД для перетяжки пакетов РШР (рельсошпальной решетки).

После укладки путевой решетки на земляное полотно путь должен быть забалластирован и отрихтован на ось. При балластировке пути выполняются следующие операции:

- доставка и выгрузка балласта на земляное полотно;
- вывешивание путевой решетки и сдвиг её на ось;
- подведение балласта под вывешенную путевую решетку и его разравнивание;

– засыпка шпальных ящиков балластом с оправкой балластной призмы.

Балласт доставляется специальным подвижным составом, выравнивание и сдвиг на ось путевой решетки, подведение под неё балласта и его разравнивание, засыпка шпальных ящиков и оправка балластной призмы при больших объемах работ производится тяжелыми балластировочными машинами непрерывного действия, а при малых объемах работ – моторными домкратами и путеподъемниками, а так же, балластировочными машинами легкого типа, тракторными дозировщиками и ползучими путеподъемниками.

При всех видах ремонтов и текущем содержании пути производится выправка его продольного и поперечного профиля (нивелировка пути), выправка пути в плане (рихтовка), а также уплотнение балласта под шпалами (подбивка шпал). Выправка поперечного профиля предусматривает устранение перекосов (выправка по уровню). Для механизации этих работ применяют выправочно-подбивочные и путерихтовочные машины, которые разделяются на две группы: циклического действия, выполняющие одну или несколько операций за цикл с остановками у каждой шпалы, и непрерывного действия, выполняющие без остановок одновременно одну или несколько операций.

Для выправки и рихтовки пути применяются следующие машины:

– выправочно-подбивочно-отделочная машина ВПО-3000 производительностью до 3000 м/ч (применяется при выправке пути в продольном и поперечном направлениях, уплотнении балласта под шпалами, рихтовке и отделке пути при капитальном ремонте);

– выправочно-подбивочно-рихтовочная машина ВПР-1200 (применяется при текущем содержании пути на основных работах среднего и подъемочного ремонтов пути);

– выправочно-подбивочно-рихтовочная машина для пути и стрелочных переводов ВПРС-500;

– рихтовочная машина Р-2000,

– электробалластеры с рихтовочными устройствами [4].

ВЫВОДЫ

В условиях рыночной экономики одними из основных требований, предъявляемых к участникам железнодорожного рынка являются качество, надежность и скорость, а для обеспечения этих требований необходимы скоростные и надежные логистические маршруты.

Надежность и скорость – это основные показатели, к которым стремятся все операторы железнодорожных сетей, в связи с чем последние годы активными темпами проходит модернизация железных дорог.

Республика Казахстан имеет собственное производство длинных рельсов, оборудование и средства для транспортировки и укладки таких рельсов. Развитие производства вагонов Тулпар-Тальго в городе Астана, способных развивать скорость до 200 км/час, повышает необходимость реконструкции сети железных дорог.

Применение 100-метровых рельсов позволит упростить технологию, повысит безопасность, обеспечит плавность и бесшумность движения электропоездов, комфорт для пассажиров. Для организации скоростного движения предпочтительнее использовать именно длинные рельсы, поскольку они уменьшают количество стыков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Рзаев, Т. К., Закиров, Р. С.** Обеспечение ресурсосберегающих технологических решений при оздоровлении верхнего строения пути при скоростном движении поездов. – Алматы : Бастау, 2006. – 180 с.

2 **Исаенко, Э. П., Нурупбекова, Г. С.** О необходимости реконструкции земляного полотна магистральных железных дорог Казахстана // Инновационные технологии в развитии транспортно-коммуникационного комплекса Казахстана: Труды межд. научн.- техн. конф. – Алматы : КУПС, 2011 – С. 19–22

3 COSMOS/FFE User Guide. Ver.1.75. USA, California, Los Angeles, Structural Research and Analysis

4 **Омаров, А. Д., Закиров, Р. С. и др.** Новые конструктивные элементы верхнего строения пути городского рельсового и железнодорожного транспорта / Под ред. Р. С. Закирова, Ч. 1. – Алматы : Бастау, 2000. – 166 с.

5 Актюбинский рельсобалочный завод: информационный портал. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.arbz.kz>

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

К. Б. Әділбекова, Д. Ж. Қаербекөв, А. С. Медведев, Н. Д. Ставрова

Пойыз жүрісінің жылдамдығын арттыру мақсатында теміржолды қайта құру

Металлургия, машинажасау және көлік факультеті,

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 12.12.17 түсті.

K. B. Adilbekova, D. J. Kaerbekov, A. S. Medvedev, N. D. Stavrova

The rebuilding of the railway to increase speed of trains

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,

S. Toraihyrov Pavlodar State University,

Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.12.17.

Бұл мақалада Қазақстан Республикасындағы теміржолда тасымалдалды ұйымдастырумен байланысты мәселелер қарастырылған. Оның ішінде темір жол дамуының қазіргі жағдайына талдау жасалып, ұзын жүз метрлік рельстердің қолдануымен теміржолда қайта құру перспективалары қаралған.

Мақаланың негізгі бөлігінде ұзын рельстерді пайдалануға енгізудің негізгі кезеңдері көрсетілген, оның ішінде рельстерді өндіру, тасымалдау және төсеу бар. Қазақстанда ұзын 100 метрлік рельстерді өндіру Ақтөбе рельс арқалық зауытында жүргізіледі. Жоғары пайдалану және техникалық сипаттамаларымен ерекшелінетін, Ақтөбе рельс арқалық зауытында өндірілген ұзын өлшемдері рельстерді төсеу магистральдің түйіспесіз учаскелерінің ұзындығын арттырады.

Ұзын рельстердің тасымалын қамтамасыз ету үшін бұл мақалада арнайы жылжымалы құрам және құралдар қаралған және де Қазақстанның темір жол магистральдерінде жолдарды әзірлеуде және рельстерді төсеуге арналған жабдықтар мен машиналар көрсетілген.

The article considers the problems connected with transportation on the railway in the Republic of Kazakhstan. In particular, the analysis of the current state of development of Railways and the prospects for their reconstruction with the use of hundred-meter long rails.

In the main part of the article there are described the main steps for implementation of long rails – manufacture, transportation and laying. The production of hundred-meter long rail in Kazakhstan is established at the Aktobe rail and beam plant. Laying of long rails production Aktobe rail and beam plant of high operational and technical characteristics, increases the length of continuous sections of highway.

To ensure the transportation of long rail in the article of special rolling stock and accessories. Also describes the equipment and machines for the preparation of tracks and stacking the rails on railway lines in Kazakhstan.

ГРНТИ 55.03.07

Т. Л. Евтушенко¹, Ж. М. Ықсан², И. А. Шумейко³

¹магистрант, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; ²к.т.н., зав. кафедрой; Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; ³профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан e-mail: ¹evtushenko_95@mail.ru; ²ixan_0180@mail.ru; ³ivan_shumeiko@mail.ru

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНОГО БИЕНИЯ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА

В статье изложен анализ формирования радиального биения зубчатого венца, которое является одной из основных кинематических погрешностей зубчатого колеса. При анализе радиального биения учитывается схема установки заготовки при обработке на зубофрезерном станке модели 5310. В качестве объектов исследования используются косозубые и прямозубые зубчатые колеса с модулем $m=2$, количеством зубьев $z=27$. Измерения производятся с помощью универсальных метрологических средств. Представлен расчет размерной цепи установки заготовки и процента ошибки по результатам экспериментальных исследований, учитывая при этом практическую составляющую суммарной погрешности составных звеньев размерной цепи по отношению к радиальному биению зубчатого венца колес, полученному в ходе измерений.

Ключевые слова: зубчатый венец, радиальное биение, зубчатые колеса, зубофрезерование, зубофрезерный станок, размерная цепь, погрешность, установка заготовки, точность.

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении особое место занимает обеспечение качества продукции, где большее внимание уделяется точности и надежности машин. Являясь неотъемлемой частью этих машин, зубчатые передачи, во многом определяют их надежность. И, конечно, зубчатые колеса должны отвечать различным требованиям:

- максимальная передаваемая мощность;
- минимальный размер;
- минимальный шум (бесшумная работа);
- точное вращение / положение.

Для удовлетворения различных уровней этих требований требуется соответствующая степень точности зубчатых колес.

Известно, что на качество зубчатого колеса в большей степени влияет качество зубчатого венца. Зубчатый венец характеризуется очень большим количеством параметров и размеров, каждый из которых может иметь отклонения, возникающие в процессе изготовления. Различные параметры и их отклонения по-разному влияют на конечное качество зубчатого венца. Более того, в зависимости от области применения и дополнительных условий, те или иные параметры могут менять свою значимость.

На сегодняшний день существует множество исследований по оценке точности венца зубчатых колес. Например, в источнике [1] авторами рассматривается возможность уменьшения погрешности зубчатого венца путем создания заготовки с предварительно оформленными зубьями.

Автор статьи [2] рассматривает современные методы контроля качества цилиндрических колес и сравнивает их с устаревшими. Он утверждает, что ужесточение требований к деталям с зубчатыми венцами привело к тому, что за прошедшие 30 лет существенно изменилась технология обработки зубчатых колес. Появилась возможность реализовать более высокие требования к точности колес, что, в свою очередь, привело к дальнейшему ужесточению допусков, а значит и их контролю.

Также многие авторы занимаются исследованиями по анализу влияния отдельных видов погрешностей на точность зубчатых колес. В статьях [3, 4, 5] главную роль занимает кинематическая погрешность, в [6] – нагрузочная способность.

Мы же, в свою очередь, провели исследования формирования радиального биения зубчатого венца при установке заготовки на зубофрезерный станок модели 5310.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Радиальное биение зубчатого венца согласно ГОСТ 1643-81 – это разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси).

При проведении экспериментов по формированию радиального биения объектами исследования являлись типовые прямозубые и косозубые цилиндрические зубчатые колеса с модулем $m = 2$ мм, количеством зубьев $z = 27$, а также зубофрезерный станок модели 5310.

Методика проведения экспериментальных исследований включает в себя обработку заготовок на зубофрезерном станке и оценку параметров формирования погрешности. Поскольку погрешность установки заготовки на станок значительно влияет на формирование совокупных погрешностей, придерживались схемы установки, представленной на рисунке 1.

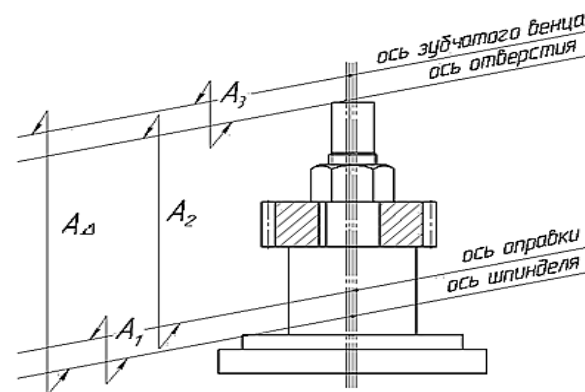


Рисунок 1 – Схема установки заготовки и формирование радиального биения зубчатого венца

Размерная цепь – ряд расположенных в определённой последовательности по замкнутому контуру линейных или угловых размеров, определяющих взаимное

расположение поверхностей детали, деталей в узле или узлов в машине. Поэтому для установки заготовки была составлена размерная цепь с учетом ряда допущений:

- ось отверстия перпендикулярна торцевой поверхности детали;
- ось оправки перпендикулярна опорной поверхности;
- упругие отжаты исключаются за счет снижения силы резания до минимума при использовании в качестве материала заготовки капролактама ГОСТ 7850-2013;
- фреза переточена, не имеет износа и не изнашивается при обработке всей партии деталей в связи с легкообрабатываемостью материала;
- для исключения влияния тепловых деформаций обработка каждой заготовки должна производиться не менее чем через 30–60 минут.

В итоге размерная цепь может быть записана в виде:

$$A_{\Delta} = \sum(\overline{A_1} + \overline{A_2} + \overline{A_3}), \quad (1)$$

где A_1 – смещение оси оправки относительно оси шпинделя (радиальное биение оправки)

A_2 – смещение оси отверстия относительно оси оправки (зазор между отверстием и оправкой)

A_3 – смещение оси делительной окружности зубчатого венца относительно оси отверстия

Но так как ось делительной окружности совпадают с осью шпинделя, радиальное биение зубчатого венца будет равно смещению оси делительной окружности относительно оси отверстия:

$$A_{\Delta} = A_3 = \sum(\overline{A_1} + \overline{A_2}), \quad (2)$$

Обработанные зубчатые колеса (рисунок 2) подвергаются метрологической оценке составных параметров, определяющих погрешность обработки.



Рисунок 2 – Обработка зубчатого колеса с учетом схемы установки заготовки

Каждый параметр измерялся с помощью определенных метрологических средств. Приняты универсальные средства измерения с целью возможности контроля даже в условиях предприятия с минимальной метрологической базой.

Радиальное биение оправки A_1 проводился с помощью индикаторной стойки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Измерение радиального биения оправки зубофрезерного станка модели 5310

Зазор между отверстием и оправкой A_2 измерялся с помощью нутромера и микрометра. Контроль радиального биения производился с использованием биенимера Б-10 м (рисунок 4).



Рисунок 4 – Измерение радиального биения зубчатого венца с помощью биенимера Б-10м

Результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Прямозубые зубчатые колеса				Косозубые зубчатые колеса			
№ з.к.				№ з.к.			
1	0,32	0,01	0,28	11	0,32	-0,04	0,3
2	0,32	0,01	0,29	12	0,32	0	0,29
3	0,32	0,01	0,27	13	0,32	0,09	0,36
4	0,32	-0,03	0,35	14	0,32	0,14	0,38

5	0,32	0,02	0,29	15	0,32	-0,01	0,28
6	0,32	0,01	0,38	16	0,32	-0,02	0,3
7	0,32	0,01	0,43	17	0,32	0	0,29
8	0,32	-0,03	0,27	18	0,32	0,03	0,31
9	0,32	0,06	0,35	19	0,32	0,18	0,39
10	0,32	-0,01	0,32	20	0,32	-0,02	0,29

Исходя из этих данных, рассчитан процент ошибки по формуле:

$$\varepsilon_{\text{ош.}} = \frac{|A_{\Delta\text{теор}} - A_{\Delta\text{практ}}|}{A_{\Delta\text{теор}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $A_{\Delta\text{теор}}$ – Суммарная погрешность, полученная путем расчета размерной цепи;

$A_{\Delta\text{практ}}$ – Радиальное биение зубчатого венца, полученное с помощью измерений.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Процент ошибки расчетов радиального биения зубчатого венца

Прямозубые зубчатые колеса				Косозубые зубчатые колеса			
№ з.к.				№ з.к.			
1	0,33	0,28	15	11	0,28	0,3	7
2	0,33	0,29	12	12	0,32	0,29	9
3	0,33	0,27	18	13	0,41	0,36	12
4	0,29	0,35	20	14	0,46	0,38	17
5	0,34	0,29	14,7	15	0,31	0,28	0
6	0,33	0,38	15	16	0,3	0,3	0
7	0,33	0,43	30,3	17	0,32	0,29	9
8	0,29	0,27	7	18	0,35	0,31	11
9	0,38	0,35	8	19	0,5	0,39	22
10	0,31	0,32	3	20	0,3	0,29	3,3

В результате анализа выяснилось, что средний процент ошибки измерения радиального биения зубчатого венца составил 11,7 %. Исходя из практики исследований, такая величина является допустимой с учетом влияния случайных погрешностей.

ВЫВОДЫ

Проведение экспериментальных исследований позволяют нам провести оценку взаимовлияния погрешностей на основе корреляционного анализа.

Корреляционный анализ – метод обработки, применяющийся с целью проверки гипотезы о статистической значимости двух и более переменных, если исследователь их может измерять, но не изменять.

В ходе проведения корреляционного анализа было выявлено, что при определении зависимости между радиальным биением ($A_{\Delta\text{практ}}$) и суммарной погрешностью ($A_{\Delta\text{теор}}$) (рисунок 5) коэффициент корреляции составил $r = 0,56$.

Так как $0,3 < |r| < 0,7$, то корреляция средняя, линейная, положительная.



Рисунок 5 – График зависимости радиального биения ($A_{Дпpакт}$) относительно суммарной погрешности ($A_{Дтеор}$)

Таким образом, проведенные исследования позволили установить причины образования составляющих радиального биения зубчатого венца на зубофрезерной технологической операции. Используя полученные зависимости по известным характеристикам точности оправки, технологических баз обрабатываемой заготовки можно достоверно определить наибольшие экстремальные значения радиального биения зубчатого венца колес.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Маликов, А. А., Малахов, Г. В., Михайлов, А. В.** Определение параметров зубчатого венца заготовок с предварительно оформленными зубьями // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – № 8. – Ч. 1 – С. 344–353.
- 2 **Локтев, Д. А.** Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес / Д. А. Локтев // Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 4. – С. 6–11.
- 3 **Люминараский, С. Е.** Влияние погрешности обката гибкого колеса на кинематическую погрешность ВЗП-80 / Наука и образование. – 2012. – С. 9.
- 4 **Забелин, Д. А.** Исследование образования кинематических погрешностей зубчатых колес на основе 3D-моделирования / Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2006. – № 1 (10).
- 5 **Антипенко, Г. Л., Судакова, В. А., Шамбалова, М. Г.** Оценка технического состояния зубчатых колес по анализу кинематической погрешности передачи. // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2016. – № 3 (52).
- 6 **Горлов, В. В.** Анализ влияния погрешностей профиля зуба на нагрузочную способность цилиндрических зубчатых колес / В. В. Горлов, Н. В. Сурина // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 10. – С. 15–19.
- 7 **Евтушенко, Т. Л., Ықсан, Ж. М., Шумейко, И. А., Ткачук, А. А.** The factors which influence accuracy of the processing of the cogwheels on the gear-hobbing machine // Материалы международной научно-практической конференции «VIII Торайгыровские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2016.

8 **Евтушенко, Т. Л., Ықсан, Ж. М., Шумейко, И. А.** Исследование методики комплексной оценки точности зубчатого колеса // Материалы международной научной конференции «XVII Сатпаевские чтения». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2017.

9 **Коваль, Ю. А., Айтпаева, А. Е., Ықсан, Ж. М.** Анализ современных методов контроля качества продукции // Наука и техника Казахстана. – 2012. – № 1–2. – С. 85–94.

10 ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 44 с.

11 ГОСТ 7850-2013. Капролактамы. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. – 12 с.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

Т. Л. Евтушенко, Ж. М. Ықсан, И. А. Шумейко

Тісті тәждің радиал ауытқымасының қалыптасуын талдау

Металлургия, машинажасау және келік факультеті,
С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

T. L. Yevtushenko, Zh. M. Yksan, I. A. Shumeyko

The analysis of the formation of the radial run-out of a gear rim

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Осы мақалада тісті тәждің радиал ауытқымасының қалыптасу талдауы сипатталған. Бұл тісті доңгелектің негізгі кинематикалық қателіктерінің бірі болып табылады. Радиал ауытқыманы талдау кезінде дайындаманы 5310 моделді тіс жоңғалау білегінде орнату сызбасы ескеріледі. Зерттеу объекті ретінде модулі $m=2$, тістер саны $z=27$ қиғаштісті және тұра тісті доңгалақтар пайдаланылады. Өлшемдер әмбебап метрологиялық құралдардың көмегімен жасалады. Экспериментті практикалық компоненттерін ескере отырып, дайындаманы орнатудың өлшем тізбек есебі және экспериментті зерттеу нәтижесі бойынша қателік пайызы ұсынылды. Өлшем тізбектің компоненттерінің жалпы қателігін өлшеу кезінде алынған тісті тәждің радиал ауытқымасына байланысты кесте құрастырумен корреляциялық талдау жасалады.

In the article there is stated the analysis of the formation of the radial run-out of a gear rim, which is one of the main kinematic errors of a cogwheel. In the analysis of radial run-out the scheme of blank installation when processing on the gear-hobbing machine of model 5310 is considered. As research objects there are used helical and straight-toothed cogwheels with the $m=2$ module, number of teeth $z=27$. The measurements are made using universal metrological means. The dimensional chain of blank installation is the error percent of a given dimensional chain is calculated from the results of experimental studies, taking into account with this practical component of the experiments. The correlation analysis with creation of the graph of dependence of the total error of the component links of the dimensional chain with respect to the radial run-out of the ring gear of the wheels obtained during the measurement is presented. A correlation analysis of these dependencies is performed.

Д. З. Есхожин¹, С. О. Нөкешев², Е. С. Ахметов³, К. Д. Есхожин⁴

^{1,2}д.т.н., профессорлар, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы;

^{3,4}к.т.н., доценттер, Техникалық факультет, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., 010011, Қазақстан Республикасы

e-mail: ³erzhanas_75@mail.ru

МИНЕРАЛДЫ ТЫҢАЙТҚЫШҚА АРНАЛҒАН ІЙІНДІ ҚОПСЫТҚЫШТЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ЖӘНЕ ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

Бұл мақалада авторлар бүгінгі таңда белгілі минералды тыңайтқышқа арналған құрылғыларды талдау негізінде ійінді қопсытқыштың конструкциясын ұсынды. Орындалған теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде оның технологиялық оңтайлы көрсеткіштерін анықтады.

Кілтті сөздер: минералды тыңайтқыш, тыңайтқыш енгізу машиналары, тыңайтқыш қопсытқыштар, ортадан тепкіш инерцияның моменті, сыртқы күштер, кинематикалық режим.

КІРІСПЕ

Астық өндірудің саны мен сапасын арттырудың аса маңызды жолының бірі – топыраққа қажетті мөлшерде тыңайтқыш енгізу. Қазақстан Республикасында астық беретін егін жайдың ауданы 20 млн. гектардан асады. Мұндай аймаққа органикалық тыңайтқыш жеткізу мүмкін емес. Демек, егінжай топырағының өнімділігін арттырудың бірден-бір мүмкіндігі, ол топыраққа бұршақталған фосфорлы-азотты-калийлі минералды тыңайтқыш енгізу.

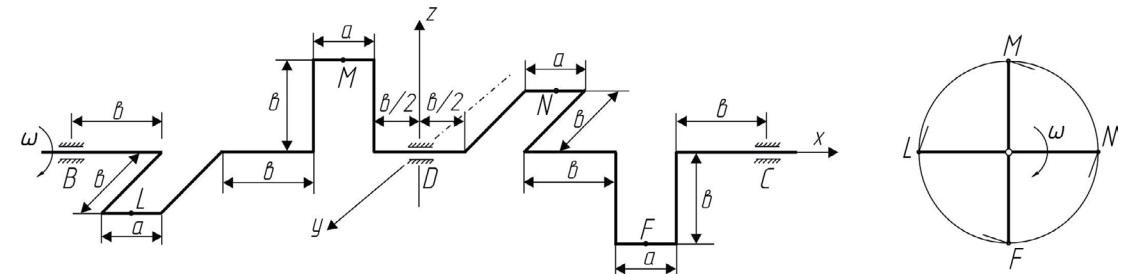
НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Минералды тыңайтқыштың ерекше қасиеттерінің бірі, оның ылғал тартқыштығы. Қаптан босаған тыңайтқыш шамалы уақыт ашық қалса, атмосфера ылғалын бойына тартып, кебе келе әртүрлі өлшемдегі түйір кесектерге өзгереді. Олар себу аппаратының алдына жинақталып, күмбез құрады. Ал соңғысы, тыңайтқыш жәшігінің ішіндегі материалдың себу аппаратына табиғи сусып ағуын тежейді де, жұмыс үдерісін тоқтатады [1, 2, 3].

Жоғарыда айтылған мәселені шешу үшін, тыңайтқыш жәшігінің ішіне қопсытқыш орнатады. Оның қызметі, бірінші, тұтасып қалған тыңайтқыш кесектерін ұсақтап, түйіршіктерге өзгерту, екінші – осы түйіршіктерді себу аппаратының қабылдаушы бөлігіне бағыттау [4, 5, 6].

Қазіргі кезеңге дейін, минералды тыңайтқышқа арналған қопсытқыштардың көптеген конструкциялары ұсынылды. Олар: ұрғыштар, қалақшалар ебелектер, серіппелер түріндегі қопсытқыштар. Бірақ, аталған қопсытқыштар өндірісте кең қолданыс таба алмай келеді. Себебі, біріншіден, олардың конструкцияларының күрделілігі, екіншіден – орындайтын жұмысының сапа төмендігі, үшіншіден – кейбір конструкцияның тыңайтқышты аса ұнтақтап, ұнға ұқсатып жіберетіндігі [7, 8, 9].

Көрсетілген кемшіліктерді болдырмау мақсатында С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінде, минералды тыңайтқышқа арналған ійінді қопсытқыш ұсынылып, теориялық және зертханалық зерттеулерден өтуде. 1-суретте ійінді қопсытқыштың сұлбасы көрсетілген. Ол үш тіректен В, D, С және төрт ійіннен L, M, N, F тұрады. Ійіндердің шетіне күрекшелер бекітілген. Ійінді қопсытқыштың жұмыс істеу реті келесідей. Қопсытқыш В, D, С тіректерінде ω бұрыштық жылдамдықпен айналғанда L, M, N, F күрекшелері кезекпен тыңайтқыш массасына сүңгіп отырады. Осы сүңгу барысында ол, кездескен тыңайтқыш кесектерін үгіте отырып, себу аппаратының қабылдаушы терезесіне жеткізіп отырады және, соның арқасында терезеге тыңайтқыштың табиғи құйылу үдерісін жолға қояды.



Сурет 1 – Ійінді қопсытқыштың сұлбасы

Суретте төрт ійінді қопсытқыш бейнеленген. Қажет болған жағдайда екінші шетіне еселеп жалғауға болады. Бұл сұлбада L және N ійіндері ху – горизонталь жазығында, ал M және F ійіндері хz – вертикаль жазығында орналасқан.

Ійінді біліктің ортадантепкіш инерциясының моментін – J_{xy} , J_{xz} , J_{yz} – ті табамыз. Ійінді біліктің массасын L, M, N, F нүктелерінде шоғырланған және өзара тең деп есептеуге болады, себебі х өсінің бойындағы буындар ортадан тепкіш инерция бермейді.

Классикалық механика қатты дененің ортадантепкіш инерцияның моментін келесі формулалармен есептейді [10, 11]:

$$J_{xy} = \sum_{k=1}^n m_k \cdot x_k \cdot y_k;$$

$$J_{xz} = \sum_{k=1}^n m_k \cdot x_k \cdot z_k;$$

$$J_{yz} = \sum_{k=1}^n m_k \cdot y_k \cdot z_k.$$

(1)

(1) – тендеулердегі сомалауларды массалары шоғырланған m_L , m_M , m_N , m_F нүктелеріне жіктейміз:

$$\begin{aligned}
 J_{yx} &= \sum_{k=1}^n m_L x_L y_L = m_L x_L y_L + m_M x_M y_M + m_N x_N y_N + m_F x_F y_F = \\
 &= m_L \cdot \epsilon [-(1,5a + 1,5\epsilon)] + m_M (-\epsilon) \left(\frac{a}{2} + \frac{\epsilon}{2}\right) = \\
 &= -\frac{3}{2} m_L a \epsilon - \frac{3}{2} m_L \epsilon^2 - m_M \frac{a\epsilon}{2} - m_M \frac{\epsilon^2}{2} = \\
 &= -m_L a \epsilon - m_L \epsilon^2 = -2m(a\epsilon + \epsilon^2) = -2m\epsilon(a + \epsilon); \\
 J_{yz} &= \sum_{k=1}^n m_L y_L z_L + m_M y_M z_M + m_N y_N z_N + m_F y_F z_F = 0,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

себебі, у осі қопсытқыштың басты симметрия осі және ортадантепкіш инерция моменті, басты инерция осі маңында нөлге тең.

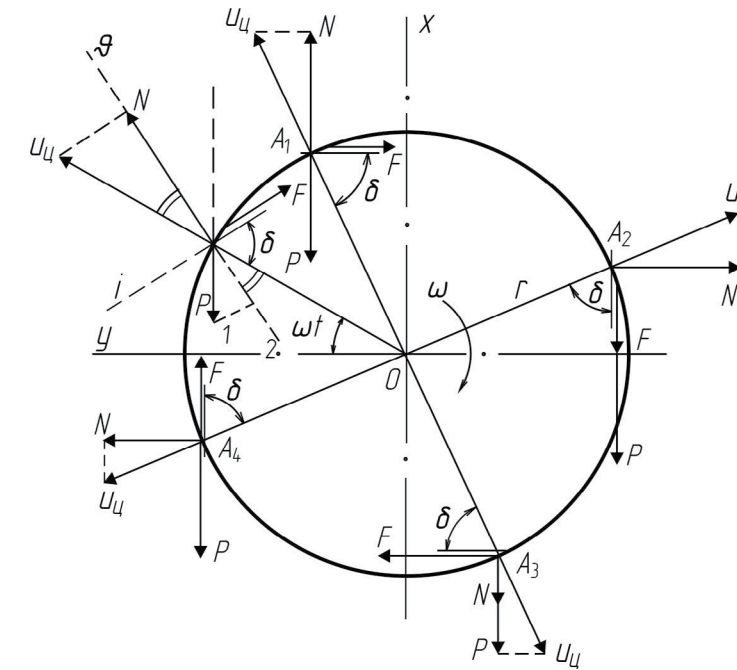
$$\begin{aligned}
 J_{zx} &= \sum_{k=1}^n m_L z_L x_L = m_L z_L x_L + m_M z_M x_M + m_N z_N x_N + m_F z_F x_F = \\
 &= m_M (\epsilon) \cdot [-(0,5a + 0,5\epsilon)] + m_F (-\epsilon) \cdot [1,5a + 1,5\epsilon] = \\
 &= -0,5m_M \epsilon \cdot a - 0,5m_M \epsilon^2 - 1,5m_F a \cdot \epsilon - 1,5m_F \cdot \epsilon^2 = \\
 &= -2ma\epsilon - 2, m\epsilon^2 = -2m\epsilon(a + \epsilon)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

(2) және (3) – теңдеулерден шығатын қорытынды - ійінді қопсытқыштың ортадан тепкіш инерциясының моменті өзара перпендикуляр екі жазықта теңдік сақтайды:

$$J_{yx} = J_{xz} = -2m\epsilon(a + \epsilon).
 \tag{4}$$

Ійінді қопсытқыштың бір ійінінің тыңайтқыш ортасында жұмыс істеу үрдісін қарастырамыз. 2-суретте ійінді қопсытқыштың бір ійіні OA көрсетілген. Ескеретін бір жағдай, ійіннің күрекше бөлігі A радиалды бағытқа (r) перпендикуляр орналаспаған – күрекше мен OA радиусі арасында δ бұрышы бар. Ол бұрыштың қызметін келесі талдаудан түсінуге болады. Егер күрекше мен жанама бағыты сәйкес болса (δ = π/2), күрекше тыңайтқыш массасына тіке сүнгійді, сондықтан салыстырмалы қозғалыс минималды болады.

Нәтижесінде қопсыту үрдісі де төмен деңгейде болуы тиіс. Егер ол бұрыш δ > π/2 болса, күрекше астыңғы бетімен тыңайтқышты центрге (0) қарай тығындайды, қопсудың орнына олар нығыздала түседі. Егер қарастырып отырған бұрыш δ < π/2 болса, күрекше тыңайтқышты центрден сыртқа тебеді, демек қопсыту үрдісі үдейе түседі.



Сурет 2 – Ійінді қопсытқышқа әсер ететін сыртқы күштер

Күрекше үстіндегі тыңайтқышқа әсер ететін барлық сыртқы күштер өзара тепе-теңдік сақтаса, тыңайтқыш та салыстырмалы тыныштығын сақтайды.

Тыңайтқышқа әсер ететін сыртқы күштер:

N – күрекше бетінің тыңайтқышқа нормальді әсері;

P = mg – тыңайтқыштың салмақтық күші;

F = fN – тыңайтқышпен күрекше арасындағы үйкеліс күші;

U_ц = ωr – тыңайтқыштың тасымалды қозғалыстағы ортадан тепкіш күші;

f = tg φ – тыңайтқыш пен металл арасындағы үйкеліс коэффициенті;

φ – тыңайтқышпен металл арасындағы үйкеліс бұрышы;

ω – ійінді қопсытқыштың айналу бұрышы;

r – ійін күрекшенің орналасу радиусі;

m – күрекшемен байланыстағы тыңайтқыштың массасы.

Күрекше, үстіндегі тыңайтқышпен бірге қозғалыс, t уақыт өткенде ωt бұрышына бұрылады. Оның орны A нүктесімен анықталады. Қозғалыс уақыты уақыты t₁, t₂,... ге ұзарса, күрекше де тыңайтқышпен бірге жаңа орынға – A₁, A₂,... нүктелеріне орналасады. Қозғалу бұрышы ωt ның мөлшеріне байланысты, жоғарыда аталған күштер де өз бағыттарын өзгертіп отырады.

A₁ нүктесінде күрекше OY өсіне қатынасты ωt₁ бұрышына бұрылған. N және P күштері қарама-қарсы және тепе-теңдік сақтайды. Қопсыту үрдісіне инерциалдық және үйкеліс күштері U_ц, F әсер етеді. A₂ нүктесінде F, P күштері бір бағытта, оларға қарсы инерциалдық күштің проекциясы әсер етеді. A₃ нүктесінде N, P күштері және U_ц күшінің проекциясы бір бағытта қопсытуға қатысады. A₄ нүктесінде F, P күштері қарама-қарсы және тепе-теңдік сақтайды. Қопсытуға U_ц күші қатысады.

Кез-келген орналасудағы A нүктесінің параметрлік теңдеулерін табымыз:

$$x = r \sin \omega t; \quad (5)$$

$$y = r \cos \omega t.$$

Бірінші туындылары арқылы аталған теңдеулерден күрекшенің жылдамдықтарын анықтауға болады:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \omega r \cos \omega t;$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -\omega r \sin \omega t. \quad (6)$$

Соңғы теңдеулердің туындылары арқылы күрекшенің үдеулерін анықтауға болады:

$$W_x = \frac{dV_x}{dt} = -\omega^2 r \sin \omega t; \quad (7)$$

$$W_y = \frac{dV_y}{dt} = -\omega^2 r \cos \omega t.$$

Егер тыңайтқыш күрекшеге қатынасты қозғалысыз деп есептесек, табиғай v өсіне қатысты, барлық күштер теңдік сақтауы тиіс:

$$N + U_y \cos (\angle U_y AN) = P \cos (\angle 1 A2). \quad (8)$$

Соңғы теңдеудегі бұрыштарды табамыз:

$$\angle 1A0 = \pi - \left(\frac{\pi}{2} + \omega t\right) = \frac{\pi}{2} - \omega t;$$

$$\angle U_y AN = \angle 2A0 = \frac{\pi}{2} - \delta.$$

$$\angle 1A2 = \angle 1A0 - \angle 2A0 = \delta - \omega t.$$

(8) – теңдеу мүшелерінің мәндерін және анықталған бұрыштарды пайдалану арқылы табылады:

$$N + m\omega^2 r \cos \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) = mg \cos(\delta - \omega t);$$

$$N + m\omega^2 r \sin \delta = mg \cos(\delta - \omega t);$$

$$N = mg[\cos(\delta - \omega t) - k \sin \delta]. \quad (9)$$

(9) – теңдеуде шартты белгілеу қабылданды:

$$k = \frac{\omega^2 r}{g}. \quad (10)$$

Келешекте k белгісін ійінді қопсытқыштың кинематикалық режимінің көрсеткіші деп қарастырып, оның мәнін ортадантепкіш және еркін құлау үдеулерінің қатынасы ретінде анықтаймыз.

Егер тыңайтқыш күрекшенің әсерінде болса, нормальді реакция оң мәнде болуы тиіс, яғни $N > 0$. Бұл жағдайда келесі шарт орындалуы қажет:

$$\cos(\delta - \omega t) > k \sin \delta. \quad (11)$$

Соңғы теңдеуді талдаймыз:

$$\cos \delta \cdot \cos \omega t + \sin \delta \cdot \sin \omega t > k \sin \delta;$$

$$k < \operatorname{ctg} \delta \cdot \cos \omega t + \sin \omega t. \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \delta < \frac{\cos \omega t}{k - \sin \omega t}. \quad (13)$$

(12) және (13) – теңдеулер арқылы ійінді қопсытқыштың кинематикалық режим көрсеткішін, ол арқылы (6 – теңдеу), қопсытқыштың бұрыштық жылдамдығын ω , оның радиусін r және күрекшенің орналасу бұрышын δ табуға болады.

Ійінді қопсытқыш t_1 уақыт айналғанда, ол ωt_1 бұрышына бұрылып, күрекше A_1 жағдайына келеді. Бұл жағдайда $N = P$, яғни тыңайтқыш күрекшемен байланысын жоғалтады да, одан бөлініп, өзінің дербес қозғалысын атқарады. Аталған жағдайдың туатын кезеңі ωt_1 және δ бұрыштары тең болғанда:

$$\omega t_1 = \delta$$

Бұл жағдай үшін (12) – теңдеуді басқаша жазуға болады:

$$k \leq \operatorname{ctg} \omega t \cdot \cos \omega t + \sin \omega t;$$

$$k \leq \frac{\cos^2 \omega t + \sin \omega t}{\sin \omega t}; \quad (14)$$

$$k \leq \frac{1}{\sin \omega t}.$$

Соңғы теңдеуден шығатын қорытынды, ійінді қопсытқыштың кинематикалық режим көрсеткіші, ійіннің айналу бұрышының синусына кері пропорционалды.

A_1 жағдайында күрекшеге әсер ететін сыртқы күштердің тепе-теңдігін қарастырамыз:

$$\sum x = N + U_y \cos \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) - P = 0; \quad (15)$$

$$\sum y = U_y \sin \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) - F = 0.$$

Құрылған теңдеулер жүйесі мүшелерінің мәндерін қоямыз:

$$N + m\omega^2 r \sin \delta = mg;$$

$$m\omega^2 r \cos \delta = fN. \quad (16)$$

(16) – жүйенің екінші теңдеуінен табылады:

$$N = \frac{1}{f} m\omega^2 r \cos \delta. \quad (17)$$

Теориялық механикадан белгілі [10], айналдыру қозғалысында массаны ортадантепкіш инерция моменті атқара алады. Олай болса (4) – теңдеуден x өсіне қатынасты ортадантепкіш инерция моментін табамыз:

$$J = \sqrt{J_{yx}^2 + J_{xz}^2} = \sqrt{8m^2 \epsilon^2 (a + \epsilon)^2} = 2\sqrt{2} m \epsilon (a + \epsilon). \quad (18)$$

(18) ді (17) ге қию арқылы табылады:

$$N = \frac{1}{f} 2\sqrt{2} \cdot m \epsilon (a + \epsilon). \quad (19)$$

(16) – жүйенің бірінші теңдеуінен (19) ды есептей отырып табылады:

$$\frac{1}{f} 2\sqrt{2} \cdot m\epsilon(a + \epsilon)\omega^2 r \cos\delta + 2\sqrt{2} \cdot m\epsilon(a + \epsilon)\omega^2 r \sin\delta = mg;$$

Алынған теңдеуді (10) ды ескере отырып өңдейміз:

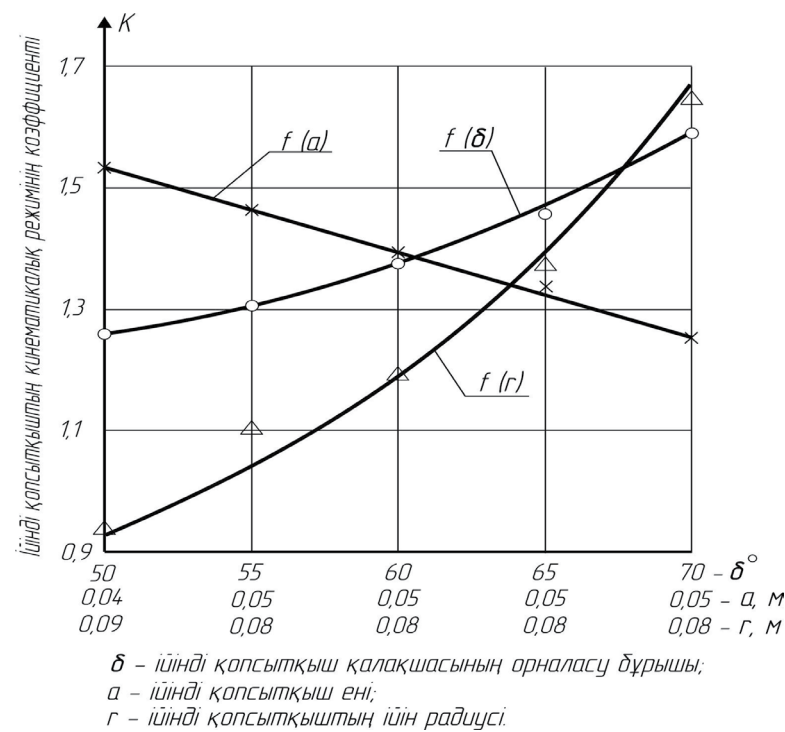
$$2k\sqrt{2} \cdot \epsilon(a + \epsilon) \left(\frac{1}{f} \cos\delta + \sin\delta\right) = 1; \tag{20}$$

$$k \leq \left[2\sqrt{2} \cdot \epsilon(a + \epsilon) \left(\frac{1}{f} \cos\delta + \sin\delta\right)\right]^{-1}.$$

(20) – теңдеу ійінді қопсытқыштың негізгі параметрлерін – бұрыштық жылдамдығын, радиусін, күрекшенің орналасу бұрышын, қозғалыстағы жүйенің инерциалды және үйкеліс қасиеттерін ескере отырып, байланыстырады.

Кесте 1 – Ійінді қопсытқыш кинематикалық режимінің конструкторлық параметрлер мен байланысы

$r = 0,06$ м $\delta: a = 0,06$ м $b = 0,17$ м	К	$r = 0,06$ м $a: b = 0,17$ м $\delta = 60^\circ$	К	$a = 0,06$ м $r: b = 0,17$ м $\delta = 60^\circ$	К
50	1,257	0,04	1,515	0,05	1,652
55	1,315	0,05	1,449	0,06	1,377
60	1,388	0,06	1,388	0,07	1,18
65	1,474	0,07	1,333	0,08	1,033
70	1,582	0,08	1,274	0,09	0,918



Сурет 3 – Ійінді қопсытқыш кинематикалық режимінің конструкторлық параметрлерімен байланысы

1-ші суретте ійіннің радиусі v -ға тең деп қабылданған. (20) – теңдеудегі жәй жақша алдындағы v таңбасы сол радиусті көрсетеді. Келешекте кездесетін есептерді шығару үшін ол v ны r ге алмастырған жөн. Бұл жағдайда (20) – теңдеу келесі өң қабылдайды:

$$k \leq \left[2\sqrt{2} \cdot r(a + \epsilon) \left(\frac{1}{f} \cos\delta + \sin\delta\right)\right]^{-1} \tag{21}$$

Алынған теориялық байланысты толық түсіну үшін, ғылыми ақпарат көздерінен (21) – теңдеуге қатысты мүшелердің сандық мәндерін қабылдаймыз. СЗС-2,0 сепкішінің себу аппаратының ара қашықтығы 23,0 см. Ійінді қопсытқыш осы сепкіштің жәшігі ішіне орналасады. Сондықтан, қопсытқыш қалақшалары ара қашықтығы да 23,00 см болуы тиіс. Конструкторлық белгілі өлшемдерге сүйеніп, келесі параметрлерді қабылдаймыз [12, 13, 14]:

$\delta = 50 - 70^\circ$ – ійінді күрекшелердің орналасу бұрышы;

$a = 0,04 - 0,08$ м – қопсытқыш күрекшесінің ені;

$v = 0,17$ м – екі қопсытқыш күрекшесінің ара қашықтығы;

$r = 0,05 - 0,09$ м – қопсытқыш ійіннің радиусі;

$f = 0,5$ – минералды тыңайтқыш пен металл арасындағы үйкеліс коэффициенті.

Есептеу нәтижелері 1-ші кестеде және ійінді қопсытқыш кинематикалық режимінің конструкторлық параметрлермен байланысы графиктер түрінде, 3-ші суретте берілген. Суреттен көрінгеніндей, күрекшенің орналасу бұрышы өскен сайын, кинематикалық режим көрсеткіші де өсе түседі. Керісінше, қопсытқыштың ені өскен сайын, кинематикалық режим көрсеткіші төмендейді. Осы қайшылықты пайдаланып, оптимальді режимді анықтауға болады. Суретте $f(a)$ және $f(\delta)$ графиктері $\delta = 60^\circ$ және $a = 0,06$ м нүктесінде қиылысады. Бұлар күрекшенің орналасу бұрышы мен күрекше енінің тиімді өлшемдері. Оларға $k = 1,38$ – кинематикалық режим көрсеткіші сәйкес келеді. Сол сияқты $f(a)$ және $f(r)$ графиктері $a = 0,067$ м және $r = 0,062$ м нүктесінде қиылысады. Оларға сәйкес $k = 1,34$. Шығатын қорытынды – ійінді қопсытқыштың оптимальді параметрлері:

$a = 0,06 - 0,067$ м

$r = 0,062 - 0,07$

$\delta = 60 - 64^\circ$

Қопсытқыштың айналу жиілігін $k = 1,34 - 1,38$ мәні арқылы (10) – теңдеуден табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Өзінің физикалық-механикалық қасиеттерінің әсерінен, минералдық тыңайтқыштар бойына ылғал тартқыш қасиетімен ерекшеленеді. Нәтижесінде, олар әртүрлі өлшемдегі кесектерге өзгеруге бейімді. Ол кесектер себу терезесінің алдына күмбез құрып, себу үдерісін тоқтатады. Белгілі тыңайтқыш қопсытқыштардың сараптау нәтижесінде өндіріске ійінді қопсытқыш ұсынылады. Орындалған теориялық және эксперименттік зертеулердің нәтижесінде ійінді қопсытқыштың оңтайлы параметрлері анықталады: қопсытқыш күрекшесінің ені $a = 0,06 - 0,07$ м; қопсытқыш ійінінің радиусі $r = 0,062 - 0,07$ м; ійінді күрекшенің орналасу бұрышы $\delta = 60^\circ - 64^\circ$; ійінді қопсытқыштың кинематикалық режимі $k =$

1,34–1,38. Осы параметрлермен орындалған қопсытқыш, зертханалық сынақтарды себу біркелкісіздігін 12,7 % - ға көтеруге төмендетуге мүмкіндік берді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Нукешев, С. О.** Научные основы внутрпочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений в системе точного земледелия. Монография. – Астана, 2011. – 358 с.

2 **Nukeshev, S. O., Lichman, G. I., Marchenko, N. M.** Substantiation of requirements to quality of application of mineral fertilizers In system of PRECISION agriculture // S. Seifullin Kazakh Agro Technical University Science Review. – Astana, 2007. – Vol. I (1). – P. 59–67.

3 **Измайлов, А. Ю., Личман, Г. И., Марченко, Н. М.** Точное земледелие проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9–14.

4 **Нукешев, С. О., Есхожин, Д. З., Әбдіров, А. М.** Конусты-винттік қопсытқыштың негізгі көрсеткіштерін негіздеу // Жаршы. – № 4 (195). – 2009. – 66–69 б.

5 **Нукешев, С. О., Есхожин, Д. З., Аскарова, А. Ж.** Результаты теоретического исследования коническо-винтового ворошителя // Актуальные проблемы современности. Международный научный журнал. Серия «Технические науки». № 1 (35) – Караганды : Болашақ-Баспа, 2009. – С. 63–65.

6 **Преображенский, П. А.** Расчёт двухспирального смесителя с сопряжёнными спиралями / П. А. Преображенский, Б. Ю. Ланге, А. А. Александровский // Спирально-винтовые транспортёры (гибкие шнеки) и смесители. – Казань, 1970. – С. 138–152.

7 **Кленин, Н. И., Киселев, С. Н., Левшин, А. Г.** Сельскохозяйственные машины: учебник и учебное пособие. – М. : Колос, 2008. – 816 с.

8 Сборник агротехнических требований на сельскохозяйственные машины и тракторы. – Т. XI. – М. : ЦНТИИТЭН сельхозтехники, 1990. – 342 с.

9 **Адамчук, В. В.** Обоснование процесса работы и параметров шнековых распределительно-высевающих систем машин для внесения твердых минеральных удобрений: Дисс. ... канд. техн. наук. – Глеваха, 1985. – 284 с.

10 **Дронг, В. И. и др.** Курс теоретической механики / Под ред. Колесникова К.С. М.МГТУ, 2005. – 736 с.

11 **Маркеев, А. П.** Теоретическая механика. Учебник для университетов. М. : 1999. – 572 с.

12 **Кленин, Н. И., Сақун, В. А.** Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – Изд. 2. – М. : Колос, 1980. – 671 с.

13 **Листопад, Г. Е. и др.** Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М. : Агропромиздат, 1986. – 688 с.

Материал баспаға 12.12.17 түсті.

Д. З. Есхожин, С. О. Нукешев, Е. С. Ахметов, К. Д. Есхожин

Обоснование конструктивных и технологических параметров коленчатого ворошителя для минеральных удобрений

Технический факультет, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,

г. Астана, 010011, Республика Казахстан.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

D. Z. Eskhozhin, S. O. Nukeshev, E. S. Akhmetov, K. D. Eskhozhin

Justification of the design and technological parameters of the cranked tedder for mineral fertilizers

Technical Faculty, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,

Astana, 010011, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.12.17.

В данной статье авторами на основе анализа известных в настоящее время устройств для минеральных удобрений предложена конструкция коленчатого ворошителя. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований установлены его оптимальные параметры.

In this article, the authors based on the analysis of currently known devices for mineral fertilizers proposed the design of the agitator crank. On the basis of the performed theoretical and experimental studies the optimal parameters have been established.

Р. Ю. Зарипов

преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ramis.zaripov@mail.ru

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

В работе проведен анализ существующих вариантов компоновки автомобилей на солнечных батареях. Солнечная энергетика сегодня является одним из наиболее перспективных источников альтернативной энергии. В настоящее время уже есть достаточно много конструкций, позволяющих преобразовывать энергию солнца в электрическую или тепловую. Отрасль постепенно растёт и развивается, но, как и везде, есть свои проблемы.

Цель настоящего исследования – раскрыть возможности солнечных элементов, их доступность для автолюбителей на данном этапе развития.

В статье отражен обзор мирового опыта в создании автомобилей на солнечной энергии. Подробно рассмотрены конструкция и принцип работы энергетической установки на солнечных батареях. Также описаны возможные варианты применения солнечных батарей как источника питания на серийных автомобилях.

Ключевые слова: электромобиль, солнцемобили, солнечная батарея, аккумулятор, кондиционер.

ВВЕДЕНИЕ

Электромобили, солнцемобили, солнечные велосипеды, электромоторные суда с солнечными батареями – все эти экологически чистые транспортные средства появились всего лет 15–20 назад. За прошедшие годы электромобили перестали быть редкостью. Они находят все большее применение, особенно в крупных городах, перенасыщенных автотранспортом. Представленные на выставке ЭКСПО 2017 в городе Астана разработки с применением солнечных батарей свидетельствуют об актуальности проведения исследований по использованию энергии солнца на транспорте.

Специалисты полагают, что солнечный транспорт станет всерьез конкурировать с автомобильным, когда эффективность доступных по цене солнечных элементов (фотоэлектрических преобразователей) составит 40–50 % [2, 3]. Пока же их КПД всего 10–12 % [1, 2]. Чтобы солнцемобили с мощностью солнечных батарей 1,5–2 кВт «догнали» автомобили с двигателями в 100 раз мощнее, необходимо использовать легкие и прочные конструкционные материалы, эффективные системы электропривода, достижения аэродинамики, гелио- и электротехники, электроники и других наук.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Мировой опыт создания солнцемобиля. Конструкторы многих стран пытаются предугадать контуры солнцемобиля будущего. Японская компания Sanyo выпустила опытную партию открытых одноместных экипажей с солнечной панелью площадью 0,6 м², за 6 часов заряжающей никель-кадмиевую аккумуляторную батарею. Запас хода

трехколесного транспортного средства весом 50 кг составляет 36 км, максимальная скорость – 24 км/ч. Компания Nozuki Electric предлагает солнцемобиль «Феникс» с солнечной панелью мощностью 750 Вт и скоростью 40 км/ч.

Существуют примеры, когда солнцемобиль развивал скорость и более 100 км/ч. Трассу трансавстралийского ралли 1996 года протяженностью 3000 км двухместный солнцемобиль «Мечта» (рисунок 1) прошел со средней скоростью почти 90 км/ч, а на прямом скоростном участке достиг 135 км/ч.



Рисунок 1 – Солнцемобиль-рекордсмен «Мечта»

У солнцемобилей достигнут минимальный для наземных экипажей коэффициент аэродинамического сопротивления (0,1). Опыт концерна General Motors при разработке рекордного солнцемобиля Sunrayser (рисунок 2) использован в проектировании электромобиля Impact, серийное производство которого началось в 1996 г. Его скорость достигает 130 км/ч, до 100 км/ч он разгоняется за 9 с и на обычных свинцово-кислотных аккумуляторах проходит 100 км.

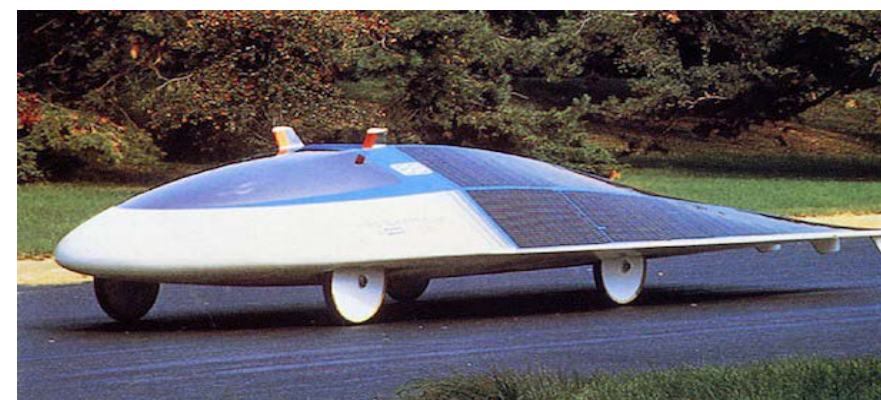


Рисунок 2 – Солнцемобиль Sunrayser

Автомобиль, разрабатываемый группой Polytech Solar (Россия), пока не был обкатан и представлен сколько-нибудь широкой публике, но основные технические характеристики машины известны.

Вес (ожидаемый) – до 0,2 т.

Максимум выдаваемой скорости – 150 км/час.

Корпус – из легкого композита (собственная разработка группы Polytech Solar).
Зарядка осуществляется от 4 кв. м. солнечных панелей, расположенных на корпусе экологичного авто. Машина подзаряжается постоянно (дневное время).
Диски – углепластик собственной разработки.

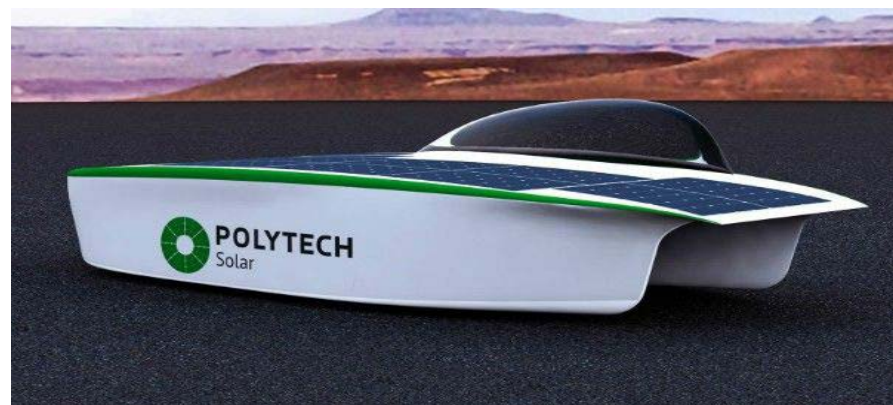


Рисунок 3 – Автомобиль Polytech Solar

Формат кузова будет классическим для такого типа автомобилей, исполнен в форме «катамаран». Для водителя предусмотрена смещенная вбок капсула. Машина рассчитана на одного человека и оснащается уникальной системой ручного управления. Рабочее название модели – SOL.

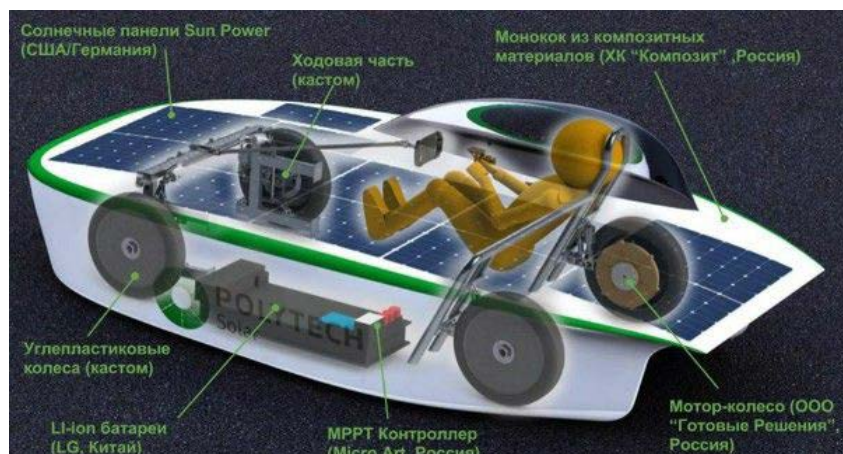


Рисунок 4 – Конструкция автомобиля Polytech Solar

Общее устройство. Автомобили, работающие на солнечной энергии, все еще находятся в стадии разработки, поэтому сильно отличаются друг от друга по внешнему виду, конструкции и основным параметрам. Но все эти автомобили, как и те, что показаны в этой статье имеют основные общие закономерности. Главная – это наличие солнечных собирающих панелей, которые поглощают солнечный свет и преобразуют его в электричество.

В большинстве моделей это электричество накапливается в аккумуляторах, откуда оно поступает в электродвигатель, а тот вращает колеса. Конструкторы стремятся сделать солнечные автомобили такими, чтобы они могли с большей эффективностью использовать свои запасы энергии. Поэтому большинство подобных автомобилей изготовлено из легких материалов и имеют обтекаемую форму, чтоб уменьшить сопротивление ветра.

Теоретически солнечный автомобиль способен работать бесконечно долго, ведь ему не требуется иного топлива, кроме солнечного света. К тому же он не производит никаких выбросов, то есть не портит природу. Однако у него есть большой недостаток: такой автомобиль не может двигаться ночью и при сплошной облачности. Сейчас специалисты работают над тем, чтобы преодолеть подобные ограничения.

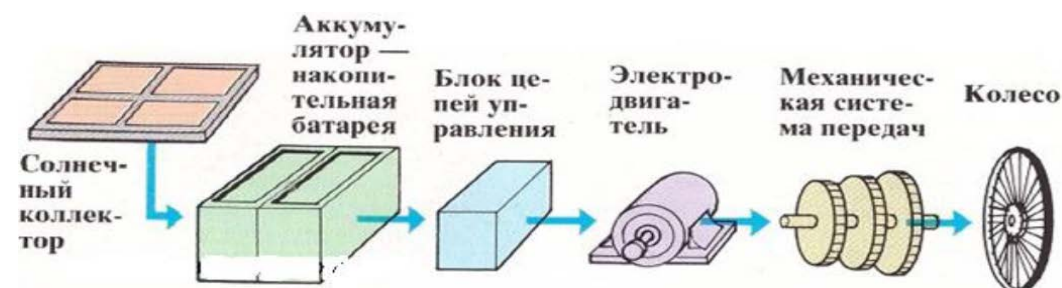


Рисунок 5 – Компоновочная схема оборудования

Электричество, получаемое в панелях солнечных коллекторов, передается по проводам в накопительную батарею, то есть в аккумулятор. Аккумулятор питает электродвигатель, который вращает колесный вал и колеса.

Специальная система механической передачи, имеющая 12 скоростей, позволяет эффективно использовать энергию в разных дорожных условиях.

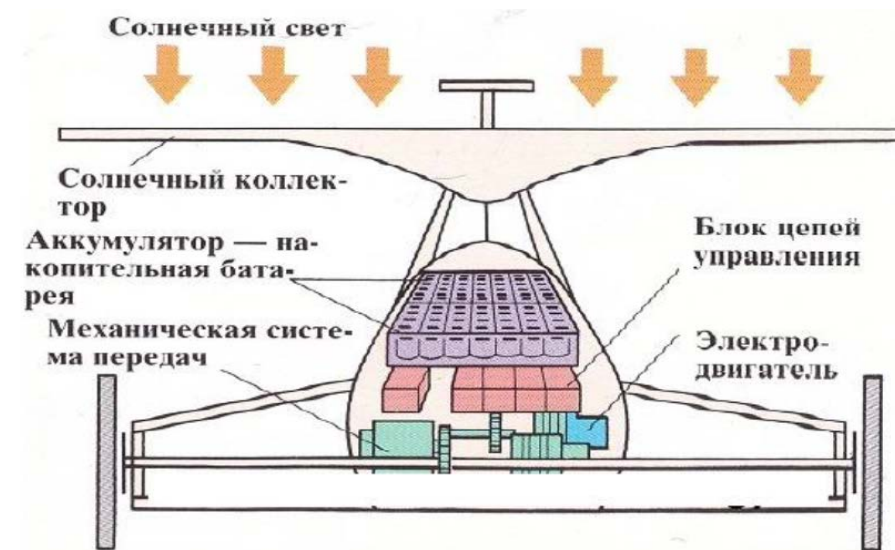


Рисунок 6 – Компоновка солнечного автомобиля

Солнечная батарея. Каждый солнечный элемент состоит из двух слоев кремния: P-типа, то есть позитивный или положительный, и N-типа, то есть негативный или отрицательный. Когда свет попадает на такой элемент, он освобождает электроны в слое P-типа, которые сами переходят в слой N-типа.

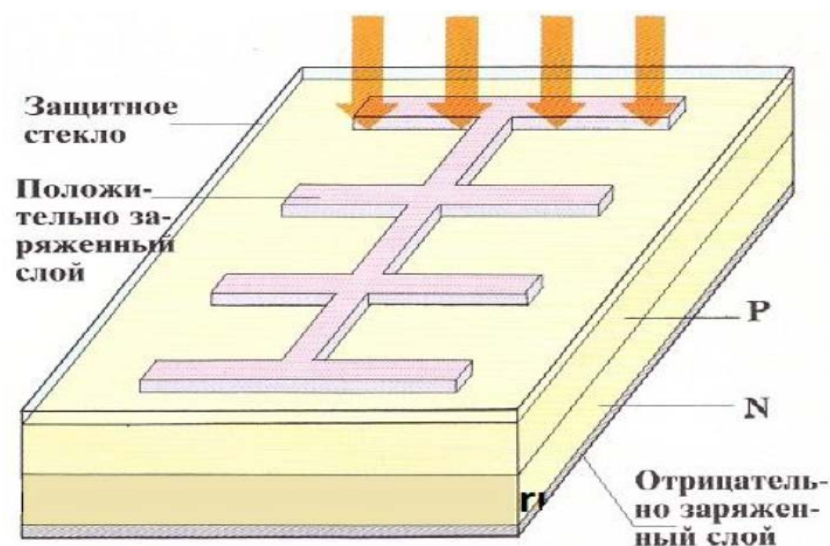


Рисунок 7 – Схема солнечной батареи

Двигатель солнечного автомобиля пользуется запасами этого тока. Автомобиль «Southern Cross» Автомобиль «Southern Cross» имеет наклоняемую солнечную панель Японский «Саузен кросс» имеет длину около 20 футов, весит 620 фунтов и движется по ровной поверхности со скоростью до 25 миль в час.

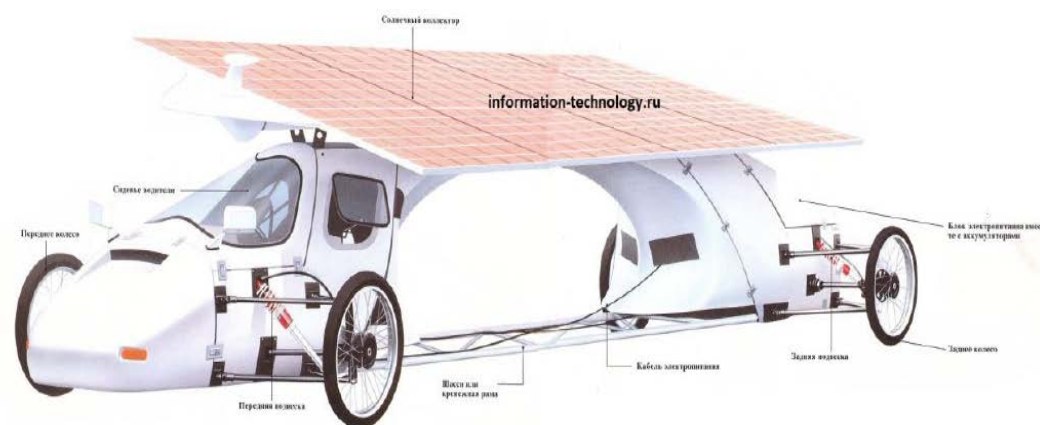


Рисунок 8 – Автомобиль «Solar flare»

А так же он оснащен подвижной солнечной панелью. Подвижная солнечная панель. Чтобы солнечные коллекторы поглощали наибольшее количество света, панель может наклоняться (справа) по направлению к солнцу даже во время движения автомобиля. Коллекторная солнечная панель обтекаемой формы Автомобиль

«Солар флер» (Solar flare), построенный в Калифорнийском университете, участвовал в автомобильной гонке «World Solar» – «Мир солнца» 1990 года.

Тогда он прошел по необжитым районам Австралийского материка 1800 миль и занял в гонке 11-е место. Автомобиль имеет в длину двадцать футов и 9200 солнечных элементов толщиной меньше визитной карточки. Корпус автомобиля сделан из эпоксидной смолы, армированной углеродом. На борту находится серебряно-цинковая аккумуляторная батарея. Одного ее заряда без дополнительной солнечной подпитки хватает на 125 миль пути. Гонка по Австралии не обошлась без трудностей.

Часто ломалась цепная передача, которая использовалась для привода заднего колеса, как в мотоцикле. И часто прокалывались колеса. Непредвиденные остановки снижали среднюю скорость. Во время той гонки она оказалась равной 27 миль в час вместо предполагавшихся 42 миль в час. После технической доработки «Solar flare» принял участие в двух автогонках по Соединенным Штатам в 1991 году и победил в них.

Варианты использования энергии солнца на серийных автомобилях. Солнечные батареи небольшой мощности на обычных автомобилях кондиционируют воздух в салонах и подзаряжают пусковые аккумуляторы на стоянках, питают радио- и телеаппаратуру, например, Coleman Solar Battery Charger (рисунок 3) как раз и предназначена для подзарядки аккумуляторной батареи.



Рисунок 9 – Солнечная батарея Colema Solar Battery Charger

Это является простым и недорогим способом постоянно держать автомобильный аккумулятор на подзарядке. Для работы достаточно положить устройство на приборную панель или в другое место, освещенное солнцем, и подключить его к прикуривателю. После этого можно не бояться разрядки аккумулятора от, например, работающих часов, радио или сигнализации при выключенном зажигании. Цена этого полезного для автомобилистов устройства – всего 30 долларов [3].

В 2010 году создан фотоэлемент (рис. 4), который можно «клеить» на любые поверхности – окна, стёкла автомобилей.



Рисунок 10 – Солнечные батареи-наклейки на автомобильные стёкла

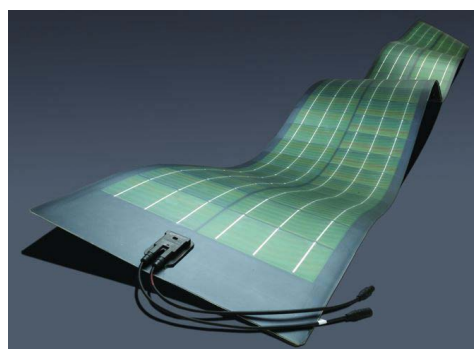


Рисунок 11 – Солнечный элемент на пленочной гибкой основе

Эта технология даёт возможность по-новому использовать кремний в устройствах для преобразования солнечной энергии в электрическую. Можно будет, например, тонировать автомобильные стекла. Этого устройства вполне достаточно и для работы ОР8-навигатора или кондиционера автомобиля [4].

На работе кондиционера от солнечных элементов питания хотелось бы остановиться поподробнее, ведь он является одним из самых энергоёмких узлов автомобиля в настоящее время. Причем специфика его использования такова, что максимальная его эффективность необходима в первые минуты, когда владелец автомобиля только садится в раскаленный летним солнцем автомобиль. И если автомобиль перемещается по городу на небольшие расстояния, с частыми остановками, происходит постоянное охлаждение-нагрев салона автомобиля. Что ведет к повышенному расходу топлива, ведь известно, что кондиционер отбирает от 10 до 30 % мощности двигателя.

Преимущества и недостатки использования солнечных элементов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки использования солнечных элементов для питания кондиционера

Достоинства	Недостатки
Экономия топлива	Затраты на приобретение
Возможность поддержания требуемой температуры в салоне при выключенном двигателе	Необходимость поддерживать в чистоте солнечные элементы

Особенность использования энергии солнца именно для питания кондиционера в том, что эффективность работы солнечных батарей зависит от интенсивности солнечного излучения, в свою очередь и требуемая мощность кондиционера тоже прямо пропорциональна солнечному излучению.

В настоящее время имеется большое количество разнообразных батарей на основе солнечных элементов, в том числе появились в производстве элементы на гибкой пленочной основе (рисунок 12), что позволяет их размещать на поверхности, отличной от ровной, имеющей небольшую степень кривизны и малую массу и габариты. Коэффициент полезного действия таких элементов составляет около 17 % [1].

Размещение таких элементов удобнее всего на крыше автомобиля (рисунок 6). Площадь крыши легкового автомобиля типа седан составляет в среднем 1,5 м². Размещая солнечные элементы такой площади, можно получать около 200 Вт. Средняя потребляемая мощность кондиционера 230 Вт. Получаемая мощность является недостаточной для полностью автономного питания кондиционера, но достаточной для поддержания необходимого температурного режима в салоне автомобиля во время стоянки и позволит дополнительно обеспечивать электроэнергией автомобиль во время движения, обеспечивая экономию топлива минимум на 8 %.

Ориентировочная стоимость устанавливаемого оборудования составит 750 долларов. С учетом экономии 8 % мощности двигателя или 0,8 литров бензина на 100 км, средний пробег окупаемости составит 150 000 км (для сравнения – ресурс 1 000 000 км для двигателя уже давно никого не удивляет). К тому же надо сказать, что уже сегодня некоторые модели Mercedes-Benz обзавелись опцией – люком в крыше, в который встроены солнечные батареи. Энергия, генерируемая ими, предназначена приводить в действие вентилятор, создающий прохладу в салоне при длительной стоянке автомобиля на солнцепеке.

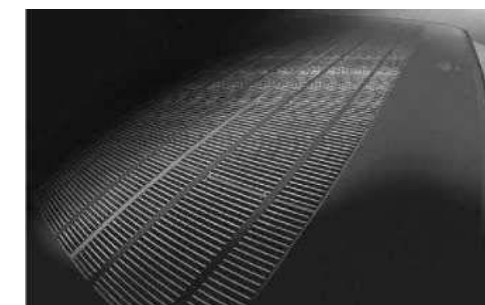


Рисунок 12 – Размещение элементов на гибкой пленочной основе на крыше автомобиля

Аналогичная система разработана BMW. Она состоит из 24 солнечных элементов, вырабатывающих 18 Вт электроэнергии. Этого достаточно для эффективной работы шести вентиляторов, равномерно размещенных по периметру крыши. Как показали испытания, принудительная вентиляция салона позволяет в жаркий день снизить температуру на 15 градусов, не используя энергию штатного аккумулятора.

Но главное прогнозируется, что к 2050 году половина потребляемой в мире энергии будет добываться из альтернативных источников. Солнце – один из них. Еще в 1998 году в ходе работ над проектом гибридного автомобиля Duo компания Audi доказала, что на 4 тыс. км ежегодного пробега эту машину способна обеспечить энергетическая установка, состоящая из 21 модуля солнечных батарей общей площадью 10 кв.м, смонтированная на крыше гаража. Днем установка вырабатывает и накапливает энергию, а ночью идет зарядка батарей оставленного в гараже электромобиля [2].

ВЫВОДЫ

Солнце обеспечивает нас в 10 000 раз большим количеством бесплатной энергии, чем фактически используется во всем мире. Только на мировом коммерческом рынке покупается и продается чуть меньше 85 триллионов кВт·ч энергии в год. Поскольку невозможно проследить за всем процессом в целом, нельзя с уверенностью сказать, сколько некоммерческой энергии потребляют люди (например, сколько древесины и удобрения собираются и сжигаются, какое количество воды используется для производства механической или электрической энергии).

Некоторые эксперты считают, что такая некоммерческая энергия составляет одну пятую часть всей используемой энергии. Но даже если это так, то общая энергия, потребляемая человечеством в течение года, составляет только приблизительно одну семитысячную часть солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли в тот же период.

Низкий диапазон использования энергии солнца, в том числе и на автотранспорте, связан с низкой эффективностью солнечных батарей и сложностью их изготовления.

Без качественного скачка характеристик солнечных элементов питания электромобили будут иметь ограниченное применение. Пока они не сравнимы с традиционными автомобилями ни по техническим данным, ни по стоимости, ни по удобству в эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кравченко, А. П., Дуда, Д. В.** Солнечные элементы питания на автомобильном транспорте. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс]. – URL: [http:// elibrary.ru/item.asp?id=21675144](http://elibrary.ru/item.asp?id=21675144).

2 **Бутырина, Е.** Приближающаяся угроза топливного голода и загрязнения окружающей среды требует увеличения мер по развитию энергосбережения и альтернативных источников энергии // Панорама. – 2009. – № 10. – С. 12.

3 **Кенжаев, З. Т.** Состояние и перспективы развития солнечной энергетики // Молодой ученый. – 2017. – № 37. – С. 6–7.

4 **Токмолдин, С. Ж.** Развитие солнечной фотоэнергетики в Республике Казахстан // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – № 8. – С. 43–47.

5 Статьи: информационный портал. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gigavat.com/ses_sun.php.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

P. Ю. Зарипов

Автомобиль көлігінің күн элементтерін қолдануды талдау

Металлургия, машинажасау және көлік факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

R. Zaripov

Analysis of application of solar cells to power road transport

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Жұмыста күн батареяларында вагондарды жинаудың қолданыстағы нұсқаларын талдау жүргізілуде. Күн энергиясы баламалы энергияның ең перспективті көздерінің бірі болып табылады. Қазіргі уақытта күннің энергиясын электр немесе жылу энергиясына айналдыруға мүмкіндік беретін көптеген құрылымдар бар. Өнеркәсіп бірте-бірте өсіп, дамып келеді, бірақ басқа жерлерде де проблемалар бар.

Зерттеудің мақсаты – күн сәулесінің жасаушыларының мүмкіндіктерін анықтау, олардың осы кезеңде автокөліктерге қолжетімділігі. Күн энергетикасындағы вагондарды жасаудағы әлемдік тәжірибені шолу. Күн электр станциясының жобалау және пайдалану принципі толығырақ қарастырылады. Сондай-ақ, сериялық көлік құралдарындағы қуат көзі ретінде күн батареяларын қолдану мүмкіндігі де сипатталған.

The work gives the analysis of existing solar-powered vehicles layout options. Solar energy today is one of the most promising sources of alternative energy. At present, there are already a lot of designs that allow you to convert the sun's energy into electricity or heat. The industry is gradually growing and developing, but, like anywhere, has its problems. The purpose of this study is to reveal the possibilities of solar cells, their accessibility for motorists at this stage of development.

There is reflected the overview of world experience in creation of cars with solar energy. Detailed the design and principle of operation of the power plant on solar batteries. Also described possible applications of solar cells as a power source on the cars production.

Р. Ю. Зарипов¹, А. Фисенко², Ж. Фабдолла³, Т. Серикпаев⁴

¹преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; ^{2,3,4}студенты, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан e-mail: ¹ramis.zaripov@mail.ru

ВЕЛОГИБРИДЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДОВ БУДУЩЕГО

Работа состоит из двух частей. В первой части проведен анализ существующих вариантов компоновки электровелосипедов различных стран-производителей. Определены их преимущества и недостатки. Подробно рассмотрена конструкция велогибрида с энергоустановкой – мотор-колесо.

Во второй части приведен анализ создания «велополитена» – отдельного комплекса сооружений, позволяющего безопасное передвижение для велосипедистов в условиях большого города. Такой комплекс сооружений уже введен в эксплуатацию в городе Москва. Комплекс включает в себя эстакаду с уклоном вниз протяженностью сотни метров для движения под действием силы тяжести; эстакада с уклоном, на которой размещено специальное транспортирующее устройство; переходные участки между эстакадами с уклонами разных знаков; терминалы для въезда и выезда, которые примыкают к переходным участкам. Элементы объединены в систему с подъёмным транспортным устройством.

Ключевые слова: электровелосипед, велогибрид, аккумуляторная батарея, велополитен, эстакада.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением количества автомобилей и других видов городского транспорта, использующих невозобновляемые источники энергии, возникают такие проблемы, как перегрузка городской дорожной сети (транспортные пробки в дорожном движении), ухудшение безопасности дорожного движения, загрязнение окружающей среды (доля автомобильного транспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу всеми техногенными источниками достигает 80 %), негативно влияние на людей шума от автотранспорта и т.д.

Для решения этих проблем требуется развитие других видов транспорталишённых, как правило, недостатков автотранспорта и обладающих особыми преимуществами перед ним. Один из них – велотранспорт. Велосипед – самый распространённый, доступный и дешёвый представитель велотранспорта (велосипеды, веломобили, средства транспорта для лиц с ограниченными возможностями и пр.). Как полноценное транспортное средство в городе, велосипед, несмотря на известные недостатки (сезонность, зависимость от погоды и др.), решает проблемы, связанные с увеличением пропускной способности дорог благодаря маневренности, компактности на дороге и при парковке;

– экологичностью (не выделяет вредных веществ в атмосферу);

– перераспределением пассажиропотоков в городе (самостоятельное передвижение велосипедистов по городу);

– транспортной доступностью;

– сохранением и укреплением здоровья городскими жителями и т.д.

Если раньше мы видели на улицах однотипные велосипеды, то сегодня все чаще людей, которые катаются на настоящих электровелосипедах, известных под названием велогибриды.

В Евросоюзе к 2050 году собираются убрать с городских улиц транспорт с бензиновыми ДВС. Вывод очевиден - скоро все будем ездить на альтернативных электротехнических транспортных средствах. В 2015 году в Германии продано 250000 велогибридов. Рынок велотехники переживает настоящий бум.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Анализ конструкции и эксплуатационных свойств электровелосипедов

Как свидетельствуют многочисленные публикации, электрическая энергия успешно применяется в гибридных трансмиссиях. Технологическим центром, где разрабатываются новые модели велогибридов является Западная Европа, Япония, США, которая тоже успешно работает в этом направлении. Производства многих фирм находятся в Китае. Наблюдается четкая тенденция к увеличению мощности двигателей. Применяются дорогие системы фирм Shimano, SRAM, UBC, ELTREKO и др [3].

Цель данной статьи - анализ конструктивных решений элементов электропривода при разработке рабочих моделей велогибридов и организация велоинфраструктуры.

Мы находимся в самом начале пути по изучению эксплуатационных свойств электровелосипедов. Хотелось бы привлечь внимание специалистов к этой весьма многоплановой и интересной проблеме, связанной с эксплуатацией велосипедов и электровелосипедов.

Можно очертить круг проблем, возникающих при эксплуатации такой техники:

– устройство электровелосипедов и их эксплуатационные характеристики;

– проблемы поведения велосипедиста на дорогах общего пользования;

– вопросы влияния эксплуатируемых транспортных средств на здоровье населения нашей страны.



Рисунок 1 – Мотор-колесо

Обратимся к устройству электровелосипедов. Базовым элементом современных машин является мотор-колесо. Это трехфазная электромашина переменного тока, высокие удельные характеристики которой определяются применением постоянных сверхсильных ниобийсодержащих магнитов. Выпускается довольно широкая номенклатура мотор-колёс по номинальной мощности и напряжению питания: 24 В / 250 Вт; 36 В / 350 Вт; 48 В / 500 Вт; 60 В / 750 Вт, 1000 Вт и 1500 Вт. Как видно из этого ряда, напряжение питания мотор-колес выбирается кратным 12 В. Это определяется напряжением, пока что наиболее распространенного свинцово-кислотного аккумулятора. Большинство двигателей, кроме самых мощных, рассчитаны на номинальный ток 10 А. Надо сказать, что применяемые мотор-колеса легко выдерживают трехкратную перегрузку по току в течение 5 минут. Ресурс мотор-колеса определяется состоянием применяемых подшипников и достигает 50–100 тыс. км [1, 2].

Следующим элементом рассматриваемого электропривода является контроллер. Основное его назначение заключается в выработке импульсного напряжения для питания мотор-колеса. Для обеспечения обратной связи между двигателем и контроллером в двигателе установлен трехфазный датчик Холла, сигналы которого задают частоту и фазу трехфазного напряжения, вырабатываемого контроллером.



Рисунок 2 – Общий вид электровелосипеда с мотор-колесами

Текущая мощность двигателя определяется длительностью трехфазных импульсов генерируемых контроллером. В свою очередь, длительность этих импульсов регулируется велосипедистом посредством ручки «газа». Кроме этого, контроллер имеет вспомогательные функции: выключение питания электродвигателя при торможении и ограничение максимальной мощности. Для выключения питания двигателя при торможении ручными тормозами электровелосипед комплектуется специальными ручками тормозов, оснащенными контактами, которые замыкаются при попытке затормозить. Сигнал от этих контактов поступает на контроллер и отключает питание двигателя. Ограничение максимальной мощности, прежде всего, необходимо для получения приемлемых показателей пробега на одном заряде аккумуляторных батарей [3].

Третьим и наиболее слабым элементом велосипедного электропривода является аккумуляторная батарея. Пока что наиболее распространенным источником энергии являются привычные автомобилистам свинцово-кислотные аккумуляторные батареи в несколько модернизированном варианте. Это так называемые АСМ - гелиевые аккумуляторы. Во-первых, они полностью герметичные; во-вторых, в электролит добавлено специальное вещество, превращающее его в гель, в-третьих, в литейный сплав из которого лютуют решетки аккумуляторов, вместо сурьмы добавляют кальций. В результате такие аккумуляторы вдвое дороже аналогичных, например, мотоциклетных. Приобретенные нами четыре аккумулятора 12 В 12 А/ч, обеспечивают пробег электровелосипеда на одном заряде от 20 до 40 км.

Величина пробега зависит от стиля езды и степени пересеченности местности. Вес батареи из четырех таких аккумуляторов составляет 16 кг. Срок службы 7 лет, выдерживают от 300 до 500 циклов заряд-разряд, время зарядки – 8 часов.

Уже появились в эксплуатации новые литий-ферум-фосфорные аккумуляторы, которые обладают совсем другими характеристиками: они выдерживают 2000 циклов заряд-разряд, вес батареи 48 В – 5 кг, номинальный разрядный ток 80 А, время зарядки – 2 ч.

На базе таких аккумуляторов разрабатывается уникальный городской электровелосипед на базе серийного велосипеда Viva, который весит 15 кг. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик электровелосипеда является наличие рекуперации или электротормоза. Серийно выпускаемые контроллеры не имеют такой функции. Поэтому мы начали исследования с целью создания таких систем.

2 Организация безопасного движения для велосипедистов

Хочется сказать несколько слов о безопасности езды на велосипедах.

В Европе проблемы этой не существует. Велосипеды являются равноправными участниками дорожного движения. Для них выделена полоса движения, оборудованы стоянки для хранения велосипедов.

Развитие велотранспортной системы городов Казахстана, особенно таких больших, как Алматы и Астана, включает организацию сети велотранспортных коммуникаций, строительство новых объектов велоинфраструктуры, создание развитой велокультуры.

Особенностью велотранспорта как необходимой составляющей транспортной системы больших городов является то, что он дает возможность жителям городов автономно и самостоятельно передвигаться на короткие расстояния с минимальными затратами средств и времени при значительном оздоровительном эффекте, отсутствии загрязнения воздуха, нарушений экологии, при повышении персональной и деловой мобильности населения в городской агломерации, в условиях облегченной транспортной доступности и связности территориальных районов, сбалансированности транспортной подвижности населения с разным уровнем жизни.

Объекты велотранспортной инфраструктуры городов включают: велодорожки, мостовые сооружения для пропуска велосипедного движения над или под препятствиями или транспортными магистралями, велосипедные стоянки, автоматизированные велосипедные парковки, велогаджи, велохостелы,

велоремонтные мастерские, пункты велопроката, веломагазины запчастей, велополитены и др.

Велосипед, имеющий, как правило, одну колею движения [1], может стать эффективным транспортным средством городской транспортной сети лишь при условии обеспечения его сохранности в местах, которые посещает велосипедист. То есть одновременно с проектированием сети велодорожек проектируются велопарковки, велогаражи, пункты велопроката, велохостелы и другие объекты велотранспортной инфраструктуры.

При размещении велопарковок рассматриваются все траектории движения велосипедистов к велостоянкам и от них, включая пешие, и устраняются помехи и возможные риски для велосипедистов и пешеходов. В местах интенсивного пешеходного движения, у границ пешеходных зон следует предусматривать велопарковки, чтобы велосипедисты могли продолжить движение пешком.

Особняком среди транспортных сооружений для велодвижения стоит велополитен как основной элемент велотранспортной системы, функционирующей в составе общей транспортной системы города, которая способна обеспечить значительный объём пассажирских перевозок в актуальном сегменте маршрутов от 2 до 15 км.

Горожанин с удовольствием поедет на велосипеде, если крутить педали можно будет по желанию, а не по необходимости. Для этого можно оснастить велосипед электродвигателем и аккумуляторной батареей. Но это значительно утяжелит его и в разы увеличит стоимость, если для движения пользоваться батареей с большой ёмкостью.

Концепция велополитена состоит в использовании специального пути (велодорожки), который позволяет велосипедисту накапливать потенциальную энергию за счёт подъёма на участке с большим уклоном, а затем расходовать её при движении вниз по участку с малым уклоном. Подъём осуществляется за счёт стационарного двигателя, спуск – под действием силы тяжести.

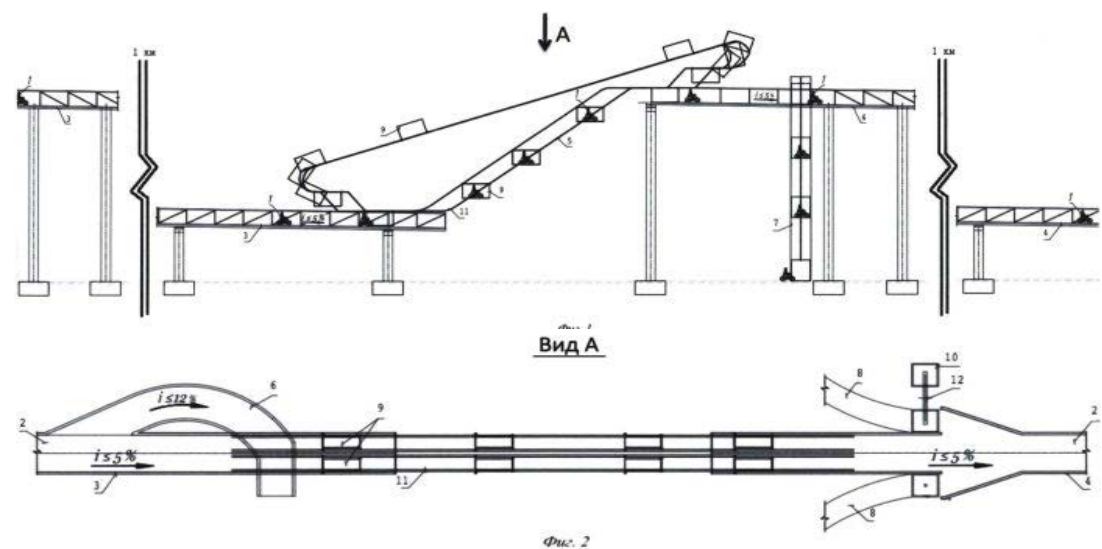


Рисунок 3 – «Велополитен» Московского автодорожного института

Разработанный «Велополитен» Московского автодорожного института (далее МАДИ) состоит из следующих основных элементов (рисунок 3): эстакада с уклоном вниз 1,5–2,5 % протяженностью сотни метров для движения под действием силы тяжести со скоростью 15–30 км/ч; эстакада с уклоном вверх 30–75 %, на которой размещено специальное транспортирующее устройство; переходные участки между эстакадами с уклонами разных знаков; терминалы для въезда и выезда, которые примыкают к переходным участкам.

Элементы объединены в систему с подъёмным транспортным устройством.

Система рассчитана на движение со скоростью от 15 до 30 км/ч. Минимальная скорость обеспечивается уклоном, она развивается без каких-либо усилий со стороны велосипедиста. Скорости в 30 км/ч можно достичь, приложив мускульную силу или включив электродвигатель. Для обеспечения выбора комфортной для человека скорости и возможности обгона предусмотрено несколько полос движения.

На подъезде к подъёмному участку система оборудована фотоэлементом, реагирующим на движение и отслеживающим интенсивность движения на спуске. Если она соответствует пропускной способности подъёмного устройства, то автоматическое ограждение перед зоной погрузки открыто, пользователь свободно въезжает в эту зону и, попав на подъёмную платформу, поднимается. Если интенсивность движения на спуске выше пропускной способности устройства, автоматическое ограждение пропускает пользователей в режиме максимальной пропускной способности подъёмной машины.



Рисунок 4 – Вид снаружи на велополитен

Подъёмный механизм синхронизируется с движущимся к зоне подъёма пользователем благодаря фотоэлементу. При попадании пользователя в зону старта платформы платформа подаётся в зону загрузки и замедляется, открывается задний барьер безопасности, и пользователь въезжает на платформу по встроенному пандусу. После загрузки закрываются барьеры безопасности, и платформа, ускоряясь, поднимается.



Рисунок 5 – Вид изнутри на велополитен

По достижении зоны выгрузки платформа вновь замедляется, открывается передний барьер безопасности, пользователь съезжает с платформы и попадает в зону спуска с первоначальным уклоном 12 % (на протяжении 20 м) и последующим уклоном 2 % (оставшиеся 980 м). Получив сигнал от весового датчика, что пользователь съехал, платформа возвращается к зоне погрузки, закрывается передний барьер безопасности.

Подъемное транспортное устройство для «Велополитена МАДИ», разработанное на основе технического решения по патенту РФ [2], представляет собой платформу, которая движется по горизонтальной траектории при заезде на неё велосипедиста, а затем продолжает движение на подъём с сохранением горизонтального положения велосипеда, при этом можно достичь максимального комфорта и скорости при движении вверх, что требуется условиями «Велополитена МАДИ» (Рисунки 4 и 5).

Эстакада для «Велополитена МАДИ» представляет собой сооружение, не имеющее аналогов в практике мостостроения. Это крытые проветриваемые секции эстакады с пролетами 40–100 м, располагающиеся на небольшом (1,5–3 %) уклоне.

Основное их отличие – нагрузка только от участников велодвижения. Поскольку число таких участников лимитируется подъемными устройствами, оно невелико в пределах одной секции эстакады. Нагрузка от велодвижения в нормативном состоянии минимальна, эстакада в основном сопротивляется внешним природным воздействиям (температура, снеговая нагрузка, воздействия ветра). Эстакада изготавливается из композиционных материалов в виде ферм с треугольной решеткой.

При проектировании отдельных участков велосети (велодорожек) создаются веломаршруты, удобные для людей, использующих велосипед как транспорт, чтобы ездить на работу, по своим делам, на отдых.

В сеть велосипедных маршрутов включаются:

- радиальные маршруты – из спальных районов в центр;
- маршруты из города в пригороды и места рекреации;
- маршруты, соединяющие соседние районы города;
- внутрирайонные маршруты.

Увеличение объёмов велосипедного движения в городах Казахстана, особенно таких больших, как Алматы и Астана, даст следующие результаты:

- позволит удовлетворять запросы всех групп населения города независимо от их социального статуса на транспортную мобильность при значительно более низком уровне расходов;
- улучшит экологическую обстановку в городе, так как в отличие от моторизованных городских транспортных средств не загрязняет окружающую среду, не выбрасывает парниковых газов и не вызывает шумового загрязнения среды обитания;
- существенно снизит людские потери на дорогах, поскольку велотранспорт представляет меньшую опасность, чем автотранспорт;
- существенно сократит транспортные заторы (пробки на дорогах) и приведет к значительно более эффективному использованию дорожного пространства;
- решит проблему транспортной мобильности городского населения оптимальным путём, так как обеспечит сочетание велосипедного транспорта в пределах мегаполисов, городов и посёлков, пригородных зон с междугородным общественным транспортом и личным автотранспортом;
- даст возможность молодым и пожилым гражданам полностью реализовать свои права на транспортное перемещение за счёт использования полезного для здоровья и экологичного велотранспорта;
- позволит занять определенное место на рынке городских грузовых перевозок;
- снизит зависимость городского транспорта в условиях сбоев в работе систем энергообеспечения или нарушения поставок энергоресурсов и т.д.

ВЫВОДЫ

Рост городского велодвижения в в городах Казахстана идёт поступательными темпами, разрабатываются программы по развитию транспортной инфраструктуры, в том числе велоинфраструктуры; особенно таких больших, как Алматы и Астана у промышленных и культурных объектов, у учебных заведений и др., организуется велопрокат, строятся велодорожки, велохостелы и т.д.

Велосипед – это одна из возможностей вести активный образ жизни; при этом можно совмещать приятное с полезным, например, ездить на велосипеде на работу. Но при этом существует много обстоятельств, препятствующих слабым или тучным людям ездить на работу на велосипеде. Это и большие расстояния, и сложный рельеф местности, и, наконец, потливость. Электровелосипед позволяет преодолеть эти трудности и приехать на работу, зачастую быстрее, чем даже на автомобиле, при этом оставаясь свежим и получить возможность размяться по дороге на работу при движении по прямой и на спусках. В то же время, пробки на дорогах и менталитет казахстанских водителей зачастую приводят к тому, что на автомобиле мы приезжаем на работу далеко не в лучшем настроении. Однако перед интенсивным развитием городского велосипедного движения, значительно уменьшающим негативное воздействие процесса автомобилизации на окружающую среду и на человека, стоит еще немало проблем, требующих решения.

- 1 Гаевский, В. В., Подольский, М. С. Одноколесные транспортные средства – обобщенная классификация // Вестник МАДИ. – Вып. – 4 (31), 2014. – С. 3–6.
- 2 Приют для велосипедиста // Мой район (газета больших городов). – № 16 (529). – 2013. – С. 4.
- 3 Сленцов, М. А. Основы электрического транспорта / Сленцов М. А. – М. : Академия, 2004. – 464 с.
- 4 Чаплыгина, Д. В. Проблемы транспортной инфраструктуры в современном городе. Пути решения. Велотранспорт // Наука, образование и культура. – № 8 (11). – 2016. – С. 27.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

R. Ю. Зарипов, А. Фисенко, Ж. Габдолла, Т. Серикпаев

Велогибридтер ретінде болашақ қалалары көлік жүйесінің элементі

Металлургия, машинажасау және көлік факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

R. Zaripov, A. Fisenko, Z. Gabdolla, T. Serikpaev

Velohybrids as an element of the transport system in the cities of the future

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Жұмыс екі бөліктен тұрады. Бірінші бөлікте әр түрлі елдің өндірушілеріне электровелосипедтерді құрастырудың бар нұсқаларының талдауы өткізілді. Олардың артықшылықтары мен келісіліктері анықталды. Мотор-донгалақ энергоқұрылымы бар велогибридтің конструкциясы жасан-жақты қаралды. Екінші бөлікте велосипедисттер үшін үлкен қала жасыдайында қауіпсіз қозғалуға мүмкіндік беретін, бөлек кешенді құрылыстардың велополитеннің құрастырылуының талдауы өткізілді. Мәскеуде осындай нысандар кешені пайдалануға берілді. Кешенде ауырлық күшінің әсерінен қозғалыс үшін жүздеген метрдің төменгі градиенті бар жол өтпесі бар; арнайы тасымалдау құрылымы орналасқан көбеу рампа; әртүрлі белгілердің қисық сызықтары бар өтпелі секциялар; өтпелі аудандарға іргелес жатқан кіру және шығу терминалдары. Элементтер көтергіш көлік құрылымы бар жүйеде біріктіріледі.

The work consists of two parts. The first part gives an analysis of the existing variants of e-bikes the layout of different producing countries. There are determined their advantages and disadvantages. Also, detailed the design of the veloped with the power plant – the motor-wheel. In the second part the analysis is given of the «velopoliten» creation, i.e. a separate set of facilities that enable safe movement for cyclists in the big city. This complex of buildings is already in operation in Moscow.

The complex includes a ramp down slope, with a length of hundreds of meters for movement under the action of gravity; the ramp with a gradient, on which there is placed a special transporting device; transitional areas between piers with slopes of different signs; terminals for entry and exit, which are adjacent to the transitional sections. The elements are integrated with the lifting transport device.

Г. Г. Пинчук¹, А. Ж. Таскарина²

¹магистрант, Факультет Metallургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан; ²PhD, асоц. профессор, Факультет Metallургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: 'pinchukgg@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО АНОДНЫХ БЛОКОВ

В статье рассматриваются вопросы, направленные на повышение качества анодов, которые применяются при электролитическом получении алюминия. Проводится анализ возникновения, характер направленности и распределение внутренних трещин в обожженных анодах. Также приведено преимущество гидравлического прессования, параметры, влияющие на качество анодов, описаны этапы проведения исследований, влияние технологических параметров прессования на качество анодных блоков, таких как давление прессования и температура прессования. Представлены результаты экспериментальных исследований, в виде графиков изменения целевых показателей, таких как прочность на сжатие и изгиб, удельного электрического сопротивления и т.д. Полученные оптимальные параметры прессования анодной массы могут быть реализованы на действующем анодном производстве в качестве инструмента повышения технико-экономических показателей.

Ключевые слова: анодные блоки, обожженные аноды, прессование, давление прессования, температура прессования, качество.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых сырьевых материалов при производстве алюминия является обожженный анод, его высокая доля в себестоимости при производстве алюминия ($\approx 30\%$), обуславливает тот факт, что минимальное изменение параметров анода несет значительные колебания технико-экономических параметров электролиза, а значит совершенствование производственного процесса сулит большие экономические перспективы для предприятия.

Качество углеродных анодов оказывает существенное влияние на производство алюминия. Расход углерода зависит от реакционной способности анодов и от образования в них трещин. Поскольку аноды подвергаются сильной тепловой атаке в электролизерах, большое значение имеет их стойкость к образованию трещин. Отказ анода в электролизере из-за появления трещин приводит к серьезным нежелательным побочным эффектам, в результате которых возможны серьезные финансовые убытки [1].

В предыдущей работе [2] и результате литературного обзора по изучению проведенных ранее исследований и испытаний в области гидравлического прессования «зеленых» анодных блоков установлено, что некоторые параметры данного процесса рассматривались ранее на примерах лабораторных образцов

либо данных промышленных оптимизаций, полученных от заводов, занимающихся производством обожженных анодов с использованием гидравлического прессования.

Однако лабораторные результаты не имеют достаточной практической ценности по причине сильного влияния на процесс как со стороны применяемого оборудования, так компоновки.

Результаты промышленных испытаний не имеют достаточного аналитического описания и представлены в качестве примера общей тенденции к которой ведет то или иное изменение.

Примером вышеуказанного параметра является температура прессования, касательно которой имеются совершенно определенные данные и направления зависимости, в частности повышение качественных показателей прочности и газопроницаемости при снижении температуры, однако эти показатели не согласуются с изменением плотности, имеющую обратную зависимость от газопроницаемости, то есть при снижении кажущейся плотности снижается и газопроницаемость, что не совсем логично. С точки зрения автора, влияние параметра температуры прессования на показатели анодов требуют исследования, в результате которых могут быть установлены факторы, не учтенные в работе [3]. То же касается данных испытаний влияния давления прессования.

В 2000 году в арсенале большинства анодных производств имелись технически устаревшее оборудование гидравлического прессования и спустя 17 лет техническое оснащение дает новые возможности для достижения лучших результатов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно индивидуальному рабочему плану магистранта, в период прохождения экспериментально-исследовательской работы, на базе АО «Казахстанский электролизный завод» были проведены исследования направленные на повышения физико-механических показателей анодов путем оптимизации параметров прессования.

Целью проведения экспериментальных исследований являлось повышение эксплуатационных характеристик обожженных анодов.

На качество производимых анодов влияют следующие параметры:

- качественные характеристики сырья;
- гранулометрический состав сухого композита;
- технологические параметры приготовления и смешивания анодной массы;
- метод и параметры прессования анодных блоков;
- технологические параметры обжига «зеленых анодов».

Для проведения испытаний применялся натурный эксперимент, то есть изменение параметров прессования проводилось в рамках действующего процесса, а в качестве образцов использовались «зеленые» и обожженные аноды, произведенные с измененными параметрами.

Такой метод испытания позволяет получить наиболее представительные результаты, нежели прессование и обжиг «зеленой» массы, произведенное

в лабораторных условиях. Как правило, лабораторные результаты имеют определённые отличия от фактических производственных показателей.

Для сведения к минимуму риска производства бракованной продукции, эксперимент необходимо проводить поэтапно, перед каждым новым шагом оценивая полученные результаты и наметившуюся динамику.

На первом этапе проводились испытания по снижению давления прессования с шагом $0,05 \text{ kN/cm}^2$. Данные испытания производились в первую очередь с целью снижения числа внутренних трещин в обожженных анодах, которые играют значительную роль в повышении расхода электроэнергии при электролизе.

Для исследования характера направленности трещин в обожженном аноде были отобраны пробы – керны, направление слома которых схематически отражено на рисунке 1.

Исследование трещинообразования в теле анода показало, что основная масса трещин имеет специфическую ориентацию.

При отборе проб наблюдался слом трех видов:

1 Горизонтальный слом на глубине сверления (отмечены голубыми окружностями) – свидетельствует о высоком качестве участка отбора, отсутствии внутренних трещин;

2 Горизонтальный слом на глубине выше глубины сверления (отмечены оранжевыми окружностями) – свидетельствует о наличии горизонтальной внутренней трещины;

3 Наклонный слом (отмечены голубыми полу овалами) – свидетельствует о наличии наклонных внутренних трещин, образованных в результате градиента напряжений в соседних областях, образованных неравномерным уплотнением материала анода.

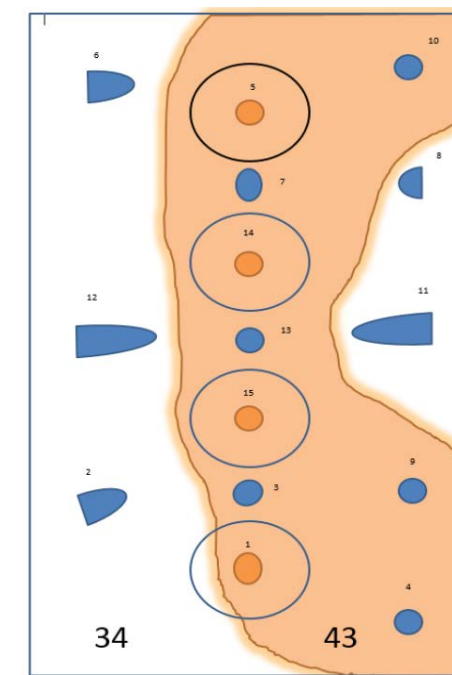


Рисунок 1 – Распределение направления трещин в обожженном аноде

Оранжевым цветом отмечена область высокого остаточного напряжения после прессования, ее образование вызвано неполным вытеснением анодной массы из-под так называемых «знаков», формирующих ниппельные гнезда. Данные знаки в процессе прессования углубляются в тело будущего анода на 115 мм ниже поверхности верхнего пуансона пресса, что влечет большее напряжение в данной области. Чрезмерное усилие, приложенное к анодной массе при прессовании, влечет упругие деформации кокса – наполнителя, особенно это касается мелкой пылевой фракции [3], как следствие обратное упругое последствие создает вертикально направленные растягивающие напряжения по периферии тела анода. Учитывая температуру прессования, превышающую точку размягчения пека – наполнителя, прочность на растяжение только что прессованного анода не достаточна чтобы выдерживать возникающие нагрузки. Разрывы, образованные в теле «зеленого» анода, в дальнейшем представляют собой трещины – преграды течению электрического тока, вызывают повышение падения напряжения на электролизере и перерасход электроэнергии.

Для снижения градиента напряжений в теле анода необходимо минимизировать упругое расширение после снятия прессующего усилия, добиться этого можно путем снижения давления прессования.

В рамках эксперимента была произведена партия анодов для определения динамики количества внутренних трещин при отборе проб (рисунок 2), индикаторами которых являются керны, сломанные выше глубины сверления аноды при отборе проб.

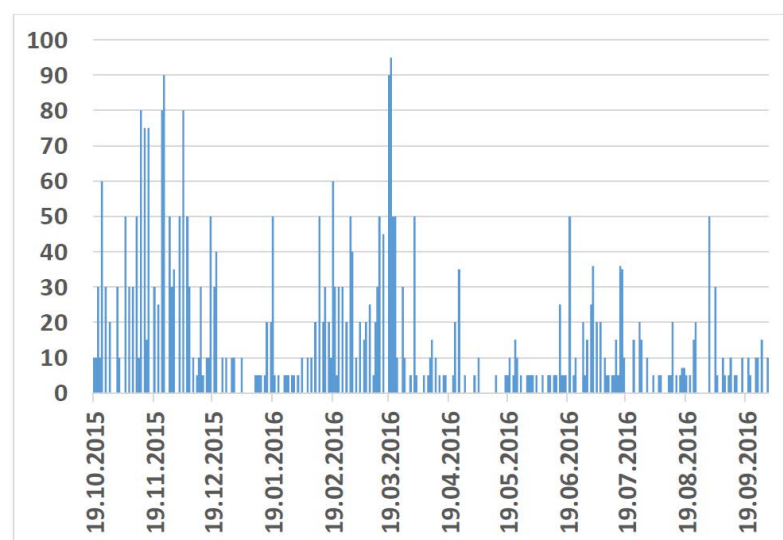


Рисунок 2 – Динамика обнаружения внутренних трещин в обожженных анодах

На следующем этапе производилось снижение температуры прессования до 130 °С, для эксперимента требуется партия из 1000 анодных блоков. Далее, при получении удовлетворительных результатов, производилась аналогичная партия

с температурой 125 °С. Учитывая средние показатели температуры размягчения каменноугольного пека на момент планирования эксперимента, дальнейшее снижение температуры не планировалось, так как высокая вязкость пека при 120° может привести к значительному снижению плотности и повышению пористости анода.

При проведении эксперимента по снижению температуры прессования производился стандартный отбор проб анодов, которые тестируются согласно схеме для рядовых анодов.

Для управления движением экспериментальных анодов, а также контроля достоверности результатов исследования разработана программа промышленных испытаний с установленными сроками, параметрами и картой движения анодов.

Первые испытания показали явную положительную динамику изменения физико-механических показателей обожженных анодов и послужили основанием для проведения эксперимента дальнейшего снижения температуры, при котором были достигнуты еще более ощутимые изменения характеристик анодов (таблица 1), позволяющие получить улучшение технико-экономических показателей использования анодов с новыми параметрами производства при электролизе алюминия.

Таблица 1 – Средние показатели проведения испытаний

№ п/п	Температура прессования	Значение	Кажущаяся плотность, не менее 1,56 г/см ³	Истинная плотность, 2,06-2,10	УЭС, не более 58 мкОм*м°	Прочность на сжатие, не менее 32 МПа	Прочность на изгиб, не менее 9,5 Мпа	Газопроницаемость, 0,5–2,0 нПм	Теплопроводность, 3,0–4,5 Вт/м*К
1	140	min	1,56	2,07	51,5	40,62	9,72	0,61	3,83
2	130		1,57	2,07	50,6	40,31	11,19	0,63	4,07
3	125		1,56	2,07	50,2	42,84	10,77	0,47	4,08
4	140	max	1,59	2,09	54,7	57,43	12,06	2,19	5,01
5	130		1,59	2,09	52,7	57,71	13,61	2,31	4,82
6	125		1,58	2,10	51,8	53,51	13,57	1,43	4,63
7	140	сред.	1,58	2,08	53,1	47,18	10,85	0,98	4,29
8	130		1,58	2,08	51,42	49,8	12,23	1,11	4,36
9	125		1,57	2,08	50,84	49,13	12,65	0,76	4,29
10	140	отклон.	0,01	0,01	0,94	4,42	0,71	0,34	0,24
11	130		0,01	0,01	0,75	4,98	0,7	0,54	0,27
12	125		0,01	0,01	0,63	3,29	0,92	0,33	0,18

Из данных таблицы 1 видно, что наилучшие результаты имеют аноды, произведенные при температуре прессования 125 °С, наименьшее стандартное

отклонение данных анодов почти по всем показателям является индикатором более высокой стабильности процесса.

Динамика изменения целевых показателей при проведении экспериментального исследования представлена на рисунках 3–5, выделенные области – испытания 130 и 125 градусов соответственно.

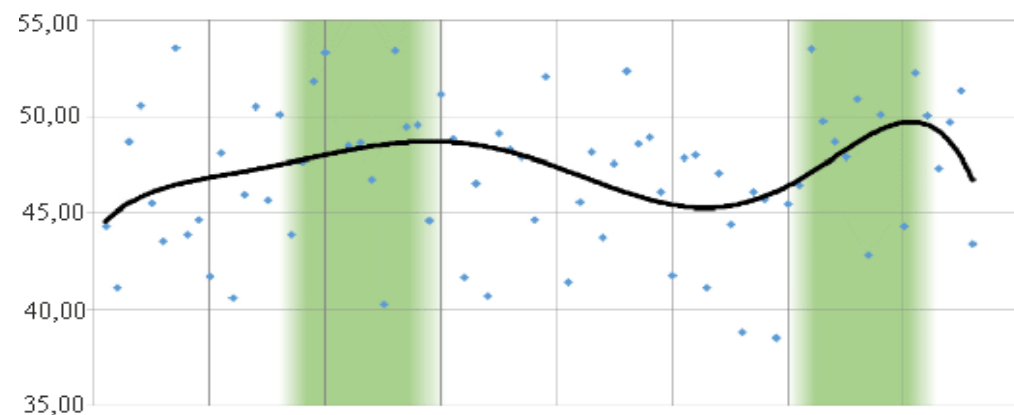


Рисунок 3 – График изменения прочности на сжатие

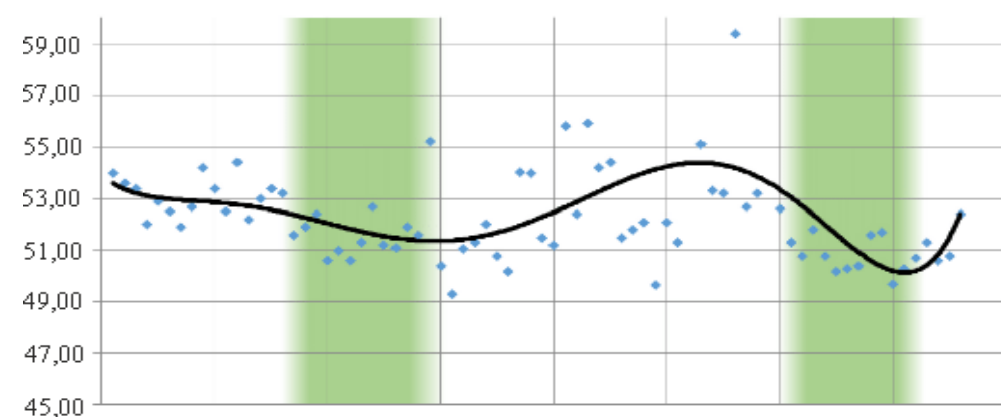


Рисунок 4 – График изменения удельного электрического сопротивления

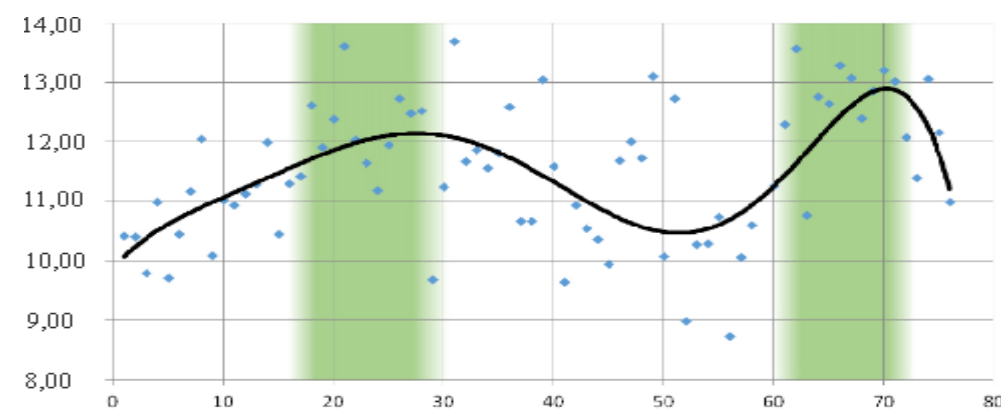


Рисунок 5 – График изменения прочности на изгиб

Как видно из рисунков 3–5 наиболее чувствительной к изменению температуры прессования является прочность на изгиб – один из ключевых параметров, наряду с коэффициентом теплового расширения, играющий роль в устойчивости анода к температурному шоку при установке в электролизер. При этом наиболее ощутимую и очевидную эффективность дает снижение удельного электрического сопротивления, как параметра, напрямую влияющего на расход основного компонента себестоимости алюминия – электроэнергии.

Таким образом, анализируя результаты проведенных экспериментальных исследований можно отметить, что результаты испытания на сегодняшний день находятся на достаточно высоком уровне на фоне мировых практик анодного производства, показывают высокий потенциал гидравлического прессования для управления качественными показателями производимых анодов. При этом управление параметрами гидравлического прессования сравнительно простое и гибкое, в отличие от вибропрессования, для управления качества анодов в котором, ключевое влияние оказывает управление рецептурой – более трудоемкий и длительный процесс.

Полученные результаты экспериментальных исследований применяются в качестве «рядовых» для производства обожженных анодов на предприятии АО «Казахстанский электролизный завод».

ВЫВОДЫ

В этой статье представлены результаты проведенных экспериментальных исследований по оптимизации параметров гидравлического прессования, которые позволяют производить анодные блоки более высокого качества без дополнительных затрат на модернизацию оборудования, материальные и энергетические ресурсы.

Достигнутые показатели являются полезными в практическом применении и позволяют оптимизировать затраты на производство продукции предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Fischer, J. C.** Prebaked Anodes for Aluminium Electrolysis [Text] / J. C. Fischer, P. Raymond, 2014. – 82 p.

2 **Пинчук, Г. Г.** Перспективы развития технологии производства анодных блоков [Текст] / Г. Г. Пинчук, А. Ж. Таскарина // Международная научная конференция молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XVII Сатпаевские чтения». – Т. 18. – Павлодар : ПГУ имени С. Торайгырова, 2017. – С. 394–399.

3 **Hulse, Kristine Louise.** Raw materials, formulation and processing parameters [Text] // Anode manufacture, 2000. – P. 541–546.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

Г. Г. Пинчук, А. Ж. Таскарина

Анод блогының сапасына гидравликалық баспалаудың параметрлерінің әсерін эксперименталды зерттеу

Металлургия, машинажасау және көлік факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

G. G. Pinchuk, A. Zh. Taskarina

Experimental researches of the influence of hydraulic pressing parameters on the quality of anode blocks

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Мақалада алюминийді электролиттік алуда қолданылатын анод сапасын көтеруге бағытталған сұрақтар қарастырылған. Күйдірілген анодтардың ішкі сызаттарының таралуын және бағытталу сипаттарының пайда болу анализдері жүргізіледі. Сонымен қатар, гидравликалық баспалаудың артықшылықтары, анодтардың сапасына әсер етуші параметрлері, зерттеуді жүргізу кезеңдері, анод блоктарының сапасына баспалаудың технологиялық параметрлерінің әсері және баспалау температурасы сипатталады. Эксперименталды зерттеудің нәтижелері сығылуы және иілуге беріктікті, меншікті электр кедергілерін және т.б. мақсатты көрсеткіштер графиктер түрінде көрсетілген. Анод массасын баспалауда алынған оңтайлы параметрлер істеп жатқан анод өндірісінде техника-экономикалық көрсеткіштерін көтеру құралы ретінде іске асыруға болады.

The article deals with the directed issues at improving the quality of anodes, which are used in the electrolytic production of aluminum. The analysis is made of the origin, the nature of the directivity, and the distribution of internal cracks in the baked anodes. The advantages of hydraulic pressing, the parameters that affect the quality of the anodes are also described, the stages of research, the effect of the process parameters of pressing on the quality of the anode blocks, such as the pressing pressure and the pressing temperature, are described. The results of experimental studies are presented in the form of graphs for changing targets, such as compression and bending strength, resistivity, etc. The obtained optimum parameters for pressing the anode mass can be realized in the existing anode production as a tool for improving the technical and economic indicators.

ГРНТИ 29.01.33, 29.03.15

В. В. Рындин

к.т.н, профессор, кафедра «Механики и нефтегазового дела», Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: rvladvit@yandex.kz

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Число вводимых в науку физических величин непрерывно растёт и давно перевалило за тысячу. Проблеме классификации и систематизации физических величин посвящены многочисленные работы. Однако до настоящего времени представить многообразие физических величин и их связь между собой в виде таблицы, аналогичной таблице периодического закона химических элементов Д. И. Менделеева, не удавалось никому.

В данной статье приводится таблица, связывающая основные величины с производными величинами, получаемыми от деления основных величин на массу, количество вещества, число частиц, объём, длину, площадь, время, электрический заряд (данный ряд можно расширять). В результате величины различных дисциплин группируются в столбцах по общему термину и формуле. Например, столбец «поток величины» позволяет рассматривать силу электрического тока как поток заряда, а ньютоновскую силу – в качестве потока импульса. Формирование общего термина для совокупности величин, имеющих различные исторически сложившиеся наименования, облегчает как понимание и запоминание этих величин, так и последовательное изучение совокупности дисциплин.

Ключевые слова: таблица физических величин, система физических величин, система обозначений величин, классификация величин.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время число физических величин (ФВ) превышает пять тысяч и, несомненно, будет расти. Запоминание большого числа величин и их обозначений затруднено. В связи с этим необходима систематизация, как ФВ, так и их обозначений. В науке неоднократно делались и делаются попытки создания системы ФВ. Имеющиеся системы единиц ФВ (например, система СИ) не предоставляют собой систему самих величин, подобной системе химических элементов Д. И. Менделеева. Известны попытки систематизации ФВ как аналогов по отношению их к энергии и силе (теория обобщающих потенциалов и зарядов, А. Вейник, И. Коган). Такая система является специфичной, применимой к узкому числу физических величин. Дальнейшие поиски системности ФВ были связаны с использованием их размерности.

Символическое выражение производной (вторичной) величины через основные (первичные) называется размерностью физической величины. Она отражает связь данной величины с величинами, принятыми за основные в рассматриваемой системе величин. Так, система величин, которая определяется Международной системой единиц, содержит семь основных системных величин l, m, t, I, T, n и J . Для этих величин условно приняты следующие размерности: для длины – L , массы – M , времени – T , силы электрического тока – I , термодинамической

температуры – Θ , количества вещества – N и силы света J . Размерности записываются прописными буквами и печатаются прямым шрифтом.

Размерность величины X обозначается так: $\dim X$ (англ. dimension – размерность). Например, размерность силы: $\dim F = \text{LMT}^{-2}$.

Как отмечается в работе [1], поиск закономерностей между ФВ в трёхмерных размерностных координат (M, L, T – размерности) никакого результата не дал. Успехи наметились лишь с использованием двухмерных координат системы LT -размерности. Переход от MLT -размерности к LT -размерности стал возможен благодаря представлению размерности массы с помощью уравнения $ma = GmM/r^2$ в виде $\dim m = L^3T^{-2}$. В результате размерности, например, силы и энергии записываются соответственно в виде L^4T^{-4} и L^5T^{-4} . Для создания таблицы, так называемой «планарной» системы физических величин в LT -координатах, в шапке таблицы даются значения размерности длины от L^{-1} до L^5 , а в столбце слева указываются размерности времени от T^2 до T^{-5} . В ячейки такой таблицы записываются названия соответствующих величин. Связь между величинами этой таблицы, как отмечает автор, не является наглядной и имеет вид «паутины» системных закономерных взаимосвязей физических величин. Отказ от использования размерности массы значительно усложняет восприятие физических величин. Например, плотность в такой таблице имеет размерность T^{-2} .

В работе [2] используются размерности всех основных величин СИ. Однако показатели размерностей изменяются не последовательно, как в таблице LT -размерности, а делятся на группы и подгруппы. Предложенная система, как отмечает автор, позволяет каждой ФВ сообщать научно-значимую информацию о себе: наименование; обозначение; формулу размерности (полная размерность); отношение величины к той или иной физической группе (указывается номер группы); влияние на величину массы (указывается подгруппа); координационный номер в таблице. Среди них важнейшим элементом информации является формула размерности, так как именно она показывает отношение и степень взаимосвязи физических единиц между собой.

Связь между величинами в приведённых таблицах не является наглядной, а сведения о величинах не являются исчерпывающими, поэтому к этим таблицам прилагаются электронные таблицы, где даётся описание величин, входящих в исходные таблицы.

Разрабатываемая таблица ФВ должна наглядно соединять все основные величины различных отраслей знания, что позволит обучающимся облегчить и ускорить изучение смежных дисциплин. Ниже изложен принцип построения таблицы взаимосвязи физических величин с наглядным представлением всех атрибутов физической величины: наименования величины, обозначения ФВ и её единицы, уравнения связи с другими величинами.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для построения таблицы физических величин необходимо для одних и тех же величин использовать одинаковые символы (при составлении таблиц для узкой отрасли знаний можно использовать существующую в отрасли систему обозначения величин). В основу таблицы положены символы Единой системы буквенных обозначений величин (ЕСБОВ), изложенной в работах автора [3, 4]. Основу этой таблицы составляет принцип выбора обозначений основных величин – выбранные символы основных величин должны неукоснительно использоваться во всех смежных дисциплинах. Например, для обозначения массы предлагается использовать символ m , молярной массы – M , объёма – V , длины l (из-за совпадения по начертанию этого символа с цифрой 1, особенно в индексах, допускается использовать символ L), площади – A , силы – \vec{F} , количества вещества (КВ) – μ , энергии – E , скорости c (скорости света c_0), импульса $\vec{K} = m\vec{c}$, давления – p , напряжения (механического) \vec{P} , теплоты (количества тепла) – Q , работы – W , электрического заряда – Θ .

Данные обозначения в основном совпадают с обозначениями во многих общенаучных дисциплинах (в механике жидкости и газа, механике сплошной среды, теплотехнике и других), а также в стандартах стран ближнего и дальнего зарубежья [5, 6]. В электротехнике и соответствующих разделах физики использование символа E для энергии затруднено из-за его совпадения с символом модуля вектора напряжённости электрического поля $|\vec{E}|$. В результате энергия обозначается символом W , работа – A . Эту проблему можно решить, если использовать существующую в науке следующую систематизацию.

Производные величины, получаемые от деления основной величины на объём, принято называть объёмными и обозначать малым символом этой величины со штрихом $b' = B/V$, например, $h' = H/V$ – объёмная энтальпия, Дж/м³, или символом основной величины с индексом объёма, записываемым курсивом (с наклоном), $B_v = B/V$, например, в качестве запасного обозначения плотности вещества может быть использован составной символ $m_v \equiv \rho = m/V$. Производные величины, получаемые от деления основной величины на количество вещества μ , принято называть молярными и обозначать символом основной величины с индексом КВ, записываемым курсивом, $B_\mu = B/\mu$. Например, $V_\mu = V/\mu$ – молярный объём, м³/моль. Производные величины, получаемые от деления основной величины на массу, называются удельными величинами и обозначаются малым символом основной величины $b = B/m$, или символом основной величины с индексом массы, записываемым курсивом, $B_m = B/m$. Например, отношение объёма к массе $v = V/m$ называется удельным объёмом, м³/кг; теплоты к массе $q = Q/m$ – удельной теплотой, Дж/кг; работы к массе $w = W/m$ – удельной работой, Дж/кг; силы к массе $\vec{f} \equiv \vec{F}_m = \vec{F}/m$ – удельной силой, Н/кг.

Аналогичным образом, величины, получаемые от деления основной величины на заряд, следует называть удельными по заряду величинами

и обозначать малым символом основной величины, или составным символом B_Θ . Поскольку ФВ напряжённость электрического поля получается от деления силы на заряд, то её можно назвать удельной по заряду силой и обозначить малым символом силы $\vec{f} = \vec{F} / \Theta = \vec{E}$, Н/Кл, или дополнительным составным символом \vec{F}_Θ . Введение символа $\vec{f} \equiv \vec{E}$ для обозначения напряжённости электрического поля (удельной по заряду силы) позволит освободить символ E для обозначения энергии, символ W – для обозначения работы, а символ A – для обозначения площади.

Следует заметить, что в ЕСБОВ допускается обозначение разнородных производных величин одним символом. В случае пересечения в одной дисциплине производных величин с одинаковыми символами следует использовать индексацию с записью индекса прямым шрифтом, либо использовать составной символ с наклонным индексом. Например, E_k – кинетическая энергия, E_p – потенциальная энергия, $N_V = N/V$ – концентрация частиц, m_V – плотность или массовая концентрация вещества, \vec{F}_m – удельная сила, или удельная по массе сила.

Для обозначения производных величин, получаемых от деления основной величины на время, используются символ основной величины с точкой сверху, или символ основной величины с наклонным индексом времени $\dot{B} \equiv B_t = B/t$. Такие производные величины называются потоками соответствующих величин. Например, $\dot{m} \equiv m_t = m/t$ – поток массы (массовый расход), $\dot{Q} = Q/t$ – поток теплоты (тепловой поток); $\dot{W} = W/t$ – поток работы (мощность), $\dot{K} \equiv \vec{K}_t \equiv \vec{F} = \frac{d\vec{K}}{dt} \equiv \frac{d(m\vec{c})}{dt}$ – поток импульса (сила).

Изложенная взаимосвязь основных величин приведена в таблице 1 (из-за недостатка места число столбцов и строк сокращено).

Таблица 1 – Таблица физических величин

Величина B	Удельная величина $b = \frac{B}{m}$	Молярная величина $B_\mu = \frac{B}{\mu}$	Объёмная величина, простран. плотность, концентрация. $B_V = \frac{B}{V}$	Плотность величины B		Поток величины B $\dot{B} \equiv B_t \equiv J = \frac{B}{t}$ $= \int_A B_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA = \int_A \vec{j}_B \vec{n} dA$	Плотность потока величины B		
				линейная $B_L = \frac{B}{L}$	поверхностная $B_A = \frac{B}{A}$		линейная плотность потока массы $\dot{m}_L \equiv \rho_L = \frac{m}{L}$ кг/м	поверхностная плотность массы $\dot{m}_A \equiv \rho_A = \frac{m}{A}$ кг/м ²	линейная плотность потока объёма $\dot{V}_L = \frac{V}{L}$ (м ³ /с)/м = м ² /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса m , кг	относительная масса $\bar{m} \equiv m_m = \frac{m}{m_0}$ массовая доля $g_i \equiv m_i / m_{см}$	молярная масса $M = \frac{m}{\mu}$, кг/моль	плотность $\rho_i = m_i / V_i$ массовая концентрация, кг/м ³ $\rho'_i = m_i / V_{см}$	линейная плотность массы $m_L \equiv \rho_L = \frac{m}{L}$ кг/м	поверхностная плотность массы $m_A \equiv \rho_A = \frac{m}{A}$ кг/м ²	поток массы $\dot{m} = \int_A \rho \vec{c} \cdot \vec{n} dA = \int_A \vec{j} \cdot \vec{n} dA$, массовый расход, кг/с	линейная плотность потока массы $\dot{m}_L \equiv \frac{m}{L}$, кг/(с·м)	поверхностная плотность потока массы $\dot{m}_A \equiv \frac{m}{A}$, $\vec{j} = \rho \vec{c}$ кг/(с·м ²)	пространственная плотность потока массы $\dot{m}_V \equiv \rho = \frac{m}{V}$, кг/(м ³ ·с)
Объём V , м ³	удельный объём, $v = \frac{V}{m}$, м ³ /кг	молярный объём $V_\mu = \frac{V}{\mu}$, м ³ /моль	относительный объём $\bar{V} \equiv V_V = V/V_0$ объёмная доля $v_i = V_i / V_{см}$			поток объёма $\dot{V} = \int_A \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ объёмный расход, м ³ /с	линейная плотность потока объёма, $\dot{V}_L = \frac{V}{L}$ (м ³ /с)/м = м ² /с	поверхностная плотность потока объёма $\dot{V}_A = V / A$, $\dot{V}_V = V_V \vec{c} = \vec{c}$ (м ³ /с)/м ² = м/с	пространственная плотность потока объёма $\dot{V}_V = \frac{V}{V}$, (м ³ /с)/м ³ = с ⁻¹
Количество вещества (молярность) $\mu = N / N_A$, МОЛЬ	удельное КВ $\mu_m = \mu / m$, молярность раствора $b_B = \mu_B / m_{раст}$ МОЛЬ/КГ	относительное КВ $\bar{\mu} = \mu / \mu_0$, молярная доля $x_i = \mu_i / \mu_{см}$	объёмное КВ $\mu'_i = \mu_i / V_i$ молярная концентрация, моль/м ³ $c(B) = \mu_i / V_{см}$	линейная плотность КВ, $\mu_L = \frac{\mu}{L}$, МОЛЬ/М	поверхностная плотность КВ $\mu_A = \frac{\mu}{A}$, МОЛЬ/М ²	поток КВ (поток молярности) $\dot{\mu} \equiv \mu_t = \frac{\mu}{t} = \int_A \mu_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ МОЛЬ/С	линейная плотность потока КВ $\dot{\mu}_L \equiv \frac{\mu}{L}$, МОЛЬ/(М·С)	поверхностная плотность потока КВ $\dot{\mu}_A \equiv j_\mu = \mu / A$, $\vec{j}_\mu = \mu_V \vec{c}$, МОЛЬ/(М ² ·С)	пространственная плотность потока КВ $\dot{\mu}_V = \frac{\mu}{V}$, МОЛЬ/(М ³ ·С)

1	Число частиц N	удельное (по массе) число частиц $N_m = \frac{N}{m}$, кг ⁻¹	молярное число частиц $N_\mu = N_A = \frac{N}{\mu}$ постоянная Авогадро, моль ⁻¹	пространств. плотность числа частиц $N_V \equiv n = \frac{N}{V}$, м ⁻³	линейная плотность числа частиц $N_L = \frac{N}{L}$, м ⁻¹	поверхностная плотность числа частиц $N_A = \frac{N}{A}$, м ⁻²	поток числа частиц $\dot{N} = N_t = \frac{N}{t} = \int_A N_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$, с ⁻¹	линейная плотность потока частиц $\dot{N}_L = \frac{\dot{N}}{L}$, м ⁻¹ с ⁻¹	поверхностная плотность потока частиц $\dot{N}_A = \frac{\dot{N}}{A} = j_N$, $\vec{j}_N = N_V \vec{c}$, м ⁻² с ⁻¹	пространств. плотность потока частиц $\dot{N}_V = \frac{\dot{N}}{V}$, м ⁻³ с ⁻¹
	Импульс (КД) $\vec{K} = m\vec{c}$ (\vec{p}) кг·м/с	удельный импульс $\vec{K}_m = \frac{\vec{K}}{m} = \vec{c}$, (импульс тела единичной массы) м/с	молярный импульс $\vec{K}_\mu = \frac{\vec{K}}{\mu} = \frac{m\vec{c}}{\mu} = M\vec{c}$ кг·м/(моль·с)	объёмный импульс $\vec{K}_V = \frac{\vec{K}}{V} = \rho\vec{c}$ пространств. плотность импульса, кг/(с·м ²)	линейная плотность импульса $\vec{K}_L = \frac{\vec{K}}{L}$, кг/с	поверхностная плотность импульса $\vec{K}_A = \frac{\vec{K}}{A}$ кг/(с·м)	поток импульса (сила) $\vec{F} \equiv \vec{K}_t = \frac{d(m\vec{c})}{dt} = \int_A \rho\vec{c} \cdot \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ кг·м/с ² = Н	линейная плотность потока импульса (линейная сила), $\vec{F}_L = \frac{\vec{F}}{L}$, Н/м	поверхностная плотность потока импульса (напряжение, давление) $\vec{j}_n \equiv \vec{p} = \rho\vec{c}c_n$ $p = F_A = F/A_\perp$, кг/(м·с ²) = Па	пространств. плотность потока импульса (пространств. плотность силы) $\vec{K}_V \equiv \vec{F}_V = \frac{\vec{F}}{V}$, Н/м ³
	Сила, Н (поток импульса) $\vec{F}_i = \frac{\delta(m\vec{c})}{dt}$ $\vec{F}_{рез} = \frac{d(m\vec{c})}{dt}$	удельная сила $\vec{f} \equiv \vec{F}_m = \frac{\vec{F}}{m}$, $\vec{f}_{рез} = \vec{a}$, Н/кг	молярная сила $\vec{F}_\mu = \frac{\vec{F}}{\mu}$ $\vec{F}_{\mu рез} = M\vec{a}$, Н/моль	пространств. плотность силы $\vec{F}_V = \frac{\vec{F}}{V}$, $\vec{F}_{V рез} = \rho\vec{a}$, Н/м ³	линейная плотность силы, Н/м $\vec{F}_L = \frac{\vec{F}}{L}$, Н/м	поверхностная плотность силы, Па (напряжение, давление) $\vec{p} \equiv \vec{F}_A = \vec{F}/A$ $p = F_A = F/A_\perp$	поток энергии $\dot{E} \equiv E_t = E/t = \int_A E_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ Вт	линейная плотность потока энергии $\dot{E}_L = \dot{E}/L$, Вт/м	поверхностная плотность потока энергии $\dot{E}_A \equiv j_E = \dot{E}/A_\perp$ $\vec{j}_E = E_V \vec{c}$ Вт/м ²	пространств. плотность потока энергии $\dot{E}_V = \dot{E}/V$, Вт/м ³

1	Теплота $Q = C\Delta T$ $\delta Q = \delta E_{хф}$ $\delta Q = T dS$ Дж	удельная теплота $q = Q/m$, Дж/кг	молярная теплота $Q_\mu = Q/\mu$ Дж/моль	объёмная теплота $q' \equiv Q_V = \frac{Q}{V}$ Дж/м ³	линейная плотность теплоты $Q_L = \frac{Q}{L}$, Дж/м	поверхностная плотность теплоты $Q_A = \frac{Q}{A}$, Дж/м ²	поток теплоты, Вт $\dot{Q} \equiv \dot{Q} = Q/t$ $\dot{Q} = \int_A \dot{Q}_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$	линейная плотность потока теплоты, $\Phi_L = \Phi/L$, Вт/м	поверхностная плотность потока теплоты $\Phi = \Phi/A_\perp$, Вт/м ²	пространств. плотность потока теплоты $\Phi_V = \Phi/V$, Вт/м ³
	Работа, Дж $W = \int_{S_1}^{S_2} \vec{F} \cdot d\vec{s}$ $\delta W = \delta E_{уф}$ $\delta W = C_w \Delta T$	удельная работа, Дж/кг $w = W/m$ $\delta w = p dv$ $\delta w^p = -v dp$	молярная работа $W_\mu = \frac{W}{\mu}$, Дж/моль	объёмная работа $w' \equiv W_V = \frac{W}{V}$ Дж/м ³	линейная плотность работы $W_L = \frac{W}{L}$, Дж/м	поверхностная плотность работы $W_A = \frac{W}{A}$, Дж/м ²	поток работы (мощность) $P \equiv \dot{W} = W/t$ $\dot{W} = \int_A W_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ Вт	линейная плотность потока работы, $\dot{W}_L = \dot{W}/L$, Вт/м	поверхностная плотность потока работы $j_W = \frac{\dot{W}}{A_\perp}$, Вт/м ²	пространств. плотность потока работы $\dot{W}_V = \frac{\dot{W}}{V}$, Вт/м ³
	Энтропия $S = \int_0^T \frac{\delta Q}{T}$, Дж/К	удельная энтропия $s = S/m$ Дж/(кг·К)	молярная энтропия $S_\mu = \frac{S}{\mu}$ $S_\mu = sM$ Дж/(моль·К)	объёмная энтропия $s' \equiv S_V = \frac{S}{V} = \rho s$ Дж/(м ³ ·К)	линейная плотность энтропии $S_L = \frac{S}{L}$, Дж/(м·К)	поверхностная плотность энтропии $S_A = \frac{S}{A}$, Дж/(м ² ·К)	поток энтропии $\dot{S} = S/t$ $\dot{S} = \int_A S_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ Вт/К	линейная плотность потока энтропии $\dot{S}_L = \dot{S}/L$, Вт/(м·К)	поверхностная плотность потока энтропии $j_S = \dot{S}/A_\perp$ $\vec{j}_S = S_V \vec{c} = \rho s \vec{c}$ Вт/(м ² ·К)	пространств. плотность потока энтропии $\dot{S}_V = \frac{\dot{S}}{V}$, Вт/(м ³ ·К)
	Заряд электрич. кль. $\Theta = \int I dt$, Кл	удельный заряд $\Theta_m = \frac{\Theta}{m}$, Кл/кг	молярный заряд $\Theta_\mu = \frac{\Theta}{\mu}$, Кл/моль	пространств. (пространств. плотность) заряд $\Theta_V \equiv \rho_\Theta = \frac{\Theta}{V}$ Кл/м ³	линейная плотность заряд $\Theta_L \equiv \tau = \frac{\Theta}{L}$ Кл/м	поверхностная плотность заряд $\Theta_A \equiv \sigma = \frac{\Theta}{A}$ Кл/м ²	поток заряда $I = \dot{\Theta} = \frac{\Theta}{t}$, сила электрич. тока $I = \int_A \Theta_V \vec{c} \cdot \vec{n} dA$ Кл/с = А	линейная плотность потока заряда (линейная плотность электр. тока) $I_L = I/L$, А/м	поверхностная плотность потока заряда (плотность электр. тока) $j_\Theta = I/A_\perp$ $\vec{j}_\Theta = \Theta_V \vec{c} = \rho_\Theta \vec{c}$ А/м ²	пространств. плотность потока элек. заряда (пространств. плотность элек. тока) $I_V = I/V$, А/м ³

ВЫВОДЫ

- 1 Приведены основные принципы создания таблицы взаимосвязи физических величин.
- 2 Дан фрагмент такой таблицы, включающий порядка 100 величин.
- 3 Таблицу можно расширять как за счёт числа столбцов, так и числа строк.
- 4 Таблица позволяет в столбцах увидеть родственные связи между различными величинами и сформулировать для них общие термины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Чуев, А. С.** Система физических величин в электронном исполнении. [Электронный ресурс]. – <http://www.chuev.narod.ru>.
- 2 **Бессонов, Е. А.** Логическая система физических величин. // Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». – № 15. – ноябрь 2014: [Электронный ресурс]. – <http://sci-article.ru>.
- 3 **Рындин, В. В., Рындина, Д. В.** Единая система буквенных обозначений величин // Наука и техника Казахстана. – 2003. – № 4. – С. 23–34.
- 4 **Рындин, В. В.** Основные принципы построения единой системы буквенных обозначений величин. // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2015. – Т. 3. – № 2. – С. 55–60.
- 5 ГОСТ 1494-77 [СТ СЭВ 3231–81]: Электротехника. Буквенные обозначения основных величин.
- 6 ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

V. V. Ryndin

Физикалық шамалардың өзара байланысы

«Механика және мұнайгаз ісі» кафедрасы,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

V. V. Ryndin

The relationship of physical quantities

Department of «Mechanics and Oil and Gas Business»,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Физика шамалары ғылымының қатарықуннен күнге шарықтап өсуде және бұрын саны мыңнан асты. Физикалық шамалардың жіктеу және жүйелеу мәселесіне көптеген жұмыстар арналған. Алайда, осы уақытқа дейін Д. И. Менделеев ұқсас кестесіндегі периодтық заңының және химиялық элементтердің арасындағы кесте түріндегі байланысын, физикалық шамалардың алуан түрлілігін ешкім ұсынған емес.

Осы мақалада бөлуден алынатын негізгі шамалардың массасы, заттар саны, бөлшектердің саны, аумағы, ұзындығы, көлемі, уақыты, электрлік заряд (бұл қатарды кеңейтуге болады) туынды шамаларды негізгі шамаларға байланыстыратын кесте келтіріледі. Нәтижесінде шаманың әр түрлі пәндер бағандары жалпы термин мен формула бойынша топтастырылады.

Мысалы, бағана «шама ағыны» қуат ағыны ретінде электр тогының күшін, ал ньютондық күші импульс ағынын қарауға мүмкіндік береді. Жалпы термин жиынтығы шама қалыптастыру үшін, әр түрлі тарихи атаулары қалыптасқан шамаларды түсіну және есте сақтауға жеңілдетеді және пәндер жиынтығын дәйекті зерттеуге болады.

The number of introduced into science physical quantities is continuously growing and is well over a thousand. The problem of classification and systematization of physical quantities is the subject of numerous works. To date, however, nobody could provide the variety of physical quantities and their relationship to each other in the form of a table similar to the table of the periodic law of chemical elements D. I. Mendeleev.

This article provides a table linking the basic quantities with quantities derived from dividing the basic units for mass, amount of substance, number of particles, volume, length, area, time, electric charge (this number can be extended). The result values of the various disciplines are grouped in columns on the General term formula. For example, the column «stream of values» allows us to consider the effect of electric current as flow of charge, and the Newtonian force as momentum flux. Forming of a General term for a set of variables having different names historically, facilitates the understanding and memorization of the measured values, and consistent study of the subjects.

В. В. Рындин¹, Р. Н. Сиюнич²

¹к.т.н, профессор, кафедра «Механики и нефтегазового дела», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²оператор по учёту сырья и готовой продукции, ТОО «УПНК-ПВ», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан

e-mail: ²urnk1@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В СИСТЕМЕ MATHCAD

В настоящее время при расчёте магистральных нефтепроводов в ходе выполнении дипломных и курсовых проектов, а также при проектировании нефтепроводов в основном используются электронные таблицы (Excel). Запись программ, созданных в электронных таблицах, не является наглядной и проверить формулы и изменить их затруднительно даже самому разработчику программы. Этим недостатком лишена новая математическая система Mathcad, позволяющая записывать формулы в привычном виде, что делает её доступной для студентов и инженеров.

В статье приведена программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, позволяющая автоматически строить QH-характеристики трубопроводов и перекачивающих станций, определять положение станций и рабочую точку системы, проводить исследование режимов работы нефтепровода. Дан расчёт эмпирических коэффициентов для напоров насосов по известным значениям H и Q для двух точек характеристик насосов, а также расчёт обточки рабочего колеса насоса. Цель статьи – привлечь внимание проектировщиков магистральных нефтепроводов к использованию в своих расчётах системы Mathcad. Разработанная программа может быть использована как в курсовом, так и дипломном проектировании, а также в проектных организациях при проектировании и исследовании режимов работы нефтепроводов.

Ключевые слова: нефтепровод, расчёт, система Mathcad, профиль трассы, расстановка станций, рабочая точка системы.

ВВЕДЕНИЕ

При решении многих математических задач широко используется программирование в средах Fortran, Turbo Pascal, Delphi, Matlab, Mathematica, Maple и др. При этом для выполнения даже небольших математических расчётов требуется знание основ программирования. При написании формул теряется их наглядность. Например, на языке Pascal \sqrt{x} записывается как sqrt(x), степень y^x как exp(x*ln(y)) и т. п. Этим недостатком лишена новая математическая система Mathcad – интегрированная математическая система, позволяющая наглядно вводить исходные данные, проводить математическое описание решения задачи в традиционном виде и получать результаты вычислений как в аналитическом, так и в численном виде [1, 2]. Ниже приводится программа расчёта магистрального нефтепровода (МН) в системе Mathcad. В основу программы положен пример 5.1 «Технологический расчёт МН», приведённый в [3]. Начальные сведения по работе в среде Mathcad, достаточные для создания подобной программы, даны в [4].

Задание. Сделать технологический расчёт нефтепровода длиной 600 км, пропускной способностью 34 млн т/год. Заданы вязкость и плотность. Расчётная температура нефти 7 °С – минимальная температура нефти в трубопроводе.

Программа расчёта МН в системе mathcad

Всё ниже написанное, включая и комментарии, может составлять содержание программы расчёта – система сама определяет, где текст, а где математические выражения (для наглядности в текстовой части символы величин будем писать курсивом, а в формулах Mathcad – вертикальным шрифтом).

Задаём исходные данные для расчёта МН, т.е. присваиваем буквенным обозначениям величин числовые значения. Ввод символа присваивания – двоеточия с равно «:=» осуществляется нажатием клавиши с символом двоеточия «:».

Плотность нефти при стандартной температуре $\rho_{20} := 852 \text{ кг/м}^3$.

Кинематическая вязкость при 20 и 50 °С: $\nu_{20} := 48 \text{ сСт}$, $\nu_{50} := 22 \text{ сСт}$.

Расчётная температура нефти $t_p := 7 \text{ °С}$.

Массовая пропускная способность нефтепровода $G_r := 34 \text{ млн т/год}$.

Разность геодезических отметок в начале и в конце нефтепровода $\Delta Z := 100 \text{ м}$. Протяжённость нефтепровода (перевальные точки отсутствуют) $L_{тр} := 600 \text{ км}$ или $L := L_{тр} \cdot 10^3 = 600000 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g := 9.81 \text{ м/с}^2$.

Вычисление плотности и вязкости нефти при t_p . Плотность нефти определяем по формуле Д. И. Менделеева, предварительно вычислив температурную поправку ξ (для контроля за вычислениями выводим известные значения величин, входящих в правую часть формулы, путём нажатия равно),

$$(\rho_{20} = 852 ; t_p = 7)$$

$$\xi := 1.825 - 0.001315 \cdot \rho_{20} = 0.705 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{К)};$$

$$\rho := \rho_{20} + \xi \cdot (20 - t_p) = 861.160 \text{ кг/м}^3.$$

Кинематическую вязкость нефти рассчитываем по формуле Рейнольдса-Филонова, предварительно определив коэффициент крутизны вискограммы u .

Вводим обозначения: $t_1 := 50 \text{ °С}$; $t_2 := 20 \text{ °С}$;

$$\nu_1 := \nu_{50} \cdot 10^{-6} = 2.2 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}; \nu_2 := \nu_{20} \cdot 10^{-6} = 4.8 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$u := \left(\frac{1}{t_1 - t_2} \right) \cdot \ln \left(\frac{\nu_2}{\nu_1} \right) = 0.02601 \text{ 1/К};$$

$$\nu := \nu_1 \cdot \exp[-u \cdot (t_p - t_1)] = 6.731 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Определение плановой пропускной способности. Для её расчёта нужно знать диаметр и число рабочих дней трубопровода в году. Наружный диаметр определяется по таблице приложения П.18 [3] по заданной пропускной способности, т. к. $G_r = 34 \text{ млн т/год}$, то $D := 1020 \text{ мм}$. Расчётное число рабочих дней МН согласно таблице П.17 [3] $N_p = 349$.

Плановая объёмная пропускная способность нефтепровода Q_0

$$(G_r = 34; N_p = 349; \rho = 861.160)$$

$$Q_0 := \frac{G_r \cdot 10^9}{24 \cdot N_p \cdot \rho} = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч},$$

или секундный расход $Q_c := \frac{Q_0}{3600} = 1.309 \text{ м}^3/\text{с}.$

Выбор марки магистрального (рабочего) и подпорного насосов.

Для $Q_0 = 4713.7 \text{ м}^3/\text{ч}$ по таблицам 3.4 и 3.8 [5] выбираем магистральный насос НМ 5000-210 и подпорный насос НПВ 5000-120.

В примере приведены характеристики работы насосов при плановой подаче.

Магистральный насос: $H_{M1} := 200 \text{ м}$ (ротор верхний $D_2 = 450 \text{ мм}$);

$H_{M2} := 160 \text{ м}$ (ротор нижний $D_2 = 405 \text{ мм}$); присваиваем $D_2 := 405 \text{ мм}$.

Подпорный насос: $H_{П1} := 123 \text{ м}$ (ротор верхний $D_2 = 640 \text{ мм}$);

$H_{П2} := 92 \text{ м}$ (ротор нижний $D_2 = 576 \text{ мм}$).

Считаем, что на головной станции будет установлено 3 магистральных (основных) и 1 подпорный насос.

Находим рабочее давление в трубопроводе для различных сочетаний роторов:

$$(\rho = 861.16; H_{П1} = 123; H_{M1} = 220; H_{M2} = 160; g = 9.81)$$

а) $p_{раб1} := 10^{-6} \cdot (H_{П1} + 3 \cdot H_{M1}) \cdot \rho \cdot g = 6.615 \text{ МПа};$

б) $p_{раб2} := 10^{-6} \cdot (H_{П2} + 3 \cdot H_{M2}) \cdot \rho \cdot g = 4.832 \text{ МПа};$

в) $p_{раб} := 10^{-6} \cdot (H_{П1} + 3 \cdot H_{M2}) \cdot \rho \cdot g = 5.094 \text{ МПа}$. Округляем $p_{раб} := 5.1 \text{ МПа}$.

Для наружного диаметра $D = 1020 \text{ мм}$ согласно П.18 [3] $p_{раб} = 5.3\text{--}5.9 \text{ МПа}$.

Поэтому выбираем вариант в), как более близкий этому интервалу, то есть для МН выбирается нижний ротор, а для подпорного насоса верхний.

Определение эмпирических коэффициентов а и b для насосов. Для МН с нижним ротором в примере приведены для двух точек характеристики насоса:

$$Q_1 := 3200 \text{ м}^3/\text{ч}; H_1 := 207 \text{ м}; Q_2 := 4800 \text{ м}^3/\text{ч}; H_2 := 157 \text{ м}.$$

Значения коэффициентов определяются по формулам:

$$a_0 := \frac{H_1 \cdot Q_2^2 - H_2 \cdot Q_1^2}{Q_2^2 - Q_1^2} = 247 \text{ м}; b_0 := \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2} = 3.906 \times 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

При плановой подаче $Q := Q_0 = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч}$ напор МН с нижним ротором будет равен $H_m := a_0 - b_0 \cdot Q^2 = 160.209 \text{ м}$ (160 м в примере).

Фиксируем значение напора стандартного магистрального насоса (без обрезки ротора) при плановой подаче $Q_0 H_{M0} := H_m = 160.209 \text{ м}$.

Для подпорного насоса (ПН) НПВ 5000-120* с верхним ротором значения коэффициентов выбираем по таблице 3.8 [5]:

$$a_{П} := 151.9 \text{ м}; b_{П} := 1.33 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

Для $Q := 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H_{П} := a_{П} - b_{П} \cdot Q^2 = 118.65 \text{ м}$ (120 м в примере). При плановой подаче $Q := Q_0 = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H_{П} := a_{П} - b_{П} \cdot Q^2 = 122.35 \text{ м}$ (123 м [3]). Для сближения результатов расчёта уточняем значения коэффициентов:

$$a_{П} := 151 \text{ м}; b_{П} := 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

При плановой подаче $H_{П} := a_{П} - b_{П} \cdot Q^2 = 123.005 \text{ м}$ (123 м в примере [3]). Фиксируем значение напора ПН при плановой подаче $H_{П0} := H_{П} = 123.005 \text{ м}$.

Расчёт толщины стенки трубопровода. Предварительно по таблице П.19 [3] для рабочего давления меньше 5,4 МПа и диаметра

$D = 1020 \text{ мм}$ выбираем трубы ВТЗ марки 17Г1С, для которых $\sigma_{вр} := 510 \text{ МПа}$; $k_1 := 1.4$; $m := 0.9$; $k_n := 1$; $n_1 := 1.15$. Расчётное сопротивление растяжению

$$R_1 := \sigma_{вр} \frac{m}{k_1 \cdot k_n} = 327.857 \text{ МПа}.$$

Толщина стенки трубопровода ($D = 1020 \text{ мм}$; $p_{раб} = 5.1 \text{ МПа}$)

$$\delta := \sigma_{вр} \frac{n_1 \cdot p_{раб} \cdot D}{2 \cdot (n_1 \cdot p_{раб} + R_1)} = 8.963 \text{ мм}.$$

Округляем до $\delta := 9 \text{ мм}$ (в примере для стали 13Г2АФ получили $\delta := 9,2 \text{ мм}$).

Внутренний диаметр трубопровода $d := D - 2 \cdot \delta = 1002 \text{ мм}$ (1001,6 мм [3]) или в метрах $d := d \cdot 10^{-3} = 1.002 \text{ м}$, $\delta := \delta \cdot 10^{-3} = 0.009 \text{ м}$.

Гидравлический расчёт нефтепровода. Число Рейнольдса ($Q_c = 1.309 \text{ м}^3/\text{с}$; $v = 6.731 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$)

$$Re := \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d \cdot v} = 24719.3.$$

Эквивалентная шероховатость стенок трубопровода $k_3 := 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Переходные (граничные) числа Рейнольдса:

$$Re_1 := \frac{10 \cdot d}{k_3} = 66800; Re_2 := \frac{500 \cdot d}{k_3} = 3340000.$$

Поскольку $Re_{кр} = 2320 < Re = 24719 < Re_1 = 66800$, течение происходит в зоне гидравлически гладких труб, где коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Блазиуса

$$\lambda := \frac{0.3164}{Re^{0.25}} = 0.02523.$$

Гидравлический уклон определяем по формуле Лейбензона, где для этой зоны $m := 0.25$ и $\beta := 0.0246 \text{ с}^2/\text{м}$ ($Q_c = 1.309$; $v = 6.731 \times 10^{-5}$; $d = 1.002$),

$$i := \beta \cdot \frac{Q_c^{2-m} \cdot v^m}{d^{5-m}} = 0.003537.$$

Фиксируем значение i при плановой подаче $i_0 := i = 0.003537$. Расчёт числа станций. Потребный напор на перекачку нефти при остаточном напоре на конечном пункте (КП) $h_{ост} := 30 \text{ м}$ ($\Delta Z = 100$, $L = 600000$)

$$H_{потреб} := 1.01 \cdot i \cdot L + \Delta Z + h_{ост} = 2273.628 \text{ м},$$

где 1,01 – коэффициент, учитывающий надбавку на местные сопротивления.

Напор одной станции со стандартными роторами (индекс «0») при числе МН $m_{МН} := 3$ и внутростанционных потерях $h_{вн} := 15 \text{ м}$ ($H_{M0} = 160.209$)

$$H_{ст0} := m_{МН} \cdot H_{M0} - h_{вн} = 465.626 \text{ м}.$$

Число станций для обеспечения потребного напора ($H_{п0} = 123.005$)

$$n := \frac{H_{\text{потреб}} - H_{п0}}{H_{\text{ст0}}} = 4.619.$$

1 Округление числа станций в большую сторону $n_{\text{ст1}} := 5$. Действительно необходимый напор одной станции

$$H_{\text{1ст}} := \frac{H_{\text{потреб}} - H_{п0}}{n_{\text{ст1}}} = 430.125 \text{ м.}$$

Действительный напор одного насоса ($h_{\text{вн}} = 15$; $m_{\text{мн}} = 3$)

$$H_{\text{м}} := \frac{H_{\text{1ст}} + h_{\text{вн}}}{m_{\text{мн}}} = 148.375 \text{ м.} \quad (1)$$

Производим обточку рабочего колеса. Обозначим отношение диаметров $D_{21}/D_2 = \chi$ и определим его значение ($a_0 = 247$; $b_0 = 3.906 \times 10^{-6}$; $Q_0 = 4713.661$):

$$\chi := \sqrt{\frac{H_{\text{м}} + b_0 \cdot Q_0^2}{a_0}} = 0.9758,$$

т. е. обрезаем на 2,42 % (в примере забыли извлечь корень из 0,948, в результате приняли обрезку 5,2 %).

Новый диаметр ротора ($D_2 = 405$) $D_{21} := D_2 \cdot \chi = 395.2$ мм.

После обточки колеса насоса изменяется его напорная характеристика:

$$a := \chi^2 \cdot a_0 = 235.166 \text{ м; } b := b_0 = 3.906 \times 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5 \quad (a_0 = 247).$$

Сравнение с ранее найденным по формуле (1) напором ($H_{\text{м}} = 148.375$ м)

$$H_{\text{м}} := a - b \cdot Q^2 = 148.375 \text{ м.}$$

Задание профиля трассы. Используя данные таблиц 5.2 и 5.3 [3], заносим значения координат x (км) точек трассы и соответствующие им значения Z (м) геодезических высот в матрицу (таблицу) M . Задание шаблона матрицы производится одновременным нажатием клавиш [Ctrl+M]. Начало нумерации в матрице с единицы (по умолчанию – с нуля) задаём путём записи $\text{ORIGIN} := 1$.

Выделяем 1-й и 2-й столбцы матрицы (шаблон для степени <1> вводится нажатием клавиш [Ctrl+6]).

$$M := \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 111 & 18 \\ 150 & 28 \\ 227.1 & 37 \\ 274.5 & 48 \\ 339 & 57 \\ 399 & 68 \\ 452.4 & 74 \\ 600 & 100 \end{pmatrix} \quad X := M^{(1)} \quad Y := M^{(2)} \quad X := \begin{pmatrix} 0 \\ 111 \\ 150 \\ 227.1 \\ 274.5 \\ 339 \\ 399 \\ 452.4 \\ 600 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 0 \\ 18 \\ 28 \\ 37 \\ 48 \\ 57 \\ 68 \\ 74 \\ 100 \end{pmatrix}$$

Проверка: $Z_{\text{н}} := M_{1,2} = 0$ м; $Z_{\text{к}} := M_{9,2} = 100$ м. С помощью программы сплайновой интерполяции Mathcad табличные значения преобразуем в кривую зависимости высоты Z от координаты x :

$$S := \text{lspline}(X, Y); \quad Z(x) := \text{interp}(S, X, Y, x).$$

Проверяем начальную ($x = 0$) и конечную ($x = L_{\text{тр}} = 600$ км) высоты: $Z(0) = 0$ м; $Z(L_{\text{тр}}) = 100$ м.

Расстановка пяти станций на трассе. Расстановка перекачивающих станций осуществляется аналитически с использованием системы Mathcad.

Линии падения напора от 1-й станции (линии гидравлического уклона):

– без учёта напора от подпорного насоса

$$H_1(x) := Z_{\text{н}} + H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000;$$

– с учётом напора от подпорного насоса

$$H_{1\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + Z_{\text{н}} + H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000.$$

Аналогичным образом записываются линии падения напоров от 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти станций:

$$H_2(x) := Z_{\text{н}} + 2 \cdot H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000, \quad H_{2\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + H_2(x);$$

$$H_3(x) := Z_{\text{н}} + 3 \cdot H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000, \quad H_{3\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + H_3(x);$$

$$H_4(x) := Z_{\text{н}} + 4 \cdot H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000, \quad H_{4\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + H_4(x);$$

$$H_5(x) := Z_{\text{н}} + 5 \cdot H_{\text{ст}} - 1.01 \cdot i \cdot x \cdot 1000, \quad H_{5\text{п}}(x) := H_{\text{п}} + H_5(x).$$

Координата второй станции находится как точка пересечения линии сжатого профиля трассы $Z(x)$ с линией падения напора от первой станции $H_1(x)$. Точка пересечения находится путём приравнивания этих уравнений и решения их с помощью оператора Given-Find (Дано-Найти). Знак логического равенства = (жирное равно) в уравнениях вводится нажатием клавиш [Ctrl+=]. Задаём начальное приближение, например, $x := 110$ км. Записываем блок решения:

$$\text{Given } H_1(x) := Z(x); \quad x_2 := \text{Find}(x) = 115.05 \text{ км; } Z_2 := Z(x_2) = 19.1 \text{ м.}$$

Аналогичным образом находим координаты 3-ей, 4-ой и 5-ой станций.

$$\text{Given } H_2(x) := Z(x); \quad x_3 := \text{Find}(x) = 230.26 \text{ км; } Z_3 := Z(x_3) = 37.6 \text{ м.}$$

$$\text{Given } H_3(x) := Z(x); \quad x_4 := \text{Find}(x) = 344.95 \text{ км; } Z_4 := Z(x_4) = 58 \text{ м.}$$

$$\text{Given } H_4(x) := Z(x); \quad x_5 := \text{Find}(x) = 460.59 \text{ км; } Z_5 := Z(x_5) = 74.9 \text{ м.}$$

Итак, получены следующие координаты положения и геодезические отметки НПС и КП: $x_1 := 0$ км и $Z_1 := Z_{\text{н}} = 0$ м; $x_2 = 115.05$ км и $Z_2 = 19.1$ м; $x_3 = 230.26$ км и $Z_3 = 37.6$ м; $x_4 = 344.95$ км и $Z_4 = 58$ м; $x_5 = 460.59$ км и $Z_5 = 74.9$ м; $x_{\text{к}} := L_{\text{тр}} = 600$ км и $Z_{\text{к}} = 100$ м.

Расстояния и разность геодезических отметок между смежными станциями:

$$L_{12} := x_2 - x_1 = 115.1 \text{ км; } \Delta Z_{21} := Z_2 - Z_1 = 19.1 \text{ м; } L_{23} := x_3 - x_2 =$$

$$= 115.2 \text{ км; } \Delta Z_{32} := Z_3 - Z_2 = 18.5 \text{ м; } L_{34} := x_4 - x_3 = 114.7 \text{ км; } \Delta Z_{43} :=$$

$$= Z_4 - Z_3 = 20.4 \text{ м; } L_{45} := x_5 - x_4 = 115.6 \text{ км; } \Delta Z_{54} := Z_5 - Z_4 = 16.9 \text{ м;}$$

$$L_{5\text{к}} := x_{\text{к}} - x_5 = 139.4 \text{ км; } \Delta Z_{\text{к}5} := Z_{\text{к}} - Z_5 = 25.1 \text{ м.}$$

Задание линии полных напоров (с учётом подпорных насосов) $H_{\text{п.н}}(x)$ осуществляется с помощью программного модуля. Для создания программного модуля используется встроенная функция Add line, которая создаёт вертикальную линию слева. Предварительно задаём массив чисел $x := 0..600$ км (символ последовательности чисел «..» задаётся нажатием клавиши, содержащей «;» точку с запятой).

$$H_{п.н}(x) := \begin{cases} H_{1п}(x) & \text{if } 0 \leq x \leq x_2 \\ H_{2п}(x) & \text{if } x_2 \leq x \leq x_3 \\ H_{3п}(x) & \text{if } x_3 \leq x \leq x_4 \\ H_{4п}(x) & \text{if } x_4 \leq x \leq x_5 \\ H_{5п}(x) & \text{if } x_5 \leq x \leq x_k \end{cases}$$

На рисунке 1 приведены прямые линии гидравлических уклонов $H_1(x) - H_4(x)$, дающие точки пересечения (положение НПС) с линией профиля трассы $Z(x)$, и зигзагообразная линия изменения полных напоров $H_{п.н}(x)$ вдоль трассы.

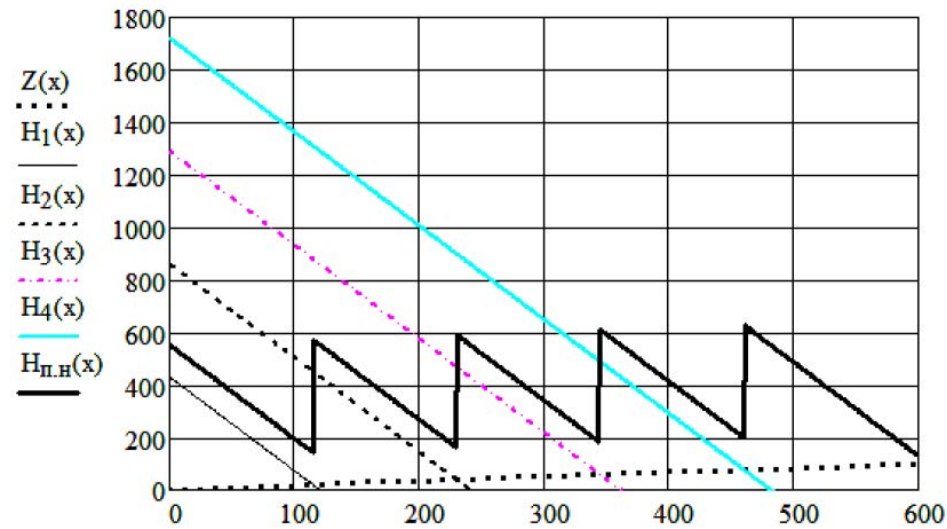


Рисунок 1 – Расстановка пяти станций на трассе МН

Проверка правильности расчёта. В конечном пункте разность напора и геодезической высоты должна равняться остаточному напору $h_{ост} = 30$ м ($L_{тр} = 600$ км; $H_{п.н}(L_{тр}) = 130$ м; $Z_k = 100$ м)

$$H_{п.н}(L_{тр}) - Z_k = 30. \text{ Расчёт сходится.}$$

Проверка режима работы всех НПС. Допустимое давление в трубопроводе ($n_1 = 1.15$; $R_1 = 327.857$; $\delta = 0.009$; $d = 1.002$)

$$p_{доп} := \frac{2\delta \cdot R_1}{n_1 \cdot d} = 5.121 \text{ МПа;}$$

допустимый напор станции ($\rho = 861.16$; $g = 9.81$)

$H_{доп} := \frac{p_{доп} \cdot 10^6}{\rho \cdot g} = 606.2$ м; атмосферное давление $p_a := 760$ мм рт. ст.; давление насыщенных паров нефти при максимальной температуре перекачки $p_s := 500$ мм рт. ст.; допустимый кавитационный запас (по QH-характеристике насоса) $\Delta h_{доп} := 38$ м.

Высота всасывания насоса

$$H_s := \frac{(p_a - p_s) \cdot 133.322}{\rho \cdot g} - \Delta h_{доп} = -33.9 \text{ м.}$$

Насос не обладает самовсасывающей способностью, нужен подпор

$$\Delta H_{доп} := |H_s| + 10 = 43.9 \text{ м.}$$

Проверяем режим работы станций из условий: $H_{ст} \leq H_{доп}$, $\Delta H_{ст} \geq \Delta H_{доп}$. ($H_{п} = 123.005$; $m_{МН} = 3$; $H_M = 148.375$; $h_{вн} = 15$; $i = 0.0354$; $L_{12} = 115.05$)

$$H_{ст1} := H_{п} + m_{МН} \cdot H_M - h_{вн} = 553.1 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м.}$$

Подпор на входе во 2-ю НПС (в начале второго участка) ($\Delta Z_{21} = 19.1$)

$$\Delta H_{ст2} := H_{ст1} - 1.01 \cdot i \cdot L_{12} \cdot 10^3 - \Delta Z_{21} = 123.00 \text{ м} > \Delta H_{доп} = 43.9 \text{ м.}$$

$$H_{ст2} := \Delta H_{ст2} + m_{МН} \cdot H_M - h_{вн} = 553.1 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м.}$$

Подпор на входе в 3-ю НПС ($L_{23} = 115.2$; $\Delta Z_{32} = 18.5$)

$$\Delta H_{ст3} := H_{ст2} - 1.01 \cdot i \cdot L_{23} \cdot 10^3 - \Delta Z_{32} = 123.00 \text{ м} > \Delta H_{доп} = 43.9 \text{ м.}$$

Аналогично получаем те же самые значения для соответствующих величин:

$$H_{ст3} = H_{ст4} = H_{ст5} = 553.1 \text{ м} < 606.2 \text{ м;}$$

$$\Delta H_{ст4} = \Delta H_{ст5} = 123.0 \text{ м} > 43.9 \text{ м.}$$

Остаточный напор в КП ($\Delta Z_{65} = 25.1$; $L_{56} = 139.4$)

$$\Delta H_k := H_{ст5} - 1.01 \cdot i \cdot L_{56} \cdot 10^3 - \Delta Z_{65} = 30.00 \text{ м} = h_{ост} = 30 \text{ м.}$$

Проверка сошлась, следовательно, станции расставлены правильно.

Определение рабочей точки системы. Для автоматического расчёта напоров при различных Q необходимо ввести функции $H(Q)$: ($H_M = 148.375$ м)

$$H_M(Q) := a - b \cdot Q^2; \quad H_{п}(Q) := a_{п} - b_{п} \cdot Q^2.$$

Сравниваем расчётные напоры с принятыми в примере

$$(a = 235.166 \text{ м; } b = 3.906 \times 10^{-6} \text{ ч}^2 / \text{м}^5); \quad H_M(Q_0) = 148.375 \text{ м} \quad (147 \text{ м});$$

$$H_M(3913.7) = 175.3 \text{ м} \quad (171 \text{ м}); \quad H_M(5513.7) = 116.4 \text{ м} \quad (113 \text{ м}).$$

Располагаемый напор (суммарный напор всех станций на трассе) в функции от Q ($n_{ст1} = 5$; $m_{МН} = 3$; $h_{вн} = 15$; $Q_0 = 4713.661$)

$$H_{рас}(Q) := H_{п}(Q) + n_{ст1} \cdot m_{МН} \cdot H_M(Q) - n_{ст1} \cdot h_{вн}; \quad H_{рас}(Q_0) = 2273.628 \text{ м.}$$

Задаём гидравлический уклон в функции от расхода Q

$$i(Q) := \beta \cdot \frac{\left(\frac{Q}{3600}\right)^{2-m}}{d^{5-m}} \cdot \nu^m.$$

Потребный напор (QH-характеристика нефтепровода) в функции от расхода Q)

$$H_{потр}(Q) := 1.01 \cdot i(Q) \cdot L + \Delta Z + h_{ост}. \quad H_{потр}(Q_0) = 2273.628 \text{ м.}$$

Рабочая точка системы определяется путём приравнивания уравнений для располагаемого и потребного напоров и подбора для них значения Q методом итераций с помощью блока Given-Find по начальному приближению $Q := 2000$

$$\text{Given } H_{рас}(Q) = H_{потр}(Q); \quad Q_{раб} := \text{Find}(Q) = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Найденное значение $Q_{раб}$ в точности соответствует плановому расходу Q_0 (в примере при плановом расходе потребный напор равен 2128 м, а располагаемый 2273 м, поэтому можно говорить о равенстве планового расхода и расхода в рабочей точке лишь с некоторой долей условности).

2 Округление числа станций в меньшую сторону $n_{ст2} := 4$. Уменьшение располагаемого напора компенсируем прокладкой лупинга. Задано:

– положение станций: $x_1 := 0$ км; $x_2 := 150$ км; $x_3 := 274.5$ км; $x_4 := 399$ км;

– расстояния между станциями: $L_{12} := 150000$ м; $L_{23} := 124500$ м; $L_{34} := 124500$ м; $L_{4к} := 201000$ м ($x_k = 600$ км);

– приращения высот на отдельных участках перегона: $\Delta Z_{21} := 28$ м; $\Delta Z_{32} := 20$ м; $\Delta Z_{43} := 20$ м; $\Delta Z_{к4} := 32$ м.

В зоне гидравлически гладких труб при равенстве диаметров $d_{луп} := d = 1.002$ м ($m = 0.25$; $i_0 := 0.003537$) $\omega := \frac{1}{2^{2-m}} = 0.2973$, тогда гидравлический уклон участка трубопровода с лупингом $i_{л} := i_0 \cdot \omega = 0.001052$.

Общая длина лупинга ($H_{ст0} = 465.626$; $n = 4.619$; $n_{ст2} = 4$)

$$L_{луп} := \frac{H_{ст0} \cdot (n - n_{ст2})}{1.01 \cdot i_0 \cdot (1 - \omega)} = 114764.5 \text{ м.}$$

Длины лупингов по заданию:

на 1-ом участке перегона $L_{луп1} := 41400$ м;

на последнем участке перегона $L_{луп2} := L_{луп} - L_{луп1} = 73364.45$ м.

Расстояния от станций до начала лупингов:

$L_{л1} := L_{12} - L_{луп1} = 108600$ м; $L_{4л2} := L_{4к} - L_{луп2} = 127635.55$ м.

Координаты начала лупингов:

$x_{л1} := L_{л1} \cdot 10^{-3} = 108.6$ км; $x_{л2} := x_k - L_{луп2} \cdot 10^{-3} = 526.64$ км.

Проверка режима работы всех НПС ($H_{п0} = 123.0$; $H_{м0} = 160.2$; $h_{вн} = 15$):

$$H_{ст1} := H_{п0} + m_{мн} \cdot H_{м0} - h_{вн} = 588.63 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м};$$

$$\Delta H_{ст2} := H_{ст1} - 1.01 \cdot i_0 \cdot L_{л1} - 1.01 \cdot i_{л} \cdot L_{луп1} - \Delta Z_{21} = 128.66 \text{ м} > \Delta H_{доп} = 43.9 \text{ м};$$

$$H_{ст2} := \Delta H_{ст2} + m_{мн} \cdot H_{м0} - h_{вн} = 594.3 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м};$$

$$\Delta H_{ст3} := H_{ст2} - 1.01 \cdot i_0 \cdot L_{23} - \Delta Z_{32} = 129.5 \text{ м} > \Delta H_{доп} = 43.9 \text{ м};$$

$$H_{ст3} := \Delta H_{ст3} + m_{мн} \cdot H_{м0} - h_{вн} = 595.1 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м};$$

$$\Delta H_{ст4} := H_{ст3} - 1.01 \cdot i_0 \cdot L_{34} - \Delta Z_{43} = 130.3 \text{ м} > \Delta H_{доп} = 43.9 \text{ м};$$

$$H_{ст4} := \Delta H_{ст4} + m_{мн} \cdot H_{м0} - h_{вн} = 595.9 \text{ м} < H_{доп} = 606.2 \text{ м};$$

$$H_k := H_{ст4} - 1.01 \cdot i_0 \cdot L_{4л2} - 1.01 \cdot i_{л} \cdot L_{луп2} - \Delta Z_{к4} = 30.00 \text{ м} = h_{ост} = 30 \text{ м.}$$

Линии гидравлического уклона для отдельных участков трубопровода. Напор станции с тремя магистральными насосами со стандартными роторами $H_{ст0} = 465.626$ м. Линия гидравлического уклона на участке от 1-й станции до первого лупинга ($Z_1 = 0$)

$$H_{1л1}(x) := Z_1 + H_{п0} + H_{ст0} - 1.01 \cdot i_0 \cdot x \cdot 10^3.$$

Напор в начале 1-го лупинга $H_{л1} := H_{1л1}(x_{л1}) = 200.63$ м. Падение напора вдоль трассы (линия гидравлического уклона):

на первом лупинговом участке $H_{л12}(x) := H_{л1} - 1.01 \cdot i_{л} \cdot (x - x_{л1}) \cdot 10^3$;

на 2-м участке $H_{23}(x) := H_{л12}(x_2) + H_{ст0} - 1.01 \cdot i_0 \cdot (x - x_2) \cdot 10^3$;

на 3-м участке $H_{34}(x) := H_{л12}(x_2) + 2 \cdot H_{ст0} - 1.01 \cdot i_0 \cdot (x - x_2) \cdot 10^3$;

на 4-м участке до 2-го лупинга

$$H_{45}(x) := H_{л12}(x_2) + 3 \cdot H_{ст0} - 1.01 \cdot i_0 \cdot (x - x_2) \cdot 10^3;$$

на втором лупинговом участке $H_{л2к}(x) := H_{45}(x_{л2}) - 1.01 \cdot i_{л} \cdot (x - x_{л2}) \cdot 10^3$.

Общая ломаная линия гидравлического уклона для всех участков трассы

$$H(x) := \begin{cases} H_{1л1}(x) & \text{if } 0 \leq x \leq x_{л1} \\ H_{л12}(x) & \text{if } x_{л1} \leq x \leq x_2 \\ H_{23}(x) & \text{if } x_2 \leq x \leq x_3 \\ H_{34}(x) & \text{if } x_3 \leq x \leq x_4 \\ H_{45}(x) & \text{if } x_4 \leq x \leq x_{л2} \\ H_{л2к}(x) & \text{if } x_{л2} \leq x \leq x_k. \end{cases}$$

На рисунке 2 изображены кривая профиля трассы $Z(x)$ и зигзагообразная линия полных напоров для четырёх нефтеперекачивающих станций нефтепровода с двумя лупингами.

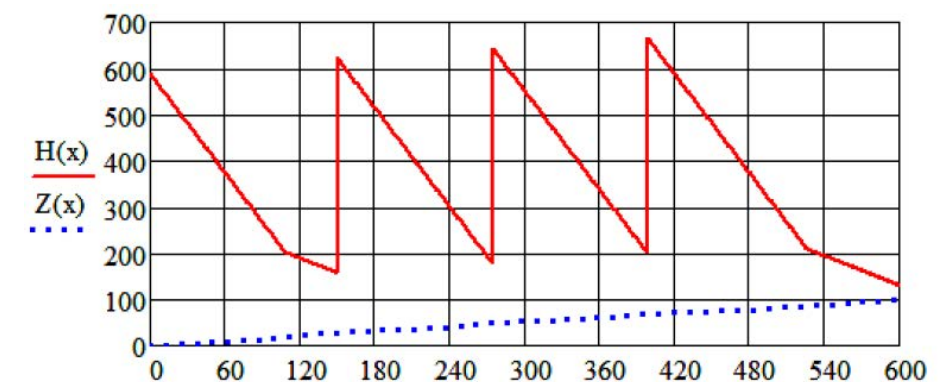


Рисунок 2 – Расстановка четырёх НПС на МН с двумя лупингами

Проверка остаточного напора ($h_{ост} = 30$ м; $Z_k = 100$ м)

$$H(x_k) - Z_k = 30 \text{ м.}$$

Определение рабочей точки системы и построение QH-характеристик. Располагаемый напор от четырёх станций (QH-характеристика станций)

$$H_{рас.луп}(Q) := H_{п}(Q) + n_{ст2} \cdot m_{мн} \cdot H_{м}(Q) - n_{ст2} \cdot h_{вн}.$$

Потребный напор (QH-характеристика трубопровода с лупингом)

$$H_{потр.луп}(Q) := 1.01 \cdot i(Q) \cdot [L - L_{луп} \cdot (1 - \omega)] + \Delta Z + h_{ост}.$$

Задаём начальное приближение $Q := 3000$ м³/ч.

$$\text{Given } H_{потр.луп}(Q) = H_{рас.луп}(Q); \quad Q_{раб.луп} := \text{Find}(Q) = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$H_{раб.л} := H_{рас.луп}(Q_{раб.луп}) = 1985.51 \text{ м, что соответствует}$$

$$H_{рас.луп}(Q_0) = 1985.51 \text{ м.}$$

На рисунке 3 приведены QH-характеристики нефтепровода $H_{потр}(Q)$ и НПС $H_{рас}(Q)$, а также линия рабочей точки $H_{раб}(Q)$ при $n_{ст} := 5$; аналогичные зависимости $H_{потр.луп}(Q)$, $H_{рас.луп}(Q)$ и $H_{раб.луп}(Q)$ при $n_{ст} := 4$ (с лупингом).

Предварительно перед построением диаграмм задаём диапазон $Q := 0..6000$.

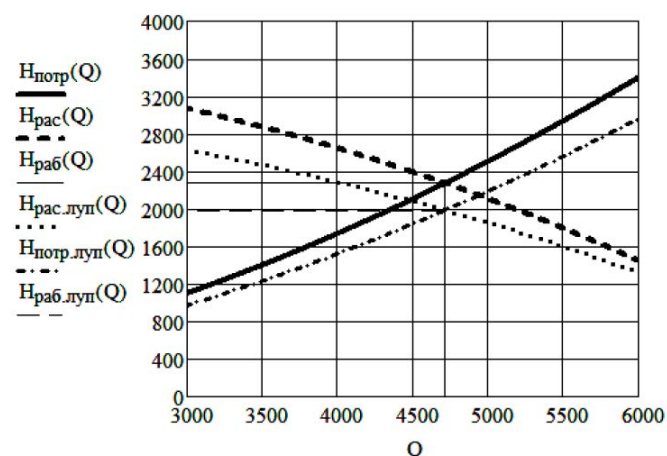


Рисунок 3 – QH-характеристики нефтепроводов и НПС при числе станций 5 и 4 (с двумя лупингами)

Как видно из рисунка, точки пересечения характеристик (рабочие точки для числа станций 5 и 4) лежат на одной вертикальной линии, т.е. имеют одинаковые значения, равные плановой пропускной способности трубопровода $Q_{\text{раб}} = Q_0 = 4713.661 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ВЫВОДЫ

1 Разработана программа расчёта магистрального нефтепровода в системе Mathcad, записываемая в традиционных математических символах, что делает её наглядной и удобной для расчётов и графического построения необходимых зависимостей.

2 Преимущество данной программы перед другими программами заключается в её доступности и возможности любому пользователю изменять её отдельные блоки без изучения логики традиционного программирования.

3 Программа апробирована на примере расчёта магистрального нефтепровода, изложенного в [3].

4 Данная программа может быть использована как в курсовом, так и дипломном проектировании, а также в проектных организациях при проектировании и исследовании режимов работы нефтепроводов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Кирьянов, Д. В.** Mathcad 13. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с. : ил.
- 2 **Макаров, Е. Г.** Инженерные расчёты в Mathcad 15. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с. : ил.
- 3 Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах : учеб, пособие / Под общей редакцией Ю. Д. Земенкова. – СПб. : Недра, 2004. – 544 с. : ил.

4 **Макушев, Ю. П.** Интегральное и дифференциальное исчисления в приложении к технике : монография / Ю. П. Макушев, Т. А. Полякова, В. В. Рындин, Т. Т. Токтаганов. – Павлодар : Кереку, 2013. – 330 с. : ил.

5 **Тугунов, П. И.** Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов : учеб. пособие / П. И. Тугунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, – 658 с. : ил.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

V. V. Ryndin¹, P. N. Siunits²

Mathcad жүйесінде магистральдық мұнай құбырын зерттеу және есептеу

¹«Механика және мұнайгаз ісі» кафедрасы,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы;
²«УПНК-ПВ» ЖШС,
Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы,
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

V. V. Ryndin¹, R. N. Siunits²

Research and calculation of the main oil pipeline in Mathcad

¹Department of «Mechanics and Oil and Gas Business»,
S. Toraighyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
²LLP «UPNK-PV»,
Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Қазіргі уақытта магистральдық мұнай құбырларын есептеу кезінде дипломдық және курстық жобаларды орындау барысында, сондай-ақ мұнай құбырларын жобалау кезінде негізінен электрондық кестелер (Excel) пайдаланылады. Электрондық кестеде құрылған бағдарламалар жазбасы көрнекі емес, формулаларды тексеру және оларды өзгерту тіпті бағдарлама әзірлеушіге де қиын. Осы кемшіліктерді жаңа математикалық жүйе Mathcad жоюға мүмкіндік береді, қарапайым түрде формуланы жазуға студенттер мен инженерлерге қол жетімді.

Мақалада Mathcad жүйесінде магистральдық мұнай құбыры бағдарламасының есептеуі келтіріліп, құбырлар мен қайта айдау станцияларының QH-сипаттамаларын автоматты түрде құруды, станцияның ережесі мен жұмыс нүктесін анықтауға, мұнай құбыры жұмысының режимдерін зерттеуге, жүргізуге мүмкіндік береді. Арын сорғыларының белгілі мәндері бойынша, H және Q екі нүктелері сорғыларының сипаттамаларын сондай-ақ сорғының жұмыс істеп тұрған дәңгелегін жону есептеу үшін эмпирикалық коэффициенттер есептеулері берілген. Мақаланың мақсаты – есеп айырысу жүйесінде Mathcad-ты пайдалану үшін магистральдық мұнай құбырлары жобалаушыларының назарын аудару. Курстық және дипломдық жобалау, сондай-ақ жобалау ұйымдарында, мұнай құбырларының жұмыс режимдерін жобалау және зерттеу кезінде осы бағдарламаны пайдалануы мүмкін.

Currently, in the calculation of oil pipelines in the course of implementation of diploma and course projects, as well as in the design of pipelines is the spreadsheet (Excel) primarily used in. The programs entry created in a spreadsheet is not visible and to check the formulas and changing them is difficult even for the developer. Devoid of these shortcomings, a new mathematical system Mathcad allows to write formulas in the usual form, making it accessible for students and engineers.

The article presents a program for calculating the main pipeline in the system Mathcad, allowing you to automatically build a QH -characteristics of the pipelines and pumping stations to determine the position of stations and the operating point of the system, conduct a study of the modes of operation of the pipeline. Given the calculation of the empirical coefficients for pressures pumps on the known values of H and Q for two points characteristics of pumps and the calculation of the turning of the impeller of the pump. The purpose of the article is to attract the attention of oil pipelines designers to use Mathcad in their calculations. The developed program can be used in both coursework, and Capstone design, as well as to design organizations to projection and the study of the modes of the pipelines.

ГРНТИ 31.15.25:53.31.21

В. А. Салина¹, В. И. Жучков², О. В. Заякин³¹к.т.н., ст.науч.сотр., 1-3ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, 620016, Российская Федерация;²д.т.н., профессор, гл.науч.сотр., 1-3ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, 620016, Российская Федерация;³к.т.н., ст.науч.сотр., 1-3ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, 620016, Российская Федерацияe-mail: ¹valentina_salina@mail.ru; ²ntm2000@mail.ru; ³zferro@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ СИЛИКОТЕРМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬХРОМСОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОСПЛАВОВ МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящей статье приведены результаты термодинамического моделирования процесса восстановления металлов из оксидов бедной российской хромовой руды Сарановского месторождения кремнием ферросиликоникеля при температуре 1700 °С. Установлено, что оптимальная основность шлака $(CaO)/(SiO_2)$ для протекания данного процесса составляет 1,86–1,9 при расходе кремния восстановителя 105 %.

Ключевые слова: хромовая руда, силикотермия, термодинамическое моделирование, никель, комплексный ферросплав, нержавеющая сталь.

ВВЕДЕНИЕ

В металлургии широкое применение получило металлотермическое восстановление металлов из оксидов кремнием, который является одним из основных восстановителей при производстве низкоуглеродистых марок ферросплавов (ферромарганца, феррохрома, феррованадия и т.д.) [1–3] и прямом легировании стали. При производстве нержавеющей, жаропрочных, кислотостойких и других марок стали используют никель и хромосодержащие ферросплавы, способные значительно повысить эксплуатационные свойства металлоконструкций. Авторами работы [4] предложена технология получения нового комплексного ферросплава ферросиликоникеля с использованием в качестве шихтовых материалов бедных окисленных никелевых руд. Актуальной задачей современных исследований является применение кремния этого сплава в качестве восстановителя металлов из хроморудных материалов и шлаков аргоно-кислородного процесса получения нержавеющей стали.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разработка рациональной технологии получения комплексного хром-, никельсодержащего ферросплава базируется на результатах расчета теоретических исследований. В литературе имеются работы, посвященные термодинамическому анализу металлотермического способа получения феррохрома [5, 6]. В работе [5] приведены результаты термодинамического моделирования (ТМ) процесса восстановления хрома из руды с использованием в качестве восстановителей

ферросиликохрома и алюминия при температуре 1750 °С. Показано, что при использовании алюминия восстановление хрома затруднено вследствие связывания его в силикат хрома, полное восстановление достигается при расходе алюминия, превышающем стехиометрический на 20 %. Авторы предлагают для восстановления хрома использовать поочередно алюминий и ферросиликохром. На первой стадии использовать только алюминий с получением расплава с высоким содержанием кремния, а затем ферросиликохром с рафинированием металла от кремния.

Авторами работы [6] определена принципиальная возможность получения низкоуглеродистого феррохрома при восстановлении хрома кремнием при температуре 1700 °С из хромовых руд Челябинской области методом ТМ. Полученные результаты ТМ показали удовлетворительную сходимость с данными промышленных плавок.

В работе [7] изучена эффективность элементов-восстановителей хрома из оксидного расплава, показано, что эффективность увеличивается по порядку: Si, Al, Ca, Mg. Выявлено, что восстановительная способность Mg в ~3 раза выше, чем Si.

Целью настоящей работы является изучение влияния основности шлака – отношение (CaO)/(SiO₂) на степень восстановления хрома из отечественной хромовой руды Сарановского месторождения кремнием ферросиликоникеля при температуре 1700 °С методом термодинамического моделирования (ТМ) для получения комплексного ферросплава, содержащего хром и никель.

Для ТМ применяли ферросиликоникель, содержащий, масс. %: 65 Si; 28 Fe; 7 Ni в количестве 105 % Si от стехиометрически необходимого для полного восстановления хрома и железа. Химический состав исходной хромовой руды приведен в таблице.

Таблица - Химический состав исходной хромовой руды, масс. %

Cr ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO
40	21	16	5	16	2

ТМ процесса восстановления осуществляли с применением программного комплекса (ПК) HSC Chemistry 6.12, основанного на минимизации свободной энергии Гиббса и вариационных принципах термодинамики [8]. ПК разработан Outokumpu Research Oy (Финляндия) и предназначен для анализа химических реакций и расчета равновесий. Программа позволяет вычислить количество продуктов при изобарических и изотермических условиях после задания количественного, качественного и фазового состояния исходных веществ. В термодинамическую модель ПК HSC Chemistry не включены модели различных типов растворов, поэтому расчеты проведены в приближении к идеальному раствору [9].

Равновесный состав многокомпонентной оксидной Cr₂O₃-CrO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaO и металлической Fe-Cr-Ni-Al-Si систем определен с применением модуля «Равновесные составы» (Equilibrium Compositions) при 1700 °С и давлении газовой фазы, равном 1 атм, при увеличении добавок CaO в шихте до 55,1 % от массы руды. Для расчетов использовали алгоритм программы минимизации

потенциала Гиббса «GIBBS». В базу данных ПК HSC Chemistry 6.12 введено химическое соединение – оксид хрома двухвалентного (CrO) с соответствующими термодинамическими характеристиками, скорректированы существующие в базе данных термодинамические константы соединения хромита кальция – CaCr₂O₄.

Результаты расчетов равновесного состояния оксидной Cr₂O₃-CrO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaO и металлической Fe-Cr-Ni-Al-Si систем представлены в виде графических зависимостей изменения химического состава металла и шлака от его основности на рисунках 1 и 2 соответственно и степени восстановления хрома от основности шлака (рисунок 3) при температуре 1700 °С и расходе кремния восстановителя 105 %.

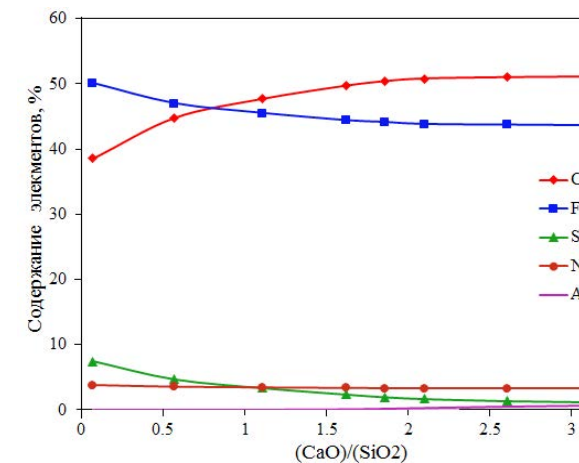


Рисунок 1 – Изменение химического состава металла от основности шлака при температуре 1700 °С

Из данных, представленных на рисунке 1, видно, что содержание кремния в ферросплаве [Si] уменьшается во всем рассматриваемом интервале основности шлака. При этом активное снижение содержания [Si] наблюдается при увеличении основности шлака от 0,07 до 2. Содержание [Si] менее 2 % (требуемое по ГОСТ 4757-91 для низкоуглеродистого феррохрома марок ФХ025, ФХ050) достигается путем увеличения основности шлака ≥ 1,86. Для получения металла, удовлетворяющего по содержанию кремния требованиям международного стандарта ISO 5448-81 для марок низкоуглеродистого феррохрома менее 1,5 Si, согласно проведенных расчетов, необходимо снижать содержание восстановителя до 100 % от стехиометрически необходимого для полного восстановления хрома и железа.

При увеличении основности шлака от 0,07 до 1,86 содержание Cr в сплаве существенно увеличивается от 38,6 до 50,4 %, а дальнейшее увеличение основности до 3,1 приводит к незначительному увеличению содержания [Cr] до 51,1 %.

Концентрация железа в металлической фазе снижается с ростом основности шлака, что связано с разбавлением металла за счет увеличения доли восстановленного хрома.

Содержание никеля в сплаве при повышении основности шлака от 0,07 до 1,86 плавно снижается от 3,8 до 3,3 % за счет разбавления металлической фазы

восстанавливаемым хромом, а при дальнейшем увеличении основности (до 3,1) почти не изменяется.

Результаты ТМ, представленные на рисунке 2 показывают, что увеличение основности шлака сопровождается снижением содержания SiO₂, MgO и CrO за счет разбавления шлака CaO, а также за счет увеличения степени восстановления хрома, особенно в интервале низкой основности (0,07–1,86).

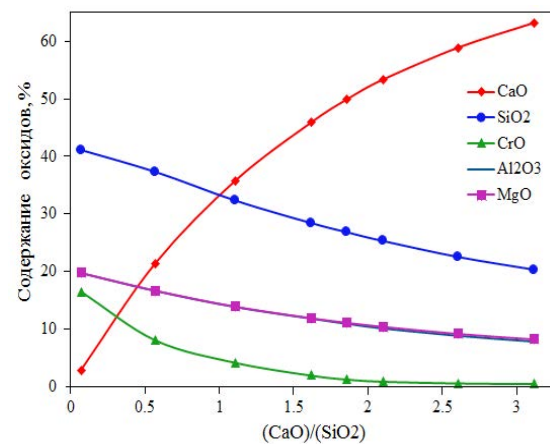


Рисунок 2 – Изменение химического состава шлака от его основности при температуре 1700 °С

Из данных, приведенных на рисунке 3, видно, как увеличение основности шлака количественно влияет на повышение степени восстановления хрома.

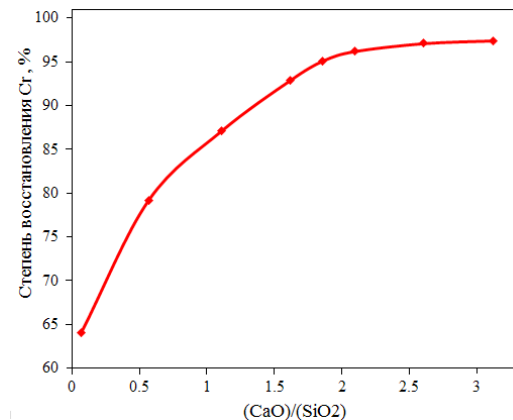
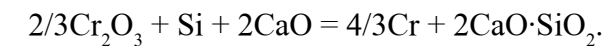


Рисунок 3 – Изменение степени восстановления хрома от основности шлака при температуре 1700 °С

Введение в шихту CaO способствует снижению активности образующегося SiO₂ и повышению активности Cr₂O₃. Чем больше содержание CaO в шлаке, выше основность (CaO)/(SiO₂), тем выше активность ионов кислорода. Суммарная реакция восстановления оксида хрома кремнием имеет вид [1]:



Согласно приведенной реакции видно, что присутствие CaO в процессе восстановления хрома кремнием способствует связыванию образующегося SiO₂ в прочные силикаты кальция (Ca₂SiO₄, CaSiO₃). При этом с увеличением основности шлака до 3,12 концентрация кремния в сплаве снижается с 7,4 до 1,2 %. В восстановительных процессах значительную роль играет оксид хрома – CrO, который устойчив в высокотемпературной области (> 1487 °С) и участвует в реакции, определяющей равновесное содержание кремния в металле. Восстановление Cr при температуре выше 1487 °С идет по схеме Cr₂O₃→CrO→Cr.

При естественной основности шлака (0,07), образующегося при силикотермической переработке хромовой руды Сарановского месторождения (табл.), степень восстановлений хрома составляет 64 %. При добавках извести увеличивается основность шлака до 1,86, что приводит к смещению равновесия реакции восстановления в сторону образования [Cr], вследствие чего наблюдается резкое увеличение степени восстановления хрома до 95,1 %, а дальнейший рост основности до 3,1 приводит к плавному увеличению степени восстановления Cr до 97,4 %.

ВЫВОДЫ

На основании результатов термодинамического моделирования показана возможность получения комплексного ферросплава, содержащего хром и никель силикотермическим способом из бедной отечественной хромовой руды Сарановского месторождения с использованием в качестве восстановителя ферросиликоникеля. Установлено, что оптимальный расход кремния ферросиликоникеля для восстановления хрома и железа равен 105 % от стехиометрически необходимого. Оптимальная основность шлака (CaO)/(SiO₂) для протекания данного процесса составляет 1,86–1,9.

*Работа выполнена в рамках исполнения государственного задания № госрегистрации 0396-2015-0084 и при поддержке Проекта № 15-6-3-31 Комплексной программы УрО РАН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гасик, М. И., Лякишев, Н. П., Емлин, Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. – М. : Металлургия, 1988. – 784 с.
- 2 Рысс, М. А. Производство ферросплавов. – М. : Металлургия, 1985. – 344 с.
- 3 Лякишев, Н. П., Гасик, М. И. Металлургия хрома. – М. : Москва «Элиз», 1999. – 582 с.
- 4 Заякин, О. В., Жучков, В. И. Получение и свойства новых никелевых сплавов / О. В. Заякин, В. И. Жучков // Современные технологии освоения минеральных ресурсов : сб. науч. тр. IV Межд. науч.-техн. конф. – Красноярск : Изд-во ГОУ ВПО «ГУЦМИЗ», 2006. – С. 379–381.

5 **Акимов, Е. Н., Сенин, А. В., Роцин, В. Е.** Термодинамический анализ получения низкоуглеродистого феррохрома с применением модели ассоциированных растворов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 182–184.

6 **Танклевская, Н. М., Михайлов, Г. Г.** Термодинамический анализ возможности получения низкоуглеродистого феррохрома из местных руд / Н. М. Танклевская, Г. Г. Михайлов // Компьютерное моделирование физико-химических свойств стекол и расплавов : тр. XII Российского семинара. – Курган, 2014. – С. 42–44.

7 Gutierrez-Paredes Juliana, Romero-Serrano Antonio, Plascencia-Barrera Gabriel, Vargas-Ramirez Marissa, Zeifert Beatriz, Arredondo-Torres Victor. Chromium oxide reduction from slag by silicon and magnesium // Steel research int. 76 (2005). – № 11. – P. 764–768.

8 **Roine, A.** Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical reactions and Equilibrium software with extensive thermochemical database. – Pori : Outokumpu research OY, 2002.

9 Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ: Учебное пособие / Ю. П. Удалов. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 147 с.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

V. A. Salina, V. I. Zhuchkov, O. V. Zayakin

Термодинамикалық модельдеу әдісімен кешенді никельхром қамтитын феррокорытпаларды алу үшін силикотермиялық тәсілді зерттеу

Металлургия институты, Орал бөлемі PFA,
Екатеринбург қ., 620016, Ресей Федерациясы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

V. A. Salina, V. I. Zhuchkov, O. V. Zayakin

Study of a silicothermic method of complex nickel chrome-containing ferroalloys production by the thermodynamic modeling method

Institute of Metallurgy, the Ural Division RAS,
Ekaterinburg, 620016, Russian Federation.
Material received on 12.12.17.

Осы мақалада 1700 °С температура кезінде кремний ферросиликоникелдің Сарандағы кремний кен шығатын жеріндегі кедей ресейлік хром кенінің оксидтерден металды қалпына келтіру үрдісінің термодинамикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Анықталғаны, осы үрдісте қалпына келтіргіш кремнийдің шығысы 105 % болғанда, қосынды оңтайлы негіздемесі (CaO)/(SiO₂) 1,86–1,9 болып құрайды.

In this paper, the results of thermodynamic modeling of the process of metal reduction from oxides of the poor Russian chromium ore of the Saranov deposit by silicon ferrosiliconnickel at a temperature of 1700 °C are presented. It has been established that the optimum basicity of the slag (CaO)/(SiO₂) for the process is 1.86–1.9 at a 105 % silicon consumption of the reducing agent.

ГРНТИ 55.43.13;55.43.41

Б. Р. Салыков¹, Нечаев² М. И.

¹к.т.н., доцент, Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан;

²магистрант, Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай, 110000, Республика Казахстан

e-mail: ¹salykovbulat@mail.ru

К АНАЛИЗУ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

В настоящей статье авторы дают анализ математических моделей движения автомобиля. Особое внимание привлекается к вопросам безопасности движения, в частности, к проблемам предотвращения ситуаций, приводящих к заносу автомобиля. Приведен анализ различных математических моделей автомобилей с различным количеством колес. При решении вычислительных задач транспортной динамики часто используется так называемая Magic Formula Паццейки, которая позволяет в реальном времени с высокой степенью точности вычислять значения продольной, боковой контактных сил и момента вращения в пятне контакта в зависимости от нормальной реакции, величины продольного проскальзывания.

Приведены авторы, работающие над проблемой активной безопасности колесных машин.

Предлагаемая модель должна включать описание подсистем автомобиля, точно должны быть описаны шины, так как их характеристиками в значительной степени определяется движение исследуемого автомобиля.

Ключевые слова: автомобильная промышленность, безопасность движения, математическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Современная автомобильная промышленность является достаточно развитой, высокотехнологичной отраслью. Законы рынка заставляют автопроизводителей всесторонне повышать качество выпускаемой ими продукции, уделяя внимание, как дизайну автомобилей, так и их комфорту, надежности и практичности.

Особое внимание привлекается к вопросам безопасности движения, в частности, к проблемам предотвращения ситуаций, приводящих к заносу автомобиля.

Разработка надежного и безопасного автомобиля предполагает построение и анализ соответствующих математических моделей на начальном этапе проектирования.

Над проблемами активной безопасности колесных машин работали такие авторы как: Афанасьев В. Л., Балакина Е. В., Гинцбург Л. Л., Давыдов А. Д., Юрчевский А. А., Douglas L., Mitschke A., Н. В. Расејка и др.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время во многих научных работах описано значительное количество разработанных и применяемых для различных целей математических моделей автомобиля. Выбирать сложность и характер принимаемых допущений модели следует исходя из целей исследования.

Модель должна включать описание подсистем автомобиля, точно должны быть описаны шины, так как их характеристиками в значительной степени определяется движение исследуемого автомобиля.

Слишком сложная модель автомобиля, со значительным увеличением параметров, может привести к дополнительным затратам времени на подготовку данных для расчетов, а также может снизиться точность искомым результатов, вследствие накопления погрешностей.

Проанализируем существующие модели движения автомобиля.

Наиболее простой математической моделью автомобиля является «Велосипедная» модель [1], в рамках которой два передних колеса заменяются одним эквивалентным передним колесом, два задних – одним задним.

Переднее колесо – управляемое и связано с корпусом через механизм рулевого управления, ось вращения заднего колеса фиксирована в корпусе. Данная модель часто используется для описания движений автомобиля, при которых можно пренебречь различиями между характеристиками сцепления правых и левых колес одной оси с дорогой.

К числу ее достоинств можно отнести наглядность получаемых результатов, а также возможность получения реакций автомобиля в аналитическом виде [2].

В то же время возможности этой модели весьма ограничены. Она не позволяет учесть влияние на движение автомобиля характеристик подвесок и рулевого управления, перераспределения нормальных реакций между колесами вследствие поперечного и продольного крена кузова.

Известна также четырехколесная модель автомобиля [4], которая образована корпусом, подрессоренной массой и четырьмя неподрессоренными массами, включающими колеса. Считается, что центры масс автомобиля и корпуса совпадают. Крепление каждой неподрессоренной массы к корпусу автомобиля моделируется вязко-упругим элементом, имитирующим подвеску, включающую рессору и амортизатор. Предполагается, что составляющие подвески могут деформироваться только вдоль вертикальной оси. Продольные плоскости симметрии колес перпендикулярны соответствующим осям вращения этих колес, что эквивалентно пренебрежению углами развала и схождения. Движение происходит по горизонтальной однородной шероховатой плоскости (дороге).

При решении вычислительных задач транспортной динамики часто используется так называемая Magic Formula Пацейки [5].

Magic Formula позволяет в реальном времени с высокой степенью точности вычислять значения продольной, боковой контактных сил и момента верчения в пятне контакта в зависимости от нормальной реакции, величины продольного проскальзывания. Главными достоинствами являются высокая точность и простота использования.

Основной проблемой при использовании данной модели является необходимость экспериментального определения значений указанных коэффициентов в зависимости от типа пневматика и состояния дорожного покрытия.

В работе [6] сформирована математическая модель движения колесного транспортного средства как нелинейной динамической системы высокого порядка с неопределенными параметрами. Модель образована уравнениями движения основных элементов: корпуса, неподрессоренных элементов, вращательного движения колеса с учетом высокочастотных колебаний пневматика, уравнениями движения двигателя.

Проведена оценка касательных составляющих сил взаимодействия колес с опорной поверхностью. Указанная модель применялась для разработки алгоритмов работы антиблокировочной системы для колесных транспортных средств. Результаты работы были использованы на ряде отечественных предприятий и внедрены в автомобильной корпорации DAEWOO (Южная Корея).

Балакиной Е. В. [7] была получена линейная зависимость:

$$Y_p \sim -9,2 \cdot X_1 + 1,3 \cdot X_2 - 2,8 \cdot X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \quad (1)$$

Эта зависимость означает, что для рассматриваемого объекта наиболее значимый конструктивный параметр шасси, в наибольшей степени влияющий на устойчивость движения легкового автомобиля, – это радиус колеса (X_1). Он значимее в три раза и более, чем другие параметры элементов шасси. За ним следует неподрессоренная масса. Далее идут четыре практически равнозначных конструктивных параметра: посадочный радиус шины, вертикальная жесткость упругих элементов подвесок колес, длина боковых тяг рулевого управления и длина поворотного рычага поворотного кулака. Знак «+» перед относительными параметрами X_i означает, что для минимизации основного критерия выбора, т.е. для улучшения устойчивости движения автомобиля, данный относительный параметр X_i необходимо увеличивать по сравнению с прототипом, а знак «-» означает, что следует уменьшать.

Полученные аппроксимированные выражения представляют собой «целевые» функции для дальнейшей оптимизационной задачи.

Разработке и уточнению теории качения эластичного колеса посвящена работа Ревина А. А. и Косолапова Г. Н. наиболее полно описывающая движение автомобиля с АБС [8].

ВЫВОДЫ

Для решения вопросов, связанных с функционированием противобуксовочных систем нами была выбрана имеющаяся модель движения автомобиля, оснащенного антиблокировочной системой, разработанная Ревиним А. А. и Косолаповым Г. Н.

Но в данной модели необходимо дополнительно учитывать одновременное действие крутящего и тормозного моментов на колесе. Таким образом необходимо уточнить характер изменения продольных реакций на ведущих колесах автомобиля, а также провести анализ и моделирование процесса ограничения буксования ведущего колеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Армейские автомобили. Теория / Под общ. ред. А.С.Антонова.–М. : Воениздат. – 520 с.
- 2 Дик, А. Б., Зобов В. П. Модель колеса для расчета различных режимов движения автомобиля // Полигонные испытания и исследования автомобилей. – 1987. С. 58–68.
- 3 Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель / Под общ. ред. А. А. Хачатурова. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
- 4 Магомедов М. Х. Антиблокировочные системы робастно-адаптивной стабилизации движения колесно-транспортных средств. // диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. М. : 2003. – 299 с.

5 Расејка, Н. В. Lateral Dynamics of Road Vehicles. // Vehicle System Dynamics. – 1987. – V.16.–P. 75–120.

6 Магомедов, М. Х. Антиблокировочные системы робастно-адаптивной стабилизации движения колесно-транспортных средств. // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – М. : 2003. – 299 с.

7 Балакина, Е. В. Система колесо-подвеска и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения: монография / Е. В. Балакина, А. А. Ревин. – Волгоград : РПК «Политехник», 2004. – 306 с.

8 Ревин, А. А. Колебания автомобиля при торможении с независимой АБС // Автомобильная промышленность. – 1976. – № 9. – С.14–17.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

Б. Р. Салыков, М. И. Нечаев

Автомобиль қозғалысының математикалық үлгілерін талдау

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті,

Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы.

Материал баспаға 12.12.17 түсті.

B. R. Salykov, M. I. Nечаев

To the analysis of mathematical models of movement of the vehicle

A. Baytursynov Kostanay State University,

Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan.

Material received on 12.12.17.

Мақала авторлары автомобиль қозғалысының математикалық үлгілеріне талдау жасайды. Автокөлік қозғалысының қауіпсіздік мәселелеріне ерекше назар аударылады. Әр түрлі математикалық үлгілердегі әр түрлі саны бар автомобильдерің доңгелектеріне талдаулар келтірілген. Көлік динамикасының тапсырмаларын есептеу шешу кезінде Magic Formula Паңейки жиі пайдаланылады, нақты уақытта жоғары дәрежесімен айналдыру сәтінде бойлық, бүйірлік байланыс контактілік күштерін есептеу маңызы бар ласты контактіге байланысты қалыпты реакциядан шамасын бойлық сырғуға мүмкіндік береді. Көлік доңгалағының белсенді қауіпсіздігі мәселесінде авторлар жұмыс жасайды.

Ұсынылған модель автомобильдің шағын жүйелерінің сипаттамасын қамтуы керек, ииналарды дәл сипаттау керек, өйткені олардың сипаттамалары көбінесе зерттелетін көлік құралының қозғалысын анықтайды.

In this article, the authors give an analysis of mathematical models of the movement of a car. Particular attention is drawn to the issues of traffic safety, in particular, to the problems of preventing situations leading to the drift of a car. The analysis of various mathematical models of cars with different number of wheels is given. In solving the computational problems of transport dynamics, the so-called Magic Formula of Paceika is often used, which allows real-time calculation of the longitudinal, lateral contact forces and the moment of rotation in the contact spot depending on the normal reaction, the magnitude of longitudinal slippage with a high degree of accuracy.

The authors are working on the problem of active safety of wheeled vehicles.

The proposed model should include a description of the subsystems of the car, the tires should be described exactly, since their characteristics largely determine the movement of the vehicle under study.

ГРНТИ 73.41.15

Г. Сармурзин¹, А. К. Каракаев², Х. З. Бейсенова³, Р. Ю. Зарипов⁴

¹магистрант, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

²д.т.н., профессор, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

³ст. преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан;

⁴преподаватель, Факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан
e-mail: ¹galimzhan_st@mail.ru; ²a.karakayev@mail.ru; ³ramis.zaripov@mail.ru

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ГРУЗА ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ

В настоящей статье рассмотрены основные прогрессивные решения, заложенные в технологию разрушения смерзшегося сыпучего груза в железнодорожных полувагонах перед его разгрузкой в зимнее время.

В условиях резко континентального климата при низких температурах в зимнее время повышение эффективности выгрузки смерзшихся грузов из грузовых полувагонов является актуальным направлением для исследований.

Рассмотрены стационарная виброорыхлительная установка, специальные гаражи-размораживатели (конвективный, комбинированный, с инфракрасными излучателями и горелками), вагоноопрокидыватели и дробильно-фрезерные машины. Разработана технологическая схема по эффективной выгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов, которая включает в себя шесть основных этапов. Для каждого этапа рассмотрены типы оборудования. Применение описанных технологий позволит снизить повреждаемость грузовых полувагонов, увеличить пропускную способность пунктов разгрузки угля, сократить простой вагонов.

Ключевые слова: разгрузка смерзшегося груза, полувагон, виброорыхлительная установка, гараж-размораживатель, вагоноопрокидыватель, дробильно-фрезерная машина.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации горно-перерабатывающих предприятий выполняются, большие объемы разгрузочно-погрузочных работ. При этом наиболее сложной является разгрузка грузов, потерявших свою сыпучесть вследствие смерзания в железнодорожных полувагонах.

Вполне очевидно, что для создания эффективной технологии разгрузки мерзлых грузов, необходимо применение целого производственного комплекса, состоящего из технических средств. Однако, до последнего времени, отсутствуют рекомендации, в которых рассмотрена технологическая схема в целом, позволяющие наиболее эффективно разгружать мерзлые грузы. Поэтому в рамках данной работы предпринята попытка разработать эффективную технологическую схему разгрузки смерзшихся и агрегированных сыпучих грузов из железнодорожного транспорта посредством вагоноопрокидывателя.

Авторы понимают, что такая работа должна предварительно включать в себя весь комплекс исследований, начиная с определения механических свойств смерзшегося угля в зависимости от его влажности и температуры, а также удельной контактной прочности примерзания груза к стенкам вагона. Затем на базе этих данных можно выполнить корректное обоснование применения необходимых тепловых размораживающих методов и вибромеханических средств для разработки эффективной технологии разупрочнения смерзающегося угля и разгрузки его из полувагонов.

На базе проведенных исследований и результатов обобщения практического опыта была разработана технологическая схема эффективной разгрузки сыпучих, смерзающихся грузов (уголь, руда, концентрат, окатыш и др.) из железнодорожных полувагонов с помощью вагоноопрокидывателя (рисунок 1). Предложенная нами технологическая схема разрабатывалась, в основном, для разгрузки смерзшихся углей, однако она применима для любых других сыпучих грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в холодное время года.

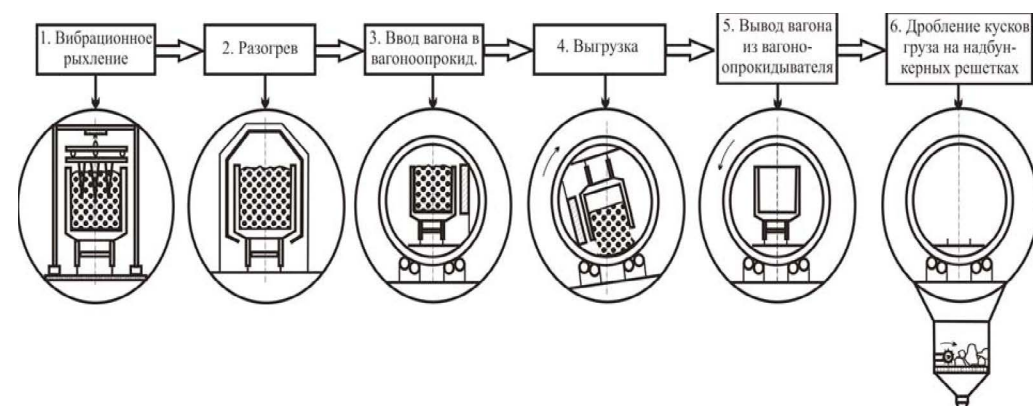


Рисунок 1 – Технологическая схема разгрузки

Технологическая схема, приведенная на рисунке 1, включает в себя 6 основных элементов, выполнение которых является, с нашей точки зрения, необходимым для выполнения эффективной и высокопроизводительной разгрузки смерзшихся сыпучих грузов из ж.д. полувагонов при любой наружной отрицательной температуре воздуха. Для понимания сущности схемы далее рассмотрим основные технические средства и технологические приемы, соответственно, входящие конкретно в эти элементы технологической схемы:

1 – вибрационное рыхление мерзлого груза с помощью стационарных виброрыхлительных установок типа ВРУ или, в крайнем случае, при малой производительности переносных виброрыхлителей;

2 – разогрев полувагона с прорыхленным мерзлым грузом в гараже-размораживателе (тепляке);

3 – подача вагонов с разогретым и частично восстановившим свою сыпучесть грузом на вагоноопрокидыватель;

4 – выгрузка груза путем опрокидывания полувагона в вагоноопрокидывателе;

5 – вывод пустого полувагона из вагоноопрокидывателя для его зачистки, ремонта и собирания в, принятые технологией на данном предприятии, ставки железнодорожного состава;

6 – дробление, при необходимости, крупных агрегированных кусков груза, которые не проходят через отверстия в надбункерных решетках, вручную отбойными молотками, молотково-дробильными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ.

Ниже рассмотрим основные технические средства и технологические решения, которые хорошо зарекомендовали себя и могут применяться в элементах технологии разгрузочно-погрузочного комплекса на примере рассматриваемого нами промышленного предприятия.

Стационарная виброрыхлительная установка (ВРУ), состоящая из 3-х вибромодулей, представляет собой металлическую конструкцию шириной в нижней части 5,3 м, длиной 12 м и высотой 12 м, состоящую из 2-х ярусов. ВРУ располагается над ж.д. путем таким образом, чтобы её продольная ось совпадала с осью.



Рисунок 2 – Стационарная виброрыхлительная установка

Вибромодули расположены с заданным интервалом между собой таким образом, чтобы не разрыхленные участки мерзлого груза между заходками имели незначительные размеры. Величина динамической силы регулируется количеством дебалансных масс вибровозбудителя, расчетными амплитудно-частотными характеристиками воздействия, а главное выдержкой строго определенного соотношения между массами верхней рамы и всего вибромодуля, а также жесткостью связывающих нелинейных упругих связей.

Управление ВРУ осуществляет один оператор. Управление работой ВРУ может выполняться и в автоматическом режиме. Установка ж. д. полувагонов, их фиксация, управление отметками уровня подъема вибромодуля в вертикальной плоскости на верхнем положении и на нижнем регулируемом уровне разрушения смерзшегося груза рыхлящими штырями может выполняться системой автоматизации, состоящей из контролера, вращающегося определителя положения вибромодуля, контроллеров, датчиков, системы самопроверки, программного обеспечения и компьютерного оснащения. Для защиты работающих и самой ВРУ от вибрации, возникающей в процессе рыхления смерзшихся грузов, применена противовибрационная траверса, удерживающая вибромодуль, а опорные узлы выполнены с резиноэластичным амортизированием.

Вторым элементом технологической схемы (рисунок 1) применяемым для разогрева разрыхленного мерзлого груза в ж.д. полувагонах используются специальные гаражи-размораживатели (тепляки). Тепляки предназначены для внутреннего долгого и пленочного быстрого оттаивания груза в полувагоне. Они представляют собой капитальные сооружения и их существует несколько типов. Далее рассмотрим основные конструкции тепляков (рисунок 3).

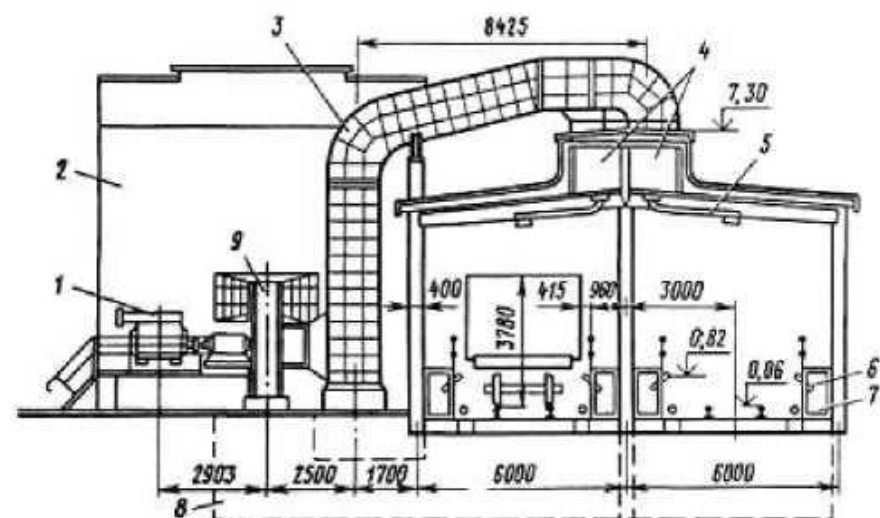


Рисунок 3 – Конвекционный тепляр

Конвективные тепляки состоят из одной или нескольких секций с камерами оттаивания и машинного отделения для выработки и подачи в них теплоносителя. Смерзшийся груз в вагонах оттаивается в камерах секций тепляка различными видами теплоносителя. Конвективный тепляр (рисунок 3) для оттаивания смерзшегося угля состоит из: 1 – вентилятора; 2 – машинного отделения; 3, 4 – коробов падающих и рециркуляционных; 5, 6 – рециркуляционных и падающих патрубков; 7 – бетонных коробов; 8 – нагнетательных шахт; 9 – электродвигатель. В зависимости от пропускной способности тепляка секции сооружают длиной от 156 до 320 м, для одновременного размещения в них

по 10 - 20 четырехосных или восьмиосных полувагонов. Обычно ширина каждой секции тепляка принимается 6 м, а машинного отделения 9 м.

Теплоноситель машинного отделения оборудуют специальными топками, соединенными воздухопроводящими каналами с камерами секций оттаивания и устройствами для зажигания газозвоздушной смеси. Оттаивают смерзшуюся руду дымовыми газами, получаемыми от сжигания в топках смеси коксового и доменного газов. При этом продукты сгорания, имеющие температуру до 950 °С, поступают в смесительную камеру. Теплоноситель нагнетается в секции тепляка по металлическим трубопроводам, уложенным в бетонные каналы под полом. В камерах секций газозвоздушная смесь распределяется при помощи соединенной с этими трубопроводами вертикальными отводами системы разводящих труб с размещенными на них через 2 м патрубками-соплами.

Через них под днище полувагона со смерзшимся грузом подается более 70 % всего объема теплоносителя. Так, например, тепляки ряда коксохимических заводов имеют длину 216 м, что обеспечивает вместимость 15 четырехосных и 13 шестиосных вагонов, ширина секции размораживания – 6 м, высота – 5,5 м. В них используется дымосос Д-15,5, производительностью 6,5* 104 м³/час, мощность ЭД дымососа – 75 кВт, производительность топок по газу 300 м³/час.

Тепляки для оттаивания смерзшейся углепородной массы отличаются в основном тем, что в них запрещена подача к углю теплоагента с температурой более 100..110°С.

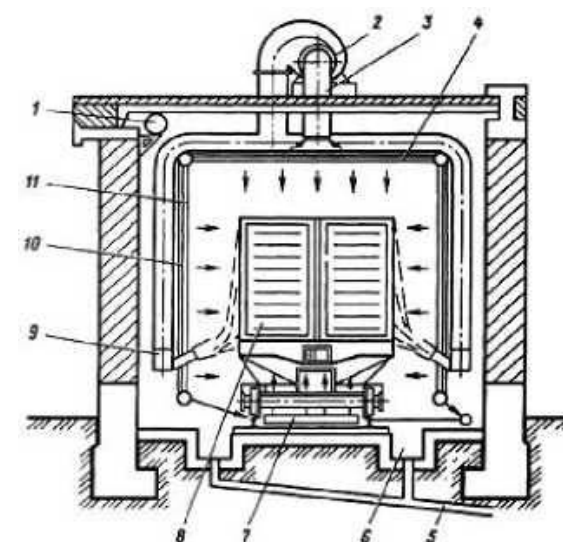


Рисунок 4 – Тепляр с комбинированным подводом тепла

Тепляр с комбинированным подводом тепла к ж.д. полувагонам с размораживаемым грузом (рисунок 4) состоит из следующих элементов: паропровода 1; вентилятора 2; всасывающего короба 3; потолочной панели 4; конденсатной магистрали 5; общей сточной магистрали 6; нижней панели 7; кузова вагона 8; напорных воздухопроводов 9; отражательных экранов 10 и 11

трубчатых панелей. Типовой тепляк по длине разделен на восемь самостоятельных теплоизлучающих секций длиной по 14 м. Каждая из них состоит из потолочной панели 4, боковых вертикально-трубчатых панелей 11, состоящих из монтажных блоков длиной 3 м, и нижних панелей 7, расположенных внутри железнодорожного пути. В секциях размещены паровые излучатели с площадями поверхности нагрева: потолочные – 82 м², боковые – 164 м² и нижние излучатели – 31 м².



Рисунок 5 – Общий вид установки с газовыми инфракрасными излучателями

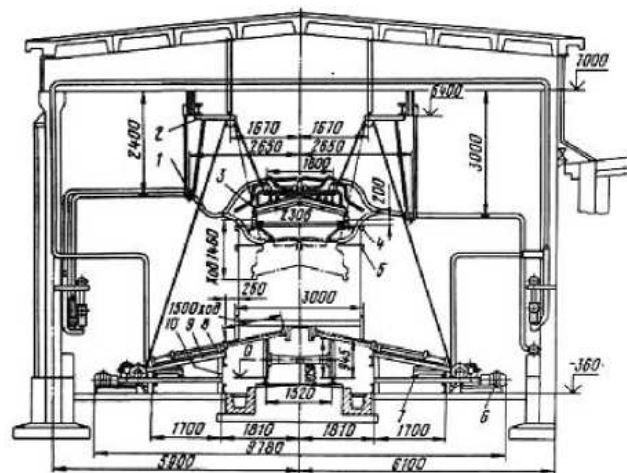


Рисунок 6 – Принципиальная схема установки с газовым инфракрасными излучателями

Достаточно широко разрекламированными и применяемыми в последнее время являются установки с газовыми инфракрасными излучателями для оттаивания смерзшейся угля, руды и других концентратов (рисунок 5). Принципиальная

схема установки с газовым инфракрасными излучателями поясняется на рисунке 6: газопровод – 1; фундамент металлоконструкций – 2; панели верхнего обогрева – 3; верхние обвязочные пояса, соответственно, для шестиосного – 4 и четырехосного – 5 вагонов; приводов – 6; газопровода к горелке – 7; горелки – 8; направляющей рамы – 9 и опорных металлоконструкций – 10. Установка включает в себя: агрегаты с газовыми инфракрасными излучателями с подвижными системами, системы подвода газа и воды, контрольно-измерительную аппаратуру, пульт управления, помещение установки с железнодорожным путем нормальной колеи, маневровое устройство. Каждый моноблочный элемент состоит из горелочной панели верхнего обогрева и двух перемещающихся по направляющим кареток, на которых расположены газогорелочные устройства нижнего обогрева.

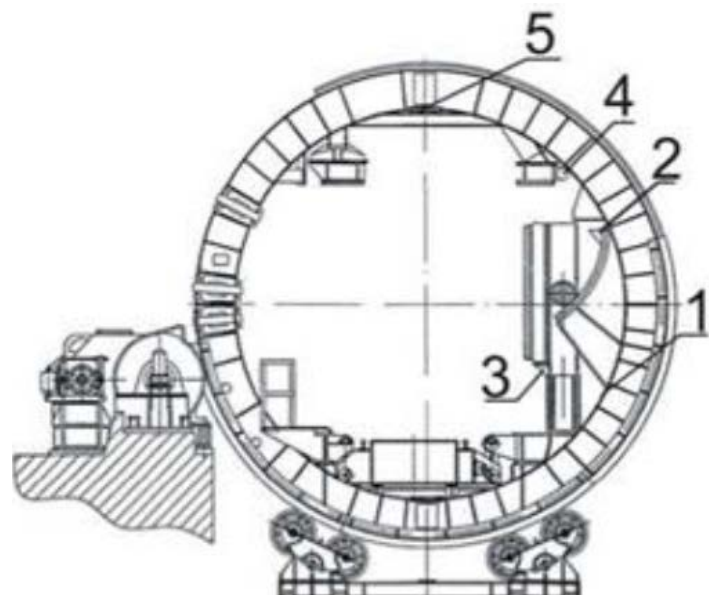
Смерзшаяся в полувагоне железная руда или концентрат с толщиной слоя 200..300 мм, от стенки полувагона, оттаивает в установке в 1,5.. 2 раза быстрее, чем в конвективном тепляке. Особенно заметно увеличивается скорость размораживания (в 5..6 раз) при оттаивании слоя смерзшегося груза толщиной 20..30 мм.

Все рассмотренные способы термического оттаивания смерзшейся горной массы имеют один недостаток – они являются очень энергоемкими. Так, например, общие затраты тепла на разогрев 60-тонного вагона с учетом потерь на разогрев самого вагона и ограждающих поверхностей тепляка составляет от 3-х до 4-х млн ккал, в том числе на разогрев смерзшейся горной массы от -15 до 0 °С расходуется только 380..400 тыс. ккал, т.е. полезное использование тепла 10.20 %. Установки с инфракрасными излучателями, не смотря на то, что они позволяют увеличить скорость приконтурного размораживания в 1,5.2 раза, они также значительно увеличивают расход природного газа по сравнению с обычными тепляками и имеют достаточно сложное технологическое исполнение.

Следующим элементом общей технологической схемы является роторный стационарный вагоноопрокидыватель, который выгружает груз из полувагона путем его опрокидывания.



Рисунок 7 – Общий вид с выгружаемым вагоном



1 – ротор; 2 – прижимное устройство; 3 – привалочная стенка; 4 – малый вибратор, устанавливаемый на опорных лапах; 5 – большой вибратор, устанавливаемый на балке соединяющей диски ротора

Рисунок 8 – Схема ротора

Вагоноопрокидыватель состоит из ротора, платформы с люлькой 2, механизма опрокидывания 3 и вибрационных устройств 4 для удаления остатков груза из полувагона. Ротор вагонопрокидывателя 1 связан балками, внутри него размещается платформа 2 и отбойная привалочная плита 3. Для улучшения высыпания груза из полувагона в момент его опрокидывания на роторе вагонопрокидывателя устанавливаются вибраторы направленного действия 4, как правило, двух типов.

Малые вибраторы устанавливаются на опорные лапы вагоноопрокидывателя (обычно их три) и большие вибраторы (обычно два) устанавливаются на балках соединяющих ротор вагоноопрокидывателя. Для повышения долговечности большие вибраторы оборудуются специальной виброгасящей системой. В момент начала поворота ротора цепь энергопитания вибраторов размыкается. При включении электродвигателя вагоноопрокидывателя ротор начинает проворачиваться и платформа с полувагоном перемещается к привалочной отбойной стенке. При повороте на 175° полувагон опирается верхней обвязкой на опорные лапы с малыми вибраторами. Когда электродвигатели вагоноопрокидывателя отключаются производится включение вибраторов. Как правило, время включения вибрации составляет порядка 10...20 с.

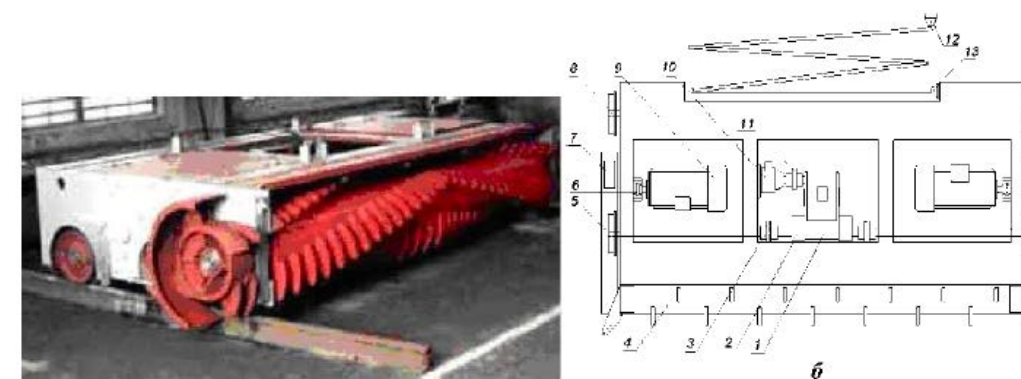
Предпоследним пунктом технологической схемы является зачистка полувагонов от остатков восстановившим свою сыпучесть груза после его разгрузки. Данный элемент в технологической схеме необходим, поскольку практически при любой технологической схеме выполнения разгрузки требуется дополнительная очистка полувагонов. В настоящее время существует ряд

технологических решений по очистки полувагонов от остатков насыпных грузов, в частности, механическая очистка полувагонов различными вращающимися вертикальными и горизонтальными щетками или скребками, использование вибраторов, турбореактивных технологий и другие. Поэтому при выборе оптимального способа очистки полувагона от остатков груза, в первую очередь, необходимо исходить из экономической целесообразности с учетом конкретных технологических условий.

Последним элементом технологической схемы является дробление крупных агрегированных кусков груза, которые могут не пройти через отверстия в надбункерных решетках под вагоноопрокидывателем. Дробление при необходимости может выполняться вручную отбойными молотками, молотково-дробильными, дробильно-роторными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ. Данные машины устанавливаются по одной над каждым бункером вагоноопрокидывателя.

Дробление кусков агрегированного груза производится вращающимися зубьями на основной и боковых фрезах ДФМ при ее движении вперед поперек продольной оси вагоноопрокидывателя.

Режим работы машины взаимосвязан с работой вагоноопрокидывателя наличием блокировок. Во время опрокидывания полувагона машина находится в исходном положении. Управляет ею машинист вагоноопрокидывателя с дистанционного пульта.



1 – электродвигатель механизма перемещения машины; 2, 3 – редуктор и цепь механизма перемещения машины; 4 – основная центральная фреза с режущими зубьями; 5, 8 – ходовые колеса для перемещения машины; 6 – редуктор двигателя фрезы; 9 – электродвигатель; 10, 11 – двухступенчатый редуктор; 12, 13 – масленка переносная с трубопроводом и стационарная

Рисунок 9 – Дробильно-фрезерная машина

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанная технологическая схема, включающая в себя основные технические средства и приемы, позволит эффективно разгружать смерзшийся сыпучий груз из ж.д. полувагонов при любой отрицательной температуре воздуха.

При соблюдении технологии выгрузки смерзшегося груза повреждения кузова вагона будут минимизированы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Минеев, С. П.** Вибрационное и волновое рыхление агрегированной сыпучей горной массы [Текст] / С. П. Минеев, А. Л. Сахненко, С. А. Обухов. – Д. : Днепр, 2005. – 212 с.

2 **Батицкий, В. А., Куроедов, В. И., Рыжков, А. А.** Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности. – М. : Недра, 2001. – 303 с.

3 **Попович, Н. Г., Данильчук, Г. И., Лисовский, В. С. и Янчук, Г. М.** Автоматизация производственных процессов угольных шахт. – К. : Высшая школа, 2003. – 336 с.

4 Виброустановка для разгрузки смерзшихся сыпучих материалов из железнодорожных полувагонов [Текст] / С. П. Минеев [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 3. – С. 86.

5 **Ким, К. К., Шпилев, М. А.** Комплекс для выгрузки угля из полувагонов. / Статьи: информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22706030>.

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

Г. Сармурзин, А. К. Каракаев, Х. З. Бейсенова, Р. Ю. Зарипов

Теміржол вагондарынан мұздатылған жүктерді тиімді түсірудің негізгі технологиялық шешімдері

Металлургия, машинажасау және көлік факультеті,
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті,
Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

G. Sarmurzin, A. K. Karakaev., H. Z. Beisenova, R. Zaripov

Main technological solutions for effective unloading of frozen cargo from railways wagons

Faculty of Metallurgy, Machine Building and Transport,
S. Toraihyrov Pavlodar State University,
Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Мақалада мұздатылған жүкті теміржолдың ашық вагондарында қыс мезгілінде түсірмес бұрын жойылу технологиясына енгізілген негізгі прогрессивті шешімдер қаралады.

Қыс мезгіліндегі төмен температураларда күрт континенталды климат жағдайында жүк вагондарынан мұздатылған жүктерді тиімді түсірудің негізгі тиімділігін арттыру зерттеудің нақты бағыты болып табылады.

Біз стационарлық виброқорғау қондырғысын, арнайы гараждар-дефриттерді (конвективтік, аралас, инфрақызыл радиаторлар мен қыздырғыштармен), автокөлік самосвалдарын және ұнтақтау машиналарын қарастырамыз. Теміржол вагондарынан мұздатылған жүктерді тиімсіз түсіру үшін технологиялық сызба жасалды, ол алты негізгі кезеңді қамтиды.

In this article, we consider the main progressive solutions incorporated in the technology of destruction of frozen bulk cargo in railway open wagons before its unloading in winter.

In conditions of a sharply continental climate at low temperatures in the winter, an increase in the efficiency of discharging frozen cargo from freight gondola cars is an actual direction for research.

We consider stationary vibro-rummaging installation, special garages-defrosters (convective, combined, with infra-red radiators and burners), car dumpers and crushing and milling machines. A technological scheme has been developed for efficient unloading of the frozen cargo from railway gondola cars, which includes six main stages. For each stage, the types of equipment are considered. Application of the described technologies will allow to reduce the damageability of freight gondola cars, increase the capacity of coal unloading points, and reduce downtime of cars.

А. Б. Шаяхметов

к.т.н., доцент, Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова,
г. Костанай, 110000, Республика Казахстан
e-mail: shayahmetov0501@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА НА ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО

В настоящей статье автор рассматривает аспекты перехода автомобильного транспорта на водородное топливо. Мировые производители проводят испытание в этой сфере, и даже выпускают автотранспорт на водородном топливе. Главное неоспоримое преимущество автомобилей на водороде – это высокая экологичность, так как продуктом горения водорода является водяной пар. Конечно, при этом сгорают еще различные масла, но токсичных выбросов гораздо меньше, чем у бензиновых выхлопов. Современные автомобили на водороде находятся пока в стадии проектирования, а вернее выпускать серийно опытные модели пока не собираются из-за неразвитой инфраструктуры заправок автотранспорта водородным топливом. В промышленных масштабах получить водород электролизом воды не дешево, поэтому автокомпании пока не спешат на него переходить, ожидая более дешевый и простой способ получения водородного топлива.

Ключевые слова: транспорт, автомобиль, топливо, водород.

ВВЕДЕНИЕ

Водород обладает чудесными характеристиками, его почти не применяют на автотранспорте потому, что люди привыкли использовать бензин, хотя он и дорожает с каждым днем. Также ведущие автокомпании постоянно откладывают сроки перехода на водородное топливо, мотивируя это тем, что установки для получения водорода появятся только к 2030 году. Европейские и американские аналитики могут быть правы в этих подсчетах, но есть множество доказательств экстренного перевода на водород целого автопарка.

Применение водорода в качестве топлива началось еще в XIX веке, когда французский изобретатель Франсуа Исаака де Риваз в 1806 году разработал самый первый в мире ДВС, потребляющий водородное топливо. Необходимую электрическую энергию он получал методом электролиза воды. Позже бельгийский изобретатель Жан Жозеф Этьен Ленуар заставил самоходный экипаж двигаться с помощью энергии водорода. Так бы водород и служил бы человечеству в качестве основного топлива, но в 1870 году в ДВС стали применять бензин, сведя на нет первые опыты с водородным топливом.

О водороде вспомнили только в блокадном Ленинграде в конце 1941 года, благодаря военному технику Б. И. Шелишу, который предложил использовать отработанный водородный газ от аэростатов для заправки автотранспорта. Всего лишь за неделю группа техников переоборудовала на водородное топливо 600 грузовиков ГАЗ. После войны об этом изобретении снова забыли, перейдя опять на бензин [1].

В 1970 годах, когда произошел энергетический кризис, люди опять оценили необходимость альтернативных источников энергии. Так, на Украинском ИПМ был переоборудован весь автомобильный парк на водородное топливо, отлично

справившийся с топливным кризисом. Об успешных экспериментах снова забыли после распада Советского Союза.

Современные автомобили на водороде находятся пока в стадии проектирования, а вернее выпускать серийно опытные модели пока не собираются из-за неразвитой инфраструктуры заправок автотранспорта водородным топливом. В промышленных масштабах получить водород электролизом воды не дешево, поэтому автокомпании пока не спешат на него переходить, ожидая более дешевый и простой способ получения водородного топлива.

Главное неоспоримое преимущество автомобилей на водороде – это высокая экологичность, так как продуктом горения водорода является водяной пар. Конечно, при этом сгорают еще различные масла, но токсичных выбросов гораздо меньше, чем у бензиновых выхлопов. Отсутствие дорогостоящих систем топливоподачи, которые к тому же опасны и ненадежны. Бесшумность. КПД электродвигателя на водородном топливе намного выше, чем у ДВС.

Имеются и недостатки у автомобилей на водородном топливе:

- дорогой и сложный способ получения топлива в промышленных объемах;
- отсутствие водородной инфраструктуры заправок автотранспорта;
- не разработаны стандарты транспортировки, хранения и применения топлива на водороде;
- дорогие водородные элементы;
- большой вес транспорта.

Работа электродвигателя на водородном топливе требует водородные преобразователи тока и мощные аккумуляторные батареи, которые весят не мало, а также обладают внушительными габаритами.

Существует опасность возгорания и взрыва при работе водорода с традиционным топливом.

Ознакомившись с достоинствами и недостатками водородного топлива можно понять, почему до сих пор откладывается серийный выпуск водородных автомобилей. Однако из-за ухудшающейся экологии этот альтернативный источник энергии может оказаться единственным решением проблемы. От ученых необходима разработка инфраструктуры, обнаружение способа добычи водорода, составление инструкции по эксплуатации водородного топлива.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Мировые производители все же проводят испытание в этой сфере, и даже выпускают автотранспорт на водородном топливе.

В ноябре 2013 года концерн «Toyota» представил на всеобщее обозрение новый автомобиль – презентабельный седан, который первым был разработан компанией как гибридное водородное авто на топливных элементах. Презентация проводилась в одном из крупнейших автосалонов Токио, где президентом компании было объявлено название оригинального изобретения, «Toyota Mirai», а также были озвучены планы концерна на ближайшее будущее [2].

В основу новой модели была взята «Toyota FCV». При этом основные системы и агрегаты качественно усовершенствовали и модернизировали, создав обособленный шедевр автомобильного производства. Оптимальный клиренс в 130 мм, уютные пропорции четырехместного седана и передний привод довершает базовая комплектация с легкосплавными дисками R17 и уникальной гибридной установкой FCA110.



Рисунок 1 – «Toyota Mirai»

Именно эта установка позволяет автомобилю производить действия и выполнять свои функции при помощи водородных топливных элементов – при химической реакции между кислородом и водородом, и выработанной вследствие этого электроэнергии.

Процесс горения при этом не происходит, а преобразование водорода в электрический ток осуществляется с максимальным КПД в 83 % (это при среднем показателе КПД двигателей автомобилей «Toyota» – 23 %).



Рисунок 2 – Резервуар (баллон) для водорода

Электродвигатель новой Toyota Mirai обладает максимальной мощностью в 154 лошадиные силы или 113 киловатт. Вырабатываемое при помощи топливных элементов электричество проходит через специальный повышающий преобразователь. Далее происходит преобразование постоянного тока в переменный, увеличивая напряжение до 650 вольт.

О преимуществах нового автомобиля можно говорить достаточно долго. Особенно уверенно и выигрышно они выглядят в сравнении с любыми современными транспортными средствами, оснащенными двигателями внутреннего сгорания или гибридами.

Основными достоинствами «Toyota Mirai» можно считать следующие:

- быстрая заправка – не более чем три минуты уходят на заправку двух резервуаров;
- нулевые выбросы вредных веществ в атмосферу;
- запас хода на одной заправке (одного бака хватит на 650 км).



Рисунок 3 – Заправочный кран

Даже в сравнении с электромобилями Mirai – более успешный агрегат, учитывая хотя бы то, что электромобили заряжаются несколько часов и проехать на одной подзарядке могут гораздо меньшее расстояние.

Стоимость водородных автомобилей нового поколения по приблизительным расчетам будет колебаться в пределах 57–70 тысяч долларов. Toyota Mirai поступит в «ин трейд» уже в декабре 2014 года (для автомобильного рынка Японии), а в странах Европы и Соединенных Штатах продажи водородной Тойоты стартовали в 2015 году.

Еще одним не до конца решенным вопросом остается проблема заправки водородных автомобилей при их массовой продаже. В некоторых странах водородные заправочные станции уже начинают появляться, однако широкого развития пока не наблюдается.

Например, по всей Европе таких заправок всего 82, в Америке – 124, в Китае можно насчитать 23 водородные заправочные станции.

Еще один японский производитель заявил на днях, что пускает в серию свой водородный автомобиль – Honda FCV (первый прототип Honda FCX Clarity был

выпущен еще в 1999 году) и новая Fuel Cell eXperimental Хонда будет продаваться в Японии, Европе и США.



Рисунок 4 – Honda FCV

Hyundai ix35 Fuel Cell, первая в мире серийная модель, оснащенная водородными топливными элементами, станет участником программы по расширению сети водородных транспортных средств Лондона. Hyundai Motor, будучи одним из главных игроков на рынке водородных разработок для автомобилей, участвует в проекте по расширению сети водородных транспортных средств, охватывающем не только Лондон, но и юго-восток Великобритании. Проект финансируется государством совместно с Советом по технологическому развитию. Инициатива направлена на внедрение гибридного транспорта в постоянное пользование и расширение сети заправок с альтернативным топливом для удобства водителей. Основная идея новой модели Hyundai ix35 Fuel Cell заключается в создании столь же практичного, безопасного и приятного в управлении автомобиля, как и его прототип – компактный кроссовер ix35, но с нулевым уровнем выброса вредных веществ. Пропорционально сохранились и показатели производительности: максимальная скорость – 160 км/ч, разгон до 100 км/ч за 12,5 секунд и экономичный расход топлива – полный бак на 600 км. Но самое главное – никаких вредных выбросов, только вода [3].

Предоставленные автомобили будут сдаваться в аренду ключевым государственным и частным автопаркам столицы. Hyundai планирует произвести около 1000 экземпляров модели на заводе в городе Ульсан Южной Кореи. Большая часть из этой партии будет направлена в Европу, где Европейская комиссия инициировала ряд проектов, направленных на популяризацию использования водорода как топлива с нулевым уровнем выбросов. В этом направлении работает, например, Объединенное предприятие производителей топливных элементов и водорода (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking). Основным преимуществом автомобиля на водородном

топливе является быстрая заправка, занимающая не более 2–3 минут. Поэтому приобретение Hyundai ix35 Fuel Cell не заставит автолюбителей идти на компромиссы. Hyundai Motor занимается производством водородных автомобилей уже больше 15 лет, но только сейчас, с появлением сетей водородных заправок, запуск модели ix35 Fuel Cell в серийное производство стал актуальным.

После ряда неудачных попыток поставить производство автомобилей на водородном топливе на конвейер, наконец, появилось реальное будущее здесь, в Великобритании. Этому во многом способствовали результаты работы London Hydrogen Partnership и реализация таких инициатив, как, например, проект по расширению сети водородных транспортных средств Лондона под руководством Air Products. Благодаря такому партнерству повсеместное использование водородных автомобилей станет реальностью в ближайшем будущем. Уже сейчас в Лондоне открыты 2 водородные заправки, одна из которых находится в общественном доступе.

BMW разработала и выпустила новую модель BMW 7 с использованием водородного топлива, первый в мире водородный автомобиль седан класса люкс. Основан на базе BMW 7 серии оснащен двигателем внутреннего сгорания, способен работать на жидком водороде или бензине. Автомобиль, работая в режиме водорода, выбрасывает с выхлопной трубы только водяной пар. Работая на 12-цилиндровым двигателем, разгоняется с нуля до 62 миль в час за 9,5 секунды, прежде чем перейдет к ограничению электроникой максимальной скорости. Благодаря своей уникальной двойной системе питания двигателя, водитель может переключаться быстро и легко из водорода на бензин обычным нажатием кнопки на рулевом колесе. Двойная технология топлива означает, что автомобиль имеет запас хода более 125 миль, и в случае расхода водорода, еще проедет 300 миль на бензине. Чтобы сделать это возможным производители BMW 7 комплектуют обычным 74-литровым бензобаком и дополнительным топливным баком для хранения до 8 кг жидкого водорода. Такая гибкость означает, водитель BMW 7 может использовать транспортное средство в любое время, даже тогда, когда ближайший водородных заправокных станций нет в ближайшей окрестности. Водитель может, переключаться между двумя режимами, не влияя на поведение двигателя или производительность. Автомобиль всегда отдает приоритет использования водорода, но, если он закончится, он автоматически переключается на бензиновое топливо для ощущения драйва и наслаждения водителя, мощностью двигателя и крутящего момента [4].

В Китайском городе Таншань провинции Хэбэй запущен в коммерческую эксплуатацию первый в мире трамвай на водородном топливе. Этот трамвай обладает рядом преимуществ по сравнению с обычными трамваями по комфорту, скорости, экологичности и экономичности. Трамвай при движении не выделяет никаких загрязняющих веществ. Температура реакции внутри двигателя меньше 100 градусов, поэтому вредных выбросов не образуется. Единственным отходом от отработки водородного топлива – вода. Дорожный просвет сократился до 35 сантиметров. Таким образом, для посадки пассажиров не обязательно строить

платформы, что существенно экономит денежные средства. Заправка такого трамвая длится 15 минут, а топлива хватает на 40 километров. Этот чудо-трамвай может развивать скорость до 70 километров в час. Разработчиками нового городского транспорта стала корпорация China Railway Rolling Corporation (CRRC) [5].

Рассмотрим, как работает автомобиль на водородном топливе. Автомобиль на водородном топливе имеет так называемый топливный элемент или по-научному – электрохимический генератор. Это своего рода «вечная» батарейка, внутри которой идет реакция окисления водорода и на выходе получается чистый водяной пар, азот и электричество. т.е. выхлоп такого водородного автомобиля экологически чистый, в нем содержание углекислого газа CO_2 равняется нулю.

Автомобиль с топливными элементами, по сути электромобиль. Только с более компактной батареей: ёмкость литий-ионного аккумулятора в 10 раз меньше, чем обычного электромобиля. Здесь батарея нужна только в качестве буфера для хранения энергии, получаемой при рекуперативном торможении и для быстрого холодного старта.

Все дело в том, что главный источник энергии – блок топливных элементов – выходит на рабочий режим не сразу. На первых прототипах водородных машин для этого требовалось около полутора часов. На современных – не более 2 минут, чтобы начать превращение водорода и воздуха в водяной пар, азот и электроэнергию. Но на прогрев до рабочей температуры, когда КПД установки достигает 90 % уходит от 15 минут до часа в зависимости от окружающей температуры.



Рисунок 5 – Конструкция автомобиля на водородном топливе

В баллонах хранится 5 кг водорода, обеспечивающие запас хода до 500 км. Полная заправка баллонов займет три минуты.

Главный недостаток водородного автомобиля – высокая себестоимость. Помимо электрохимического генератора, который при массовом производстве может стоить дешевле батарей для электромобилей, нужны еще прочные и легкие баки. Для этого используют дорогой углепластик.

Следующий серьезный недостаток – энергетическая эффективность. Если использовать водород, как промежуточное звено в цепочке доставки энергии от электростанции к колесам автомобиля, то КПД составит не более 30 % с учетом потерь на перекачку и охлаждение водорода перед заправкой. В отличие от 70–80 % у электромобилей.

Если получать водород из попутного нефтяного газа, то КПД становится несравнимо выше – до 70 %. Правда, ценой выбросов углекислого газа.

Если сейчас производить автомобили с водородными двигателями, то где взять заправки? В Европе количество водородных заправок можно пересчитать по пальцам, у нас их вообще нет. Инженеры для таких случаев изобрели бивалентный двигатель, который может одновременно работать как на водородном топливе, так и на бензине. Теперь владелец данного автомобиля не будет зависеть от наличия на заправке водородного топлива.

Через пять-десять лет, когда количество водородных заправок в Европе возрастет, тогда водородомобили получат жизнь. Пока реалии сегодняшнего дня не радужны. Взять хотя бы стоимость машины на чисто водородных элементах – она превышает стоимость обычного автомобиля почти в два раза. И на 20 процентов дороже гибридных версий.

ВЫВОДЫ

Появление автомобилей на водородном топливе призвано ускорить процесс развития необходимой для обслуживания таких транспортных средств инфраструктуры. Электромобили, работающие на аккумуляторах, – это действительно великолепная технология, но, как и факс-машины, это временное явление. Существуют пока проблемы, такие как малый запас хода и длительное время подзарядки, что негативно сказывается на мнении потребителя. Водород решает все подобные проблемы.

Необходимо решить проблему производства дешевого водорода для обеспечения транспортных средств. Один из путей решения данной проблемы – конвертация биомассы в водород, которая образуется в результате жизнедеятельности людей. Так, производя экологическое топливо, мы одновременно сможем способствовать уменьшению количества свалок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кузнецов, Д. Плюсы и минусы водородного топлива Monster Auto, 2015. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.monsterauto.ru/techno/plyusy-i-minusy-vodorodnogo-topliva/> (дата обращения: 17.11.2017).

2 Toyota Mirai – серийный автомобиль на водороде Science Debate, 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sciencedebate2008.com/toyota-mirai-hydrogen-fuel-cell-vehicle/> (дата обращения: 17.11.2017).

3 Первые в мире серийные автомобили на водородном топливе уже в Лондоне. Пресс-релизы / HYUNDAI – NEW THINKING NEW POSSIBILITIES,

2013. [Электронный ресурс]. – URL: http://www2.hyundai.com/ru/ru/MediaCenter/PressRelease/DF_RU_LOCALNEWSVIEW24072013.html?selx2= (дата обращения: 17.11.2017).

4 Автомобиль на водородном топливе / Авто мир, 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <http://at-servise.ru/avtomobil-na-vodorodnom-toplive/> (дата обращения: 20.11.2017).

5 Китайцы запустили в эксплуатацию первый в мире трамвай на водородном топливе PITER.TV, 2017. [Электронный ресурс]. – URL: https://piter.tv/event/Kitajci_zapustili_v_ekspluatatsiyu_pervij_v_mire_tramvaj_na_vodorodnom_toplive/ (дата обращения: 17.11.2017).

Материал поступил в редакцию 12.12.17.

A. B. Shayakhmetov

Сутегі отынға көшудің келешегі

A. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті,
Қостанай қ., 110000, Қазақстан Республикасы.
Материал баспаға 12.12.17 түсті.

A. B. Shayakhmetov

Perspectives of transition to hydrogen fuel

A. Baitursynov Kostanay State University,
Kostanay, 110000, Republic of Kazakhstan.
Material received on 12.12.17.

Бұл мақалада автор автокөлік сутегі отына көшу аспектілерін қарастырады. Әлемдік өндірушілер осы салада сынақтар өткізіп жатыр, тіпті сутегі отында жұмыс істейтін автокөліктерді шығарады. Сутегідегі автомобильдердің негізгі артықшылығы – жоғары экологиялығы, өйткені сутегінің жану өнімі су буы. Әрине, сол кезде әртүрлі майлар жанады, бірақ улы шығарулар бензиндік шығарулардағандай аз. Қазіргі заманғы сутегі автомобильдер жобалау стадиясында, оларды сериялы шығарылмайды, өйткені автотранспорты сутегіні құю станциялар инфрақұрылымы жоқ. Өнеркәсіптік көлемінде сутегіні судың электролизімен алу арзан емес, сондықтан автокөлік компаниялар оған көшуге асықпайды, олар сутегі отынды арзан әрі оңай алу әдісін күтуде.

In this article, the author considers the aspects of the transition of road transport to hydrogen fuel. World manufacturers are testing in this area, and even produce vehicles on hydrogen fuel. The main undeniable advantage of cars on hydrogen is high ecological compatibility, since the product of hydrogen burning is water vapor. Of course, while still burning different oils, but toxic emissions are much less than gasoline exhausts. Modern cars in hydrogen are still at the design stage, or rather serial production models are not yet assembled because of the undeveloped fueling infrastructure for hydrogen fuel. On an industrial scale, getting hydrogen by electrolysis of water is not cheap, so auto companies are not in a hurry to move on to it, expecting a cheaper and easier way to get hydrogen fuel.

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА», «КРАЕВЕДЕНИЕ»)**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для Windows».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать 12 страниц печатного текста. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).

Статья должна содержать:

- 1 **ГРНТИ** (Государственный рубрикатор научной технической информации);
- 2 **Инициалы и фамилия** (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, см. образец);
- 3 **Ученую степень, ученое звание;**
- 4 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;
- 5 **E-mail;**

6 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (не более 12 слов, заглавными прописными буквами, жирным шрифтом, абзац 1 см по левому краю, на трех языках: русский, казахский, английский, см. образец);

7 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском языках (рекомендуемый объем аннотации – не менее 100 слов, прописными буквами, нежирным шрифтом 12 кегль, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец);

8 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (оформляются на языке публикуемого материала: кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см.). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (см. образец);

9 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя: – слово ВВЕДЕНИЕ / КІРІСПЕ / INTRODUCTION (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре см. образец).

Необходимо отразить результаты предшествующих работ ученых, что им удалось, что требует дальнейшего изучения, какие есть альтернативы (если нет предшествующих работ – указать приоритеты или смежные исследования). Освещение библиографии позволит отгородиться от признаков заимствования и присвоения чужих трудов. Любое научное изыскание опирается на предыдущие (смежные) открытия ученых, поэтому обязательно ссылаться на источники, из которых берется информация. Также можно описать методы исследования, процедуры, оборудование, параметры измерения, и т.д. (не более 1 страницы).

– слова ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ / НЕГІЗГІ БӨЛІМ / MAIN PART (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Это отражение процесса исследования или последовательность рассуждений, в результате которых получены теоретические выводы. В научно-практической статье описываются стадии и этапы экспериментов или опытов, промежуточные результаты и обоснование общего вывода в виде математического, физического или статистического объяснения. При необходимости можно изложить данные об опытах с отрицательным результатом. Затраченные усилия исключают проведение аналогичных испытаний в дальнейшем и сокращают путь для следующих ученых. Следует описать все виды и количество отрицательных результатов, условия их получения и методы его устранения при необходимости. Проводимые исследования предоставляются

в наглядной форме, не только экспериментальные, но и теоретические. Это могут быть таблицы, схемы, графические модели, графики, диаграммы и т.п. Формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки (не более 10 страниц).

– слово **ВЫВОДЫ / ҚОРЫТЫНДЫ / CONCLUSION** (нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Собираются тезисы основных достижений проведенного исследования. Они могут быть представлены как в письменной форме, так и в виде таблиц, графиков, чисел и статистических показателей, характеризующих основные выявленные закономерности. Выводы должны быть представлены без интерпретации авторами, что дает другим ученым возможность оценить качество самих данных и позволит дать свою интерпретацию результатов (не более 1 страницы).

10 **Список использованных источников** включает в себя:

– слова **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ / REFERENCES** (Нежирными заглавными буквами, шрифт 14 кегль, в центре).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами для кругозора читателям, как смежные работы, проводимые параллельно. Рекомендуемый объем не более чем из 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В бумажном и электронном вариантах приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

Информация для авторов

Все статьи должны сопровождаться двумя рецензиями доктора или кандидата наук для всех авторов. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

При необходимости статья возвращается автору на доработку. За содержание статьи несет ответственность Автор. **Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.** Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально).

Статью (бумажная, электронная версии, оригиналы рецензий и квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@psu.ru

Оплата за публикацию в научном журнале составляет 5000 (Пять тысяч) тенге.

Наши реквизиты:

РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654	РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654
АО «Цеснабанк» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ГРНТИ 396.314.3

А. Б. Есимова

к.п.н., доцент, Гуманитарно-педагогический факультет,
Международный Казахско-Турецкий университет имени Х. А. Ясави,
г. Туркестан, 161200, Республика Казахстан
e-mail: ad-ad_n@mail.ru

**СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ
В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

В статье рассматриваются вопросы, связанные с кодификацией норм устной речи в орфоэпических словарях, являющихся одной из отраслей ортологической лексикографии. Проводится анализ составления первых орфоэпических словарей, говорится о том, что в данных словарях большее внимание уделяется устной орфографии в традиционном применении, а языковые нормы устной речи остались вне внимания. Также отмечается, что нормы устной речи занимают особое место в языке программ средств массовой информации, таких как радио и телевидение, и это связано с тем, что диктор читает свой текст в микрофон четко по бумажке. В статье также выявлены отличия устной и письменной речи посредством применения сравнительного метода, и это оценивается как один из оптимальных способов составления орфоэпических словарей.

Ключевые слова: репродуктивное поведение, семейно-родственные связи.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отрасль мобильной робототехники переживает бурное развитие. Постепенно среда проектирования в области мобильной ...

Продолжение текста

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в...

Продолжение текста публикуемого материала

ВЫВОДЫ

В этой статье мы представили основные спецификации нашего мобильного робототехнического комплекса...

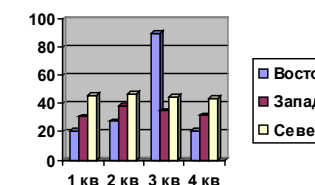
Продолжение текста

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 – Показатели репродуктивного поведения



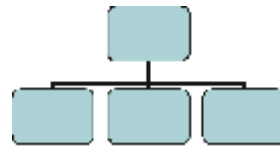


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Эльконин, Д. Б. Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2–е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).
- 2 Фришман, И. Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.
- 3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.
- 4 http://www.mari-el.ru/mmlab/home/AI/4/#part_0.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Гуманитарлық-педагогикалық факультеті,
Қ. А. Ясави атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті,
Түркістан қ., 161200, Қазақстан Республикасы.

A. B. Yesimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

Faculty of Humanities and Education,
K. A. Yesevi International Kazakh-Turkish University,
Turkistan, 161200, Republic of Kazakhstan.

Мақалада ортологиялық лексикографияның бір саласы – орфоэпиялық сөздіктердегі ауызша тіл нормаларының кодификациялануымен байланысты мәселелер қарастырылады. Орфоэпиялық сөздік құрастырудың алғашқы тәжірибелері қалай болғаны талданып, дәстүрлі қолданыстағы ауызша емлесімен, әсіресе мектеп өмірінде жазба сөзге ерекше көңіл бөлініп, ал ауызша сөздің тілдік нормалары назардан тыс қалғаны айтылады. Сонымен қатар ауызша сөз нормаларының бұқаралық ақпарат құралдары – радио, телевизия хабарлары тілінде ерекше орын алуы микрофон алдында диктордың сөзді қағаз бойынша нақпа-нақ, тақпа-тақ айтуымен байланысты екені атап көрсетіледі. Сөздікте ауызша сөзбен жазба сөздің салғастыру тәсілі арқылы олардың айырмасын айқынданғаны айтылып, орфоэпиялық сөздік құрастырудың бірден-бір оңтайлы жолы деп бағаланады.

The questions, related to the norms of the oral speech codification in pronouncing dictionary are the one of the Orthologous Lexicography field, are examined in this article. The analysis of the first pronouncing dictionary is conducted, the greater attention in these dictionaries is spared to verbal orthography in traditional application, and the language norms of the oral speech remained without any attention. It is also marked that the norms of the oral speech occupy the special place in the language of media programs, such as radio and TV and it is related to that a speaker reads the text clearly from the paper. In the article the differences of the oral and writing language are also educed by means of application of comparative method and it is estimated as one of optimal methods of the pronouncing dictionary making.

Басуға 21.12.2017 ж. қол қойылды.
Форматы 297*420/2. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 6,8 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген А. К. Шукурбаева
Корректор: А. Р. Омарова, К. Б. Жетписбай
Тапсырыс № 3163

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
e-mail: kereku@psu.kz