



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ОБРАЗОВАНИИ И ЭКОНОМИКЕ

Электронный журнал



**АЗОВ
№ 4-3 (10)
2018 г.**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ, ОБРАЗОВАНИИ
И ЭКОНОМИКЕ**

Электронный журнал

**№ 4-3 (10)
2018 г.**

УДК 004
ББК 30.1
И 66

Редакционная коллегия:

Председатель редакционной коллегии:

- **Таран Владимир Николаевич**, д-р. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой «Вычислительная техника и программирование» ТИ (филиала) ДГТУ в г. Азове

Члены редакционной коллегии:

- **Горис Татьяна Владимировна**, PhD., доцент кафедры «Технология и трудовые ресурсы» Государственного университета Питсбурга (штат Канзас)

- **Николаенко Денис Владимирович**, канд. техн. наук., доцент кафедры «Компьютерная инженерия» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

- **Маргарита Млчхова**, переводчик Интеграционного центра поддержки иностранцев МВД Чешской Республики

- **Евгений Кирпач**, канд. техн. наук, сетевой аналитик "Clearcable Networks", Дандас, провинция Онтарио, Канада.

- **Долженко Артем Михайлович**, зам. директора по АХР ТИ (филиала) ДГТУ в г. Азове

И 66 **Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике**
[Электронный ресурс]. 2018. Т. 21. № 4-3 (10). – 26 стр. ISBN 978-0-4633-1702-0

В журнале опубликованы материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Перспективные методы обработки поверхностей деталей машин с применением новейших технологий», проводимой кафедрой «Технология машиностроения» 21 декабря 2018 г.

ISBN 978-0-4633-1702-0

© ДГТУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Карпаченко Кирилл Александрович Сулимов Александр Михайлович Ковалев Илья Владимирович ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ НАСОСОВ	5
Карпаченко Кирилл Александрович Сулимов Александр Михайлович Ковалев Илья Владимирович КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ, ПОЛУЧАЕМЫМИ ДИФфуЗИОННЫМ НАСЫЩЕНИЕМ СПЕЧЕННЫХ СТАЛЕЙ УГЛЕРОДОМ И БОРОМ.....	9
Карпаченко Кирилл Александрович Сулимов Александр Михайлович Ковалев Илья Владимирович ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ.....	13
Dolzhenko Artem Mikhailovich TECHNOLOGICAL PECULIARITY OF SULPHURLESS STRUCTURING OF MODIFIED BUTADIENE-NITRILE RUBBER OF MAKING OF AGGRESSIVEPROOF MATERIALS.....	16
Долженко Кристина Кястучио ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩАЯ СМАЗКА ДЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТРУБ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ МАРОК СТАЛИ	17
Акишин Борис Алексеевич Воронцова Виктория Андреевна РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ.....	21

TABLE OF CONTENTS

Karpachenko Kirill Alexandrovich Sulimov Alexander Mikhailovich Kovalev Ilya Vladimirovich ENSURING RELIABILITY OF SEALING EQUIPMENT OF OIL-RECOVERY PUMPS.....	5
Karpachenko Kirill Alexandrovich Sulimov Alexander Mikhailovich Kovalev Ilya Vladimirovich COMPOSITE MATERIALS WITH MULTILAYER COATINGS, RECEIVED BY DIFFUSED SATURATION OF SINTERED STEELS BY CARBON AND BORON	9
Karpachenko Kirill Alexandrovich Sulimov Alexander Mikhailovich Kovalev Ilya Vladimirovich REGULARITIES OF FORMING THE STRUCTURE OF COMPOSITION DISPERSE- STRENGTHENED MECHANICALALLY ALLOYED ALUMINUM MATERIALS	13
Dolzhenko Artem Mikhailovich TECHNOLOGICAL PECULIARITY OF SULPHURLESS STRUCTURING OF MODIFIED BUTADIENE-NITRILE RUBBER OF MAKING OF AGGRESSIVEPROOF MATERIALS.....	16
Dolzhenko Kristina Kyastuchio POLYMERS CONTAINING GREASE FOR DEFORMATION TREATMENT OF STAINLESS STEEL BRANCH PIPES	17
Akishin Boris Vorontsova Victoria SOLUTION OF TYPICAL MATHEMATICAL TASKS BY MEANS OF COMPUTER MATHEMATICS SYSTEMS	21

УДК 62

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ НАСОСОВ

**Карпаченко Кирилл Александрович, Сулимов Александр Михайлович,
Ковалев Илья Владимирович**

Донской государственный технический университет,
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове
Азов, Россия

Аннотация

В статье описана проблема обеспечения надежности и повышения эффективности объектов трубопроводного транспорта нефти. Данная задача неразрывно связана с обеспечением надежности магистральных насосных агрегатов (МНА) нефтеперекачивающих станций.

***Ключевые слова:** композитные материалы, нефтегазовая промышленность, углепластики, нанотехнологии.*

ENSURING RELIABILITY OF SEALING EQUIPMENT OF OIL-RECOVERY PUMPS

**Karpachenko Kirill Alexandrovich, Sulimov Alexander Mikhailovich,
Kovalev Ilya Vladimirovich**

Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov
Azov, Russia

Abstract

The article describes the problem of ensuring the reliability and improving the efficiency of oil pipeline transportation facilities. This task is inextricably linked with ensuring the reliability of the main pumping units (MNA) of oil pumping stations.

***Keywords:** composite materials, oil and gas industry, carbon fiber, nanotechnology.*

Проблема обеспечения надежности и повышения эффективности объектов трубопроводного транспорта нефти неразрывно связана с обеспечением надежности магистральных насосных агрегатов (МНА) нефтеперекачивающих станций.

Задача повышения износостойкости герметизирующих устройств (ГУ) валов центробежных насосов относится к числу наиболее сложных научно-технических проблем, решаемых при организации трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов и имеет свою историю. Работы по повышению работоспособности и срока службы ГУ валов МНА ведутся с 70-х годов прошлого столетия. За это время материалы контактных колец и конструкция ГУ – торцовых уплотнений изменялись несколько раз: твердосплавные композиционные, углеграфитовые и другие материалы.

Большое распространение для изготовления опорных колец торцовых уплотнений в свое время получили высокотвердые неметаллические материалы, такие как керамика ЦМ-332 (99% Al_2O_3) и силицированный графит марок СГ-Т и СГ-П, представляющий собой композицию из карбида кремния, графита и свободного кремния. Высокая теплопроводность и прочность материала обеспечивают работоспособность без терморастрескивания колец при $V = 25$ м/с и $P = 10,0$ МПа. Однако, наличие свободного кремния в структуре СГ-Т и СГ-П ограничивает их химическую стойкость, они не стойки в щелочах. Контактная пара в

торцовом уплотнении насоса МНА первоначально изготавливалась из силицированного графита СГ-П, затем для их изготовления стали использовать антифрикционный металлокерамический сплав по ТУ 51-02-76. Однако и этот материал не обеспечивает износостойкости и надежности уплотнения.

Анализ неисправностей и отказов МНА показывает, что основная масса МНА не обеспечивает безотказной работы в течение заданного межремонтного ресурса и имеют среднюю наработку на отказ около 1500 часов при межремонтном ресурсе 6500 часов. При этом около 30% всех неисправностей, приводящих к досрочному выводу агрегатов из эксплуатации, приходится на торцовые уплотнения вала ротора центробежных насосов.

Низкий уровень надежности торцовых уплотнений, как показали исследования, связан с тяжелыми условиями работы контактной пары трения уплотнительных колец торцового уплотнения (скорость скольжения до 20 с^{-1} , давление уплотняемой среды – неочищенной нефти от 2,0 до 6,5 МПа, значительное изменение температуры нефти от -15°C до $+80^\circ\text{C}$ и ее вязкости), а также низкими вязкоупругими свойствами материала уплотнительных колец.

Выполнен анализ особенностей конструкции, условий эксплуатации и нормативно-технической документации, регламентирующей эксплуатацию и технологию технического обслуживания и ремонта оборудования на базе технического диагностирования. С целью модернизации конструкции торцовых уплотнений валов роторов МНА были проведены исследования металлополимерных торцовых уплотнений и ПКМ на основе ПТФЭ. Разработанные ПКМ для контактных колец обладают высокой химической стойкостью, лучшими среди известных полимеров антифрикционными свойствами и сохраняют работоспособность в интервале температур от -200°C до $+200^\circ\text{C}$. Высокая износостойкость ПКМ достигается путем структурной модификации полимерной матрицы ПТФЭ введением наполнителей различной природы, размеров и формы частиц. При этом задавали следующие требования к ПКМ: максимально высокие прочность и жесткость, теплопроводность и теплоемкость, минимальная сила трения.

Исследовали 8 вариантов композиций, содержащих по 2 – 4 вида дисперсных и волокнистых наполнителей. Результаты исследований показали, что наибольшей износостойкостью и жесткостью обладают высоконаполненные (40 – 51% масс.) ПКМ с металлическими наполнителями (молибден, бронза). Установлено, что изменение механических и триботехнических свойств связано с изменением надмолекулярной структуры ПТФЭ при введении наполнителей. Наибольшее влияние оказывает молибден, значительно увеличивая степень кристалличности, а введение бронзы вызывает ее уменьшение. В процессе трения с металлическим контртелом структура поверхностных слоев ПКМ изменяется, на рентгенограммах наблюдается увеличение площади аморфного гало, появляются рефлексы новых фаз; что говорит об изменении степени кристалличности и о фазовых превращениях под влиянием энергии фрикционного взаимодействия.

Повышение надежности и ресурса металлополимерного торцового уплотнения возможно только при условии обеспечения режимов трения (удельная нагрузка, скорость скольжения, температура в зоне контакта), при которых установившаяся интенсивность изнашивания не приводит к предельно допустимому износу полимерного кольца из разработанного ПКМ при наработке менее установленного ресурса. С целью определения фактических параметров нагружения контактных колец выполнен расчет и анализ контактного давления в зоне трения с учетом установленной гидравлической нагрузки. Они показали, что контактное давление невелико, оно допустимо для ПКМ (0,66 МПа) и мало зависит от уровня давления рабочей жидкости в камере уплотнения. В то же время, при частоте вращения 3000 с^{-1} параметр PV достигает значения $14,9 \text{ МПа}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$, которое выше предельно допустимого для ПКМ. Следовательно, необходимо было его уменьшить, что и было сделано путем увеличения степени гидравлической разгрузки за счет изменения

рабочих диаметров полимерного кольца. Это позволило уменьшить контактное давление в 4 раза и снизить параметр PV до приемлемых значений 3,0-4,5 МПа·м·с⁻¹.

Износостойкость разработанной металлополимерной пары трения проверена испытанием на специальной установке в условиях, близких к эксплуатационным при $PV = 3,0$ МПа·м·с⁻¹. Получено среднее значение скорости изнашивания около 0,3 мкм·ч⁻¹ или интенсивность изнашивания – около $0,5 \cdot 10^{-11}$. Это высокий показатель, он соответствует II классу износостойкости материалов и при допустимой величине линейного износа кольца 1,5 мм позволяет прогнозировать увеличение ресурса торцового уплотнения по результатам испытания разработанной конструкции в составе МНА.

Скорость изнашивания металлополимерного сопряжения зависит от качества металлического контртела. С целью повышения износостойкости полимерного кольца стальное кольцо подвергали ионной имплантации ионами меди с энергией 40...60 кэВ. Исследованием образцов из стали 45, 40ХТ и 18ХГТ установлено, что под влиянием ионной имплантации происходит деформация кристаллической решетки, изменяется средний размер областей когерентного рассеяния. Параметр и объем элементарной ячейки. Это сопровождается увеличением плотности дислокаций и внутренних напряжений до 6 раз (для стали 40Х и стали 45). Названное изменение параметров тонкой структуры и напряженно-деформированного состояния дислокационной структуры поверхностного слоя является физической причиной установленного повышения микротвердости образцов в 1,5 – 2,0 раза. Испытание образцов на трение и износ показали, что упрочнение стальных поверхностей трения методом ионной имплантации обеспечивает дополнительное повышение износостойкости разработанных ПКМ на 20 – 40%.

С целью дальнейшего повышения надежности и ресурса торцовых уплотнений МНА на основе выполненных исследований разработана новая конструкция ГУ вала ротора МНА, конструктивно обеспечивающая переход на гидродинамический режим трения и смазки на установившемся режиме работы путем создания на поверхности трения одного из контактных колец специального профиля; переход на гидродинамический режим работы позволит существенно, не менее чем в 5 раз, повысить износостойкость, уменьшить потери мощности на трение и соответственно увеличить ресурс уплотнения.

Для повышения работоспособности уплотнения и исключения перегрева, деформации и появления микротрещин и других дефектов при работе на режимах «пуск-остановка», а также при отказе подпорных насосов или других неблагоприятных условиях смазки одно из контактных колец изготавливается в виде Г-образного кольца с уплотняющей губкой из полимерного композиционного материала (вместо силицированного графита), обладающего высокой демпфирующей способностью, высокими вязкоупругими и антифрикционными свойствами.

Названные мероприятия по совершенствованию конструкции герметизирующих устройств вала ротора МНА позволят существенно повысить надежность и ресурс магистральных насосных агрегатов.

Литература

1. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическое моделирование физико-механических свойств композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 7. № 4-1 (6). С. 20-23.
2. Кривошеев Д.Н., Минасян Л.А., Саченко В.П. Роль математического обоснования в физике // Физика в системе современного образования (ФССО-01) тезисы докладов шестой международной конференции. 2001. С. 118-119.

3. Долженко А.М., Рыбалко К.К. Изучение усиливающих свойств углерода / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 9. № 4-3 (6). С. 38-41.

4. Таран В.Н., Долженко К.К. Построение математической модели применения полиуретана в качестве упругодемпфирующих элементов вагонных тележек / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 19. № 4-1 (10). С. 37-40.

5. Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Пути инновационного развития строительной отрасли на современном этапе / Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-1 (76). С. 441-444.

6. Долженко К.К. Построение компьютерной модели формирования толстостенных изделий из полимерных композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 39-42.

7. Симионова Н.Е., Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Экологические показатели оценки деятельности строительных организаций / Экономика и предпринимательство. 2017. № 12-1 (89). С. 863-865.

8. Долженко А.М., Дроздов Н.А. Математический метод решения задач механики композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 43-47.

УДК 62

**КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ,
ПОЛУЧАЕМЫМИ ДИФФУЗИОННЫМ НАСЫЩЕНИЕМ СПЕЧЕННЫХ СТАЛЕЙ
УГЛЕРОДОМ И БОРОМ**

**Карпаченко Кирилл Александрович, Сулимов Александр Михайлович,
Ковалев Илья Владимирович**

Донской государственный технический университет,
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове
Азов, Россия

Аннотация

Целью работы являлось: изучить структуру и свойства многослойных покрытий, получаемых комплексным насыщением спеченных сталей углеродом и бором.

Ключевые слова: *композитные материалы, углепластики, нанотехнологии.*

**COMPOSITE MATERIALS WITH MULTILAYER COATINGS, RECEIVED BY
DIFFUSED SATURATION OF SINTERED STEELS BY CARBON AND BORON**

**Karpachenko Kirill Alexandrovich, Sulimov Alexander Mikhailovich,
Kovalev Ilya Vladimirovich**

Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov
Azov, Russia

Abstract

The aim of the work was: to study the structure and properties of multilayer coatings obtained by complex saturation of sintered steels with carbon and boron.

Keywords: *composite materials, carbon fiber, nanotechnology.*

Диффузионный слой, полученный при последовательном насыщении спеченных сплавов углеродом и бором, состоит из зоны боридов, переходной зоны и подслоя. С увеличением температуры цементации (степени науглероживания) общая глубина боридной зоны, состоящей из FeB и Fe₂B, уменьшается, а сплошность ее увеличивается. Температура предварительного науглероживания оказывает влияние и на содержание борида FeB в слое (таблица). Отмеченные изменения в строении боридной зоны связаны с влиянием углерода на диффузию бора.

Строение и глубина переходной зоны определяются температурой предварительной цементации. На низкоуглеродистой стали, цементированной при 875 °С, переходная зона имеет феррито-перлитное строение со средним соотношением феррита и перлита 1:1. С увеличением температуры цементации количество ферритной составляющей уменьшается и при борировании спеченного железа, науглероженного при температурах 975 и 1025 °С, она имеет перлитную структуру.

Под переходной зоной расположен подслой. Для получения подслоя с содержанием углерода более 0,4%, обеспечивающем после закалки образование под боридным слоем твердой подложки, препятствующей продавливанию боридного слоя при эксплуатации, температура цементации должна быть выше 840 °С.

Таблица. Влияние температуры цементации низкоуглеродистой спеченной стали на глубину и фазовый состав диффузионного слоя, полученного комплексным насыщением углеродом и бором

Температура цементации, °С	Глубина диффузионного слоя по зонам, мкм				
	боридная			переходная	подслой
	общая	сплошного слоя	FeB, %		
875	185	95	23	450	1700
925	175	115	20	570	2200
975	160	125	18	710	2500
1025	150	130	15	800	2600

Глубина боридных слоев на цементированных хромистых сталях ниже, а сплошность их выше, чем на безуглеродистых одного и того же исходного состава, что связано с тормозящим влиянием углерода на процесс борирования. Причем разница в глубине с повышением содержания хрома увеличивается, что объясняется повышением концентрации углерода в цементированном слое и снижением скорости «рассасывания» его в процессе выдержки при борировании. Кроме того, хром, замедляя диффузию углерода в аустените, затрудняет процесс оттеснения его в глубь сплава растущим боридным слоем.

Содержание высокобористой фазы FeB в слое на сплавах, подвергнутых предварительной цементации, примерно на 10-20 % меньше, чем на безуглеродистых. Науглероживание не оказывает заметного влияния на микротвердость боридных фаз.

Переходная зона железохромистых сплавов характеризуется высоким содержанием углерода и имеет структуру перлита с избыточными карбидными включениями, количество которых зависит от исходного содержания их в цементированном слое и определяется составом сплава. Переходная зона и подслой металлографически не разделяются. Количество карбидных включений плавно уменьшается от боридного слоя к сердцевине. Увеличение хрома в сплаве от 0 до 9 % приводит к уменьшению глубины подслоя примерно в 1,5 раза.

В работе проведены сравнительные исследования по влиянию последовательного насыщения по оптимальным режимам углеродом и бором, а также углеродом и хромом на физико-механические свойства. Установлено, что влияние борирования на механические свойства предварительно цементированного железа несколько ниже, чем хромирования. Если после хромирования ударная вязкость и предел прочности при изгибе были выше, а поверхностная твердость ниже, чем после отжига, то после борирования наблюдается обратная закономерность. Это объясняется противоположным по сравнению с хромом взаимодействием бора и углерода и более низкой температурой борирования. При формировании боридного покрытия углерод оттесняется в переходную зону. Повышенное содержание углерода и присутствие бора в переходной зоне оказывают благоприятное влияние на прокаливаемость, и достаточно высокое упрочнение поверхностной зоны в этом случае достигается при более низкой температуре предварительной цементации, чем при цементации и хромировании.

При объемном легировании спеченного железа хромом получение под боридным слоем твердой переходной зоны облегчается. Так, при введении в железо 3 % Cr твердая ($H=0,98 > 400-600$ МПа) переходная зона толщиной 1,5-2,0 мм может быть получена при температуре предварительной цементации примерно на 50 °С меньшей, чем в случае спеченного железа. Это объясняется большей концентрацией углерода в цементированном слое стали, легированной хромом, при одинаковых условиях насыщения, его затрудненной диффузионной разгонкой в процессе последующего борирования и благоприятным влиянием хрома на прокаливаемость железоуглеродистых сплавов. Поэтому после двойной обработки

(цементация + борирование) толщина закаленной зоны на стали ЖХЗ в 2-2,5 раза больше, чем на углеродистой.

Износостойкость материалов, подвергнутых комплексной химико-термической обработке, исследовалась в условиях трения скольжения без смазки и абразивном изнашивании.

Установлено, что при относительно низкой скорости скольжения, равной 0,4 м/сек, коэффициент трения боридов по стали P18 высок ($f = 0,80-0,90$). Напряжения, возникающие в зоне контакта, в этом случае достигают больших значений и приводят к хрупкому разрушению боридного слоя. Износ при этом достигает максимальной величины. Увеличение скорости скольжения вызывает повышение температуры в зоне контакта, что приводит к окислению боридов – и образованию на трущихся поверхностях тонкой «расплавленной» пленки борного ангидрида, служащего смазкой. Коэффициент трения и износ при этом резко снижаются, достигая минимума при скорости скольжения, равной 1,0 м/сек. Борирование предварительно цементированных спеченных материалов с целью повышения их износостойкости наиболее эффективно при скоростях относительного перемещения трущихся поверхностей более 0,7 м/сек. Минимальный износ наблюдается при скорости, равной 1,0 м/сек. Боридные покрытия на цементированной стали ЖХЗ обладают меньшей износостойкостью, чем на железе, что, связано с повышенной хрупкостью боридов, легированных хромом.

При абразивном изнашивании (электрокорундовая шлифовальная шкурка зернистостью 180 мкм) стали, подвергнутые науглероживанию и борированию уступают по износостойкости предварительно сталям с карбидными покрытиями, но превосходит цементированные спеченные стали или сталь 45 в закаленном и низкоотпущенном состоянии. Объемное легирование стали хромом повышает абразивную износостойкость боридных покрытий, что обусловлено увеличением их твердости.

Борирование значительно повышает коррозионную стойкость спеченного железа ($\gamma - 95\%$) в 10 %-ном водном растворе HNO_3 , 30 %-ном CH_3COOH , 40 %-ном H_3PO_4 и 10 %-ном H_2SO_4 .

Литература

1. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическое моделирование физико-механических свойств композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 7. № 4-1 (6). С. 20-23.
2. Кривошеев Д.Н., Минасян Л.А., Саченко В.П. Роль математического обоснования в физике // Физика в системе современного образования (ФССО-01) тезисы докладов шестой международной конференции. 2001. С. 118-119.
3. Долженко А.М., Рыбалко К.К. Изучение усиливающих свойств углерода / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 9. № 4-3 (6). С. 38-41.
4. Таран В.Н., Долженко К.К. Построение математической модели применения полиуретана в качестве упругодемпфирующих элементов вагонных тележек / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 19. № 4-1 (10). С. 37-40.
5. Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Пути инновационного развития строительной отрасли на современном этапе / Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-1 (76). С. 441-444.
6. Долженко К.К. Построение компьютерной модели формования толстостенных изделий из полимерных композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 39-42.

7. Симионова Н.Е., Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Экологические показатели оценки деятельности строительных организаций / Экономика и предпринимательство. 2017. № 12-1 (89). С. 863-865.

8. Долженко А.М., Дроздов Н.А. Математический метод решения задач механики композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 43-47.

9. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическая модель переходных динамических процессов в композиционном легковесном материале при случайном разрушении сферической подкрепляющей оболочки / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 13. № 1-1 (7). С. 26-30.

УДК 62

ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ

**Карпаченко Кирилл Александрович, Сулимов Александр Михайлович,
Ковалев Илья Владимирович**

Донской государственный технический университет,
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове
Азов, Россия

Аннотация

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол и аминных отвердителей, благодаря простоте их переработки в широком температурном интервале в сочетании с весьма высокими прочностными, диэлектрическими, теплоизоляционными, адгезионными и другими ценными свойствами, стали незаменимыми в различных отраслях промышленности, таких как строительство, лакокрасочная промышленность, электротехническая промышленность.

Ключевые слова: *композитные материалы, эпоксиды, нанотехнологии.*

REGULARITIES OF FORMING THE STRUCTURE OF COMPOSITION DISPERSE- STRENGTHENED MECHANICALLY ALLOYED ALUMINUM MATERIALS

**Karpachenko Kirill Alexandrovich, Sulimov Alexander Mikhailovich,
Kovalev Ilya Vladimirovich**

Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov
Azov, Russia

Abstract

Polymer materials based on epoxy resins and amine hardeners, due to the simplicity of their processing in a wide temperature range in combination with very high strength, dielectric, thermal insulation, adhesive and other valuable properties, have become indispensable in various industries, such as construction, paint and varnish industry, electrical engineering industry.

Keywords: *composite materials, epoxides, nanotechnologies.*

Ассортимент отвердителей, выпускаемых в настоящее время промышленностью, позволяет в широких пределах варьировать технологические свойства эпоксидных композиций (вязкость, липкость, жизнеспособность, время отверждения, пропитывающую способность и др.), а также осуществлять целенаправленное регулирование физико-механических свойств полимерных материалов.

В работе изучены полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидиановых смол (ЭО), модифицированных реакционноспособным разбавителем и полиамидаминных отвердителей (ПАО), содержащих первичные и третичные аминогруппы.

В таблице 1 представлены данные по составу полимерных композиций, содержащих катализаторы, разбавитель и наполнитель в процентном отношении к количеству эпоксидной смолы и аминного отвердителя.

Таблица 1

№ состава	Эпоксидный олигомер	Наполнитель	Аминный отвердитель	Наполнитель	Катализатор	Разбавитель
1.	100% ЭО	-	80%ПАО	-	-	-
2.	100% ЭО	-	80%ПАО+ 8,5%УП606/2	-	-	-
3.	100% ЭО	-	52%ПАО+ 26%УП-583Д	-	-	-
4.	100% ЭО	-	80%ПАО	-	5% СК	-
5.	100% ЭО	-	80%ПАО	-	5%СК 5%БС	-
6.	100% ЭО	110% тальк	80%ПАО	130% тальк	-	-
7.	100% ЭО	100% тальк	80%ПАО	100% тальк	-	-
8.	100% ЭО	170% тальк	80%ПАО	130% тальк	-	17%
9.	100% ЭО	100% тальк	52%ПАО+ 26%УП-583Д	100% тальк	-	-

Смешение компонентов осуществляли при комнатной температуре и энергичном перемешивании. Наполнитель вводился отдельно в эпоксидную и аминную составляющие композиций. Некоторые свойства данных композиций и отвержденных полимеров представлены в таблице 2 (нумерация в таблице соответствует составам таблицы №1):

Таблица 2

4	$\tau_{\text{гелеобразования, час.}}$	Адгезионная прочность, кг/см^2			$\tau_{\text{потери липкости, час.}}$	$T_{\text{стеклования, } ^\circ\text{C}}$
		6 час.	1 сутки	10 суток		
1	4,5	40	90	200		67
2	3,0	45	80	270		
3	4,0	50	95	290		
4	3,0	55	100	280		
5	3,0	65	110	295		
6		10	45	95	2,0	70
7		12	60	110	2,0	68
8		10	35	80	2,0	65
9		15	70	240	1,3	79

Установлено, что введение катализаторов (третичных аминов, салициловой кислоты) ускоряет реакцию на начальном этапе отверждения, что приводит к росту кратковременной адгезионной прочности. Максимальный эффект ускорения формирования полимера наблюдается в случае совместного введения салициловой кислоты (СК) и бензилового спирта (БС), как видно из данных таблицы 2 (состав 1 и состав 5).

Следует отметить, что при больших степенях наполнения минеральным наполнителем, сохраняются достаточно высокие прочностные и адгезионные свойства полимерного композита. Оптимальным составом, согласно данным таблицы 2 является состав №9, достаточно высокая прочность склеивания которого (70 кг/см^2) достигается через 24 часа.

Введение минерального наполнителя в больших массовых долях приводит к некоторому повышению температуры стеклования, что связано с ограничением

молекулярной подвижности полярных фрагментов полимерной сетки. В то же время, обеспечиваются определенные тиксотропные свойства композиции, уменьшение горючести, снижение стоимости, что позволяет рекомендовать данный композиционный материал для склеивания и герметизации изделий типа «холодной сварки».

Литература

1. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическое моделирование физико-механических свойств композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 7. № 4-1 (6). С. 20-23.
2. Кривошеев Д.Н., Минасян Л.А., Саченко В.П. Роль математического обоснования в физике // Физика в системе современного образования (ФССО-01) тезисы докладов шестой международной конференции. 2001. С. 118-119.
3. Долженко А.М., Рыбалко К.К. Изучение усиливающих свойств углерода / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 9. № 4-3 (6). С. 38-41.
4. Таран В.Н., Долженко К.К. Построение математической модели применения полиуретана в качестве упругодемпфирующих элементов вагонных тележек / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 19. № 4-1 (10). С. 37-40.
5. Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Пути инновационного развития строительной отрасли на современном этапе / Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-1 (76). С. 441-444.
6. Долженко К.К. Построение компьютерной модели формирования толстостенных изделий из полимерных композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 39-42.
7. Симионова Н.Е., Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Экологические показатели оценки деятельности строительных организаций / Экономика и предпринимательство. 2017. № 12-1 (89). С. 863-865.
8. Долженко А.М., Дроздов Н.А. Математический метод решения задач механики композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 43-47.
9. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическая модель переходных динамических процессов в композиционном легковесном материале при случайном разрушении сферической подкрепляющей оболочки / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 13. № 1-1 (7). С. 26-30.

UDC 62

TECHNOLOGICAL PECULIARITY OF SULPHURLESS STRUCTURING OF MODIFIED BUTADIENE-NITRILE RUBBER OF MAKING OF AGGRESSIVEPROOF MATERIALS

Dolzhenko Artem Mikhailovich

Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov
Azov, Russia

Abstract

The article describes a new method for coating metal products that are used in corrosive environments.

Keywords: *butadiene-nitrile caoutchouc, thermal vulcanizates, elastomer materials.*

At present in oil industry is used elastomer materials (EM) on base of butadiene-nitrile caoutchouc (BNC). In most cases EM made from BNC, especially diaphragms, gasket rings and glands are destructed after shortly exploitation in aggressive liquid mediums, at result structure of EM contenting caoutchouc matter, accelerators plasticizer, antioxidant and other ingredients have some changes. So in factories of rubber and oil industry there are a lot of used EM on base of BNC. The problem of returning to balance expensive and deficit materials has a high economical, technological and ecological significance.

The radiance (Co60) thermal structuring of the modified butadiene-nitrile rubber by the insertion into its recipe the rubber, chlorine containing, maleic and epoxide compounds has been held. By the temperature and radiation influence, by the method of sol and gel analysis the non-soluble part of the polymer after structuring was investigated. The effectiveness of diametrical links in the radiance, thermoradiance and thermal vulcanizates has been defined as well. By the use of physic-chemical method of analysis the molecular structure of radiance and thermal vulcanizates with the participation of the indicated sewing systems has been defined.

The thermoradiation method of vulcanization of EM on base of BNC using -irradiation of Co60 was developed. This method has a significance advantage on comparison thermochemical method and allows to get the product of high quality. EM can be obtained with predicted properties by changing of absorbed dose of radiation, at this ensured obtaining of C-C connection without application of sulfur and sulfurcontenting accelerators. Instead is recommended polychalogenmethylcontenting (PCM) and epoxy compounds (EC) with oxides of metals.

A wide laboratory testing of PCM and EC showed that entering these structuring systems to gasket and gland mixtures is purposeful.

On technological and exploitation properties the model products are comparable with factory made products. It is suggested to use thermoradiation EM in engineering industry.

The developed method allows excluding environment pollution. Properties of thermoradiated vulcanizate depend on vulcanization structure and absorbed dose. The technological scheme of obtaining of use thermoradiation EM includes mixing, heating in electric press during 2-4 min., radiation and other operations.

Литература

1. Dolzhenko K.K. Building a computer model for forming thick-walled products from polymer composite materials / Innovative technologies in engineering, education and economics. 2018. T. 20. No. 4-2 (10). Pp. 39-42.

УДК 62

ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩАЯ СМАЗКА ДЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТРУБ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ МАРОК СТАЛИ

Долженко Кристина Кястучио

Донской государственный технический университет,
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове
Азов, Россия

Аннотация

Известно, что трубы из нержавеющей марки стали получают в процессе теплой прокатки на станах ТПТ или холодной прокатки на станах ХПТ или ХПТ-Р. В процессе теплой прокатки под воздействием высокого давления и температуры ($t \sim 400-500$ °C) происходит внедрение компонентов технологической смазки (ТС) или продуктов их разложения в кристаллическую решетку металла. В случае использования в качестве наполнителя графита происходит диффузия углерода в приповерхностный слой трубы, вследствие чего возникают очаги межкристаллитной коррозии, а, следовательно, несоответствие выпускаемой продукции требованиям международных стандартов. В данной статье описана возможность применения полимерсодержащей смазки для деформационной обработки труб из нержавеющей марки стали.

Ключевые слова: композитные материалы, полимерная смазка, нержавеющие стали, нанотехнологии.

POLYMERS CONTAINING GREASE FOR DEFORMATION TREATMENT OF STAINLESS STEEL BRANCH PIPES

Dolzhenko Kristina Kyastuchio

Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov
Azov, Russia

Abstract

It is known that stainless steel tubes are obtained in the process of warm rolling at TPT mills or cold rolling at HPT or HPT-R mills. In the process of warm rolling under the influence of high pressure and temperature ($t \sim 400-500$ °C), the components of technological lubricant (TS) or their decomposition products are introduced into the metal crystal lattice. In the case of using graphite as a filler, carbon diffuses into the surface layer of the pipe, as a result of which there are foci of intergranular corrosion, and, consequently, non-compliance of the products with the requirements of international standards. This article describes the possibility of using a polymer-containing lubricant for the deformation processing of pipes made of stainless steel grades.

Keywords: composite materials, polymer lubricant, stainless steels, nanotechnologies.

Получение высококачественных труб из нержавеющей марки стали в процессе холодной прокатки требует использования дорогостоящих технологических смазок, обладающих высокими антифрикционными, противоизносными свойствами и несущей способностью, причем, в отсутствие в их составе высокодисперсного антифрикционного наполнителя. Последнее вызвано тем, что наличие наполнителя затрудняет получение высокого класса шероховатости обработанной поверхности, т.к. процесс деформации металла в этом случае протекает в условиях полного экранирования.

Таким образом, учитывая вышесказанное, наиболее перспективным вариантом производства труб из нержавеющей марки стали представляется процесс холодной прокатки с использованием специально разработанных ТС, имеющих комплекс технологических свойств, обеспечивающий нормальный процесс холодной деформации труб. Введение полимерной компоненты обеспечивает не только повышение несущей способности, но и оказывает пластифицирующее действие на обрабатываемый металл, т.к. в очаге деформации вследствие термомеханодеструкции полимерных цепочек происходит выброс большого количества высокоактивных продуктов, в том числе макрорадикалов.

Учитывая вышеприведенное была поставлена задача разработать состав ТС на основе маслорастворимых полимеров и олигомеров, изучить их трибологические характеристики и провести опытно-промышленные испытания при холодной прокатке труб из нержавеющей марки стали.

ТС «Никвол-ММ» представляет собой вязкую жидкость, полученную путем смешивания и последующего растворения в минеральном масле полимера, олигомера, ПАВ и функциональных присадок, обеспечивающих комплекс требуемых технологических свойств.

Трибологические испытания разработанной ТС «Никвол-ММ» (составы №1-5) и импортного аналога Castrol Iloform PN 350 (№6) проведены на четырехшариковой машине трения по ГОСТ 9490-75 при нагрузке 200 Н.

Результаты испытаний антифрикционных (коэффициент трения – f) и противоизносных (диаметр пятна износа – $D_{и}$) свойств представлены на рис. 1 и рис. 2.

Составы №1-4 отличаются только концентрацией малорастворимого ПАВ. Как видно из рис. 1 и рис. 2 при содержании ПАВ 0,3% массовых долей (состав №4) происходит существенное улучшение противоизносных и антифрикционных свойств, приближающихся вплотную к значениям соответствующих показателей импортного аналога (состав №6). При уменьшении до нуля (состав №1) или увеличении содержания ПАВ до 2% (состав №2) и 4% (состав №3) трибологические показатели заметно ухудшаются, что хорошо согласуется с исследованиями концентрационной зависимости эффекта Ребиндера. Введение полимера в состав ТС «Никвол-ММ» заметно улучшает трибологические показатели, причем, по противоизносным свойствам ($D_{и}$) полимерсодержащий состав (№5) чуть лучше импортного Castrol Iloform PN 350.

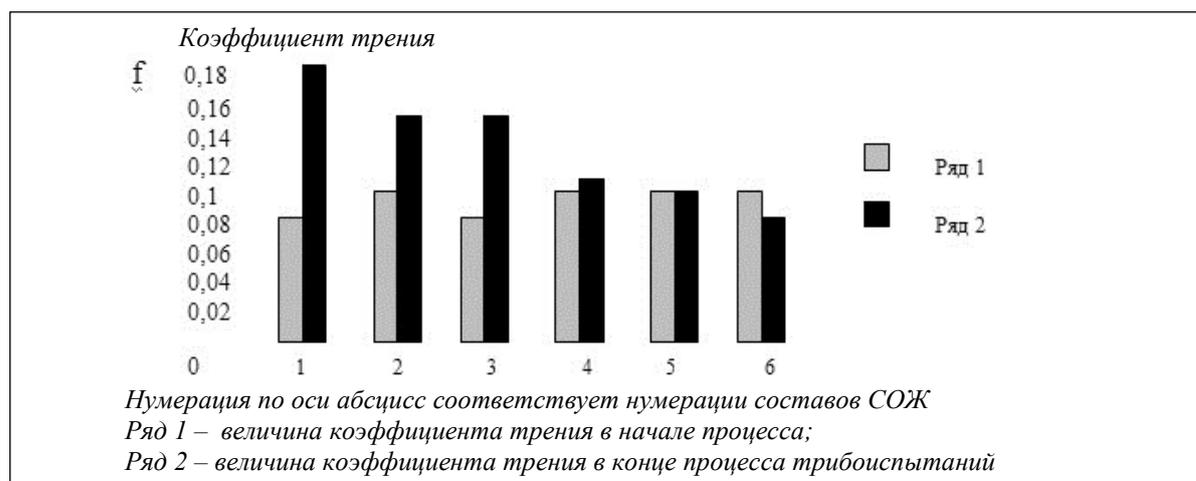


Рис. 1. Антифрикционные свойства олигомерсодержащих смазок (составы №1-4) при концентрации ПАВ: 1-0%; 2-2%; 3-4%; 4-0,3%, полимерсодержащей смазки (состав №5) и ТС «Castrol Iloform PN 350»

Результаты проведенных трибологических исследований позволили предложить составы №4 и №5 для опытно-промышленных испытаний при холодной прокатке труб из нержавеющей марки стали.



Рис. 2. Противозносные свойства олигомерсодержащих смазок (составы №1-4) при концентрации ПАВ: 1-0%; 2-2%; 3-4%; 4-0,3%, полимерсодержащей смазки (состав №5) и ТС «Castrol Iloform PN 350»

В результате проведенных испытаний установлено, что ТС «Никвол-ММ» (состав №4), содержащая 30% массовых долей талька, обеспечивает нормальный процесс прокатки труб из стали Х18Н10 Т и позволяет прокатывать трубы с более высоким режимом деформации, увеличить производительность прокатки и снизить себестоимость производства труб. Проведенные измерения показали, что качество наружной и внутренней поверхности готовых труб, геометрические размеры соответствуют требованиям ГОСТ 9941.

В отсутствие наполнителя ТС (состав №4) не обеспечивает нормальное протекание процесса прокатки на стане ХПТ вследствие снижения ее несущей способности в очаге деформации, где достигается высокая температура ($> 200^{\circ}\text{C}$). Введение полимера в состав ТС №4 обеспечивает нормальный процесс прокатки, что можно объяснить, в основном, резким повышением несущей способности полимерсодержащей смазки «Никвол-ММ» (состав №5), поскольку ее противозносные и антифрикционные свойства улучшаются, но не так значительно. При этом, что очень существенно, обеспечивается высокий класс шероховатости обработанной поверхности ($Ra = 0,3-0,5$ мкм), что свидетельствует о реализации в очаге деформации режима граничной смазки.

В результате проведенных исследований разработана полимерсодержащая смазка «Никвол-ММ», предназначенная для использования в процессе холодной прокатки труб из нержавеющей марки стали, которая может применяться взамен дорогостоящих импортных аналогов.

Литература

1. Таран В.Н., Долженко А.М., Бойко Е.Ю. Вывод уравнения скатывания тела без учета трения для построения математической модели в системе проектирования MathCad / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2016. Т. 1. № 1. С. 29-35.

2. Кривошеев Д.Н., Минасян Л.А., Саченко В.П. Роль математического обоснования в физике // Физика в системе современного образования (ФССО-01) тезисы докладов шестой международной конференции. 2001. С. 118-119.

3. Таран В.Н., Долженко А.М., Рыбалко К.К. Математическое моделирование физико-механических свойств композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 7. № 4-1 (6). С. 20-23.

4. Кривошеева И.Н., Кривошеев Д.Н. Инновационные аспекты деятельности строительных организаций (на примере Ростовской области) // СТЕПАНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2018: ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ Сборник докладов участников Всероссийской научно-практической конференции. Под ред. М.Ю. Мишлановой. 2018. С. 79-81.

УДК 519.6

РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Акишин Борис Алексеевич*, Воронцова Виктория Андреевна**

*Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия

**Донской государственный технический университет,
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове,
Азов, Россия

Аннотация

Сравниваются системы компьютерной математики при решении типовых математических задач.

Ключевые слова: система компьютерной математики, программа Maxima, программа GeoGebra.

SOLUTION OF TYPICAL MATHEMATICAL TASKS BY MEANS OF COMPUTER MATHEMATICS SYSTEMS

Akishin Boris *, Vorontsova Victoria **

*Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia

*Don State Technical University,
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov,
Azov, Russia

Abstract

Computer mathematical systems are compared when solving typical mathematical problems.

Keywords: computer mathematics system, Maxima program, GeoGebra program.

В работах [1-4] приводится обоснование целесообразности активного использования в процессе изучения математики в вузе некоммерческих систем компьютерной математики (СКМ), в частности, программ Maxima и GeoGebra. Такой подход позволяет обучающемуся не только лучше усваивать и закреплять знания, полученные на лекционных и практических занятиях по математике, но и углублять эти знания, что зачастую приводит к освоению новых математических методов, заложенных в современные программы

Обе программы, Maxima и GeoGebra, являются достаточно универсальными и доступными, с хорошими возможностями научной графики, имеют онлайн версии, их можно установить даже на мобильном устройстве.

В программе Maxima реализовано множество аналитических и численных методов из различных разделов математики [1, 2], сопоставимое с возможностями профессиональных коммерческих СКМ.

Программа GeoGebra удобнее при решении задач, связанных с геометрической интерпретацией решений (векторная алгебра, аналитическая геометрия на плоскости и в пространстве, задачи с параметром, линейное программирование и др.) [3, 4]. Однако GeoGebra имеет средства и для аналитических (символьных) расчетов: встроенные функции и CAS-калькулятор.

Приведем примеры аналитических (символьных) решений с помощью GeoGebra типовых задач линейной алгебры и математического анализа и сравним их с аналогичными решениями в среде других СКМ.

Пример 1. Решить неопределенную систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$\begin{cases} x_1 + x_2 - x_3 + x_4 = 2, \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 - x_4 = -1, \\ 3x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 1, \\ x_1 + 4x_3 - 2x_4 = -3 \end{cases}$$

При решении подобных СЛАУ на практических занятиях по линейной алгебре обычно: а) проверяют условия выполнения теоремы Кронекера-Капелли; б) решают СЛАУ методом Гаусса (или одной из его модификаций).

Решим пример средствами GeoGebra: установим режим CAS-калькулятора, в строках ввода по очереди введем сами уравнения, объединим их мышью и выберем инструмент X= - решатель Solve. Получим решение (рис.1) :

9	$x_1 + x_2 - x_3 + x_4 = 2$ → $x_1 + x_2 - x_3 + x_4 = 2$
10	$2 \cdot x_1 + x_2 + 3 \cdot x_3 - x_4 = -1$ → $2 x_1 + x_2 + 3 x_3 - x_4 = -1$
11	$3 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 = 1$ → $3 x_1 + 2 x_2 + 2 x_3 = 1$
12	$x_1 + 4 \cdot x_3 - 2 \cdot x_4 = -3$ → $x_1 + 4 x_3 - 2 x_4 = -3$
13	{ $\$9, \$10, \$11, \12 }
	○ Решить: $\{\{x_1 = -4 x_3 + 2 x_4 - 3, x_2 = 5 x_3 - 3 x_4 + 5, x_3 = x_3, x_4 = x_4\}\}$

Рис.1 Решение примера №1

Общее решение этой неопределенной СЛАУ получено в привычном для обучающихся виде списка, где базисные переменные x_1 и x_2 выражены через свободные x_3 и x_4 . Таким образом, аналитическое решение СЛАУ небольшой размерности, в том числе и неопределенных, в среде GeoGebra не представляет особых сложностей, не требует дополнительных проверок совместности и нагляднее, чем в некоторых СКМ, например, в Maxima [1] или MathCAD.

Пример 2. Вычислить предел $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{1 - \cos x}}$

Первоначально достаточно много обучающихся решают этот пример неправильно, как:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{1 - \cos x}} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{2 \cdot \sin^2 \frac{x}{2}}} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\sqrt{2} \cdot \sin \frac{x}{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2},$$

забыв при извлечении квадратного корня поставить знак модуля.

Для вычисления предела в GeoGebra нужно в строке ввода CAS - калькулятора ввести встроенную функцию Предел (<Выражение>, <Переменная>, <Число>) (формат функции и назначение параметров видны из всплывающей подсказки).

При решении примера 2 (рис.2) программа выдает сообщение, что обычный двусторонний предел не существует (знак вопроса в строке ответа). Вычислив с помощью встроенных функций односторонние пределы, обучающийся убеждается, что в точке $x = 0$ функция терпит разрыв 1-го рода со скачком $2\sqrt{2}$, т.е. обычный предел, действительно, не существует:



Рис.2 Решение примера №2

Таким образом, процесс вычисления в GeoGebra пределов весьма нагляден.

Пример 3. Исследовать функцию и построить ее график:

$$f(x) = x^5 - 6x + 2$$

Проведем исследование функции по упрощенной схеме, т.е. нанесем не график только характерные точки. Ситуация упрощается тем, что исследуемая функция является полиномом.

Сначала через меню Вид программы GeoGebra устанавливаем на экране Панель объектов, Полотно, Протокол и Строку ввода (внизу экрана). После ввода выражения исследуемой функции ее график сразу же отображаются на Полотне. С помощью мыши корректируем масштаб, расположение осей координат и точек графика на экране, а через контекстное меню – свойства объектов и их обозначений на Полотне (формы, цвет, стиль и др). (рис.3)

Встроенная функция Корень (<Многочлен>) рассчитывает с заданной точностью и отображает на графике все вещественные корни - точки А, В и С.

Встроенная функция Экстремум (<Полином>) рассчитывает и отображает на графике точки экстремума D и E, а функция Перегиб (<Полином>) – точку перегиба F.

Последовательность этапов решения задачи можно прокрутить заново через пункт меню Вид→ Протокол или команду контекстного меню Полотна «Шаги построения».

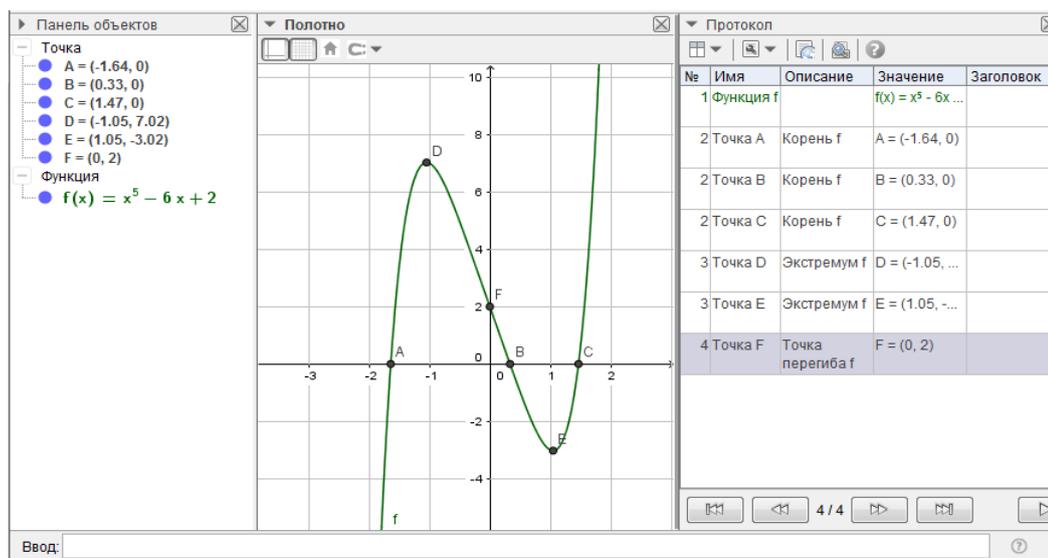


Рис.3 График функции

Пример 4. Вычислить неопределенный интеграл: $\int x^3 \sin(4x^2) dx$

Отметим, что достаточно часто при вычислении таких интегралов методом «по частям» обучающиеся неправильно выбирают части.

Для аналитического вычисления неопределенных интегралов в GeoGebra предназначен инструмент \int на панели инструментов CAS – калькулятора (рис.4):

1 $x^3 \cdot \sin(4 \cdot x^2)$

Интеграл: $\frac{1}{32} (-4 x^2 \cos(4 x^2) + \sin(4 x^2)) + c_1$

2 \$2

Производная: $x^3 \sin(4 x^2)$

Рис.4 Вычисление неопределенного интеграла

Результат проверен дифференцированием (инструмент f' на панели CAS – калькулятора). Обратим внимание, что в отличие от других СКМ, программа GeoGebra включает в свой ответ произвольную постоянную c_1 .

Считается, что вычисление первообразных является для обучающихся одной из наиболее сложных задач математического анализа, да и не все СКМ справляются с отдельными примерами. Как показывает практика, во многих случаях вычисление первообразных в среде GeoGebra предпочтительнее, так как просто и наглядно, но в сложных примерах нужно пробовать использовать другие программы, например, Maxima, Maple и др.

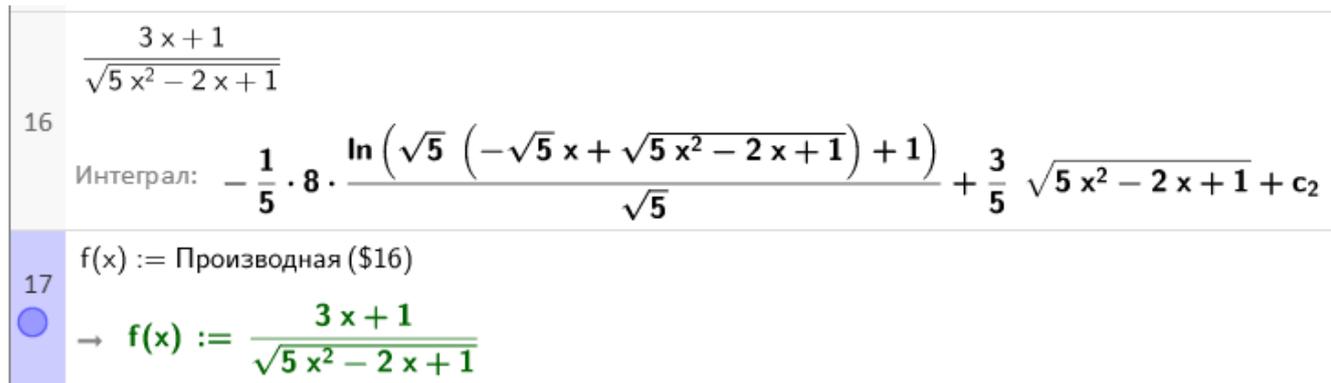
Пример 5. Вычислить неопределенный интеграл от иррациональной дроби

$$\int \frac{3x + 1}{\sqrt{5x^2 - 2x + 1}} dx$$

Большинство обучающихся умеет находить первообразные для подобных интегралов «группы четырех»:

$$\int \frac{3x+1}{\sqrt{5x^2-2x+1}} dx = \frac{3}{5} \cdot \sqrt{5x^2-2x+1} + \frac{8\sqrt{5}}{25} \cdot \ln \left| x - \frac{1}{5} + \frac{\sqrt{5x^2-2x+1}}{\sqrt{5}} \right| + C$$

Программа GeoGebra выдает ответ в несколько иной форме, чем ответ обучающегося (рис.5):

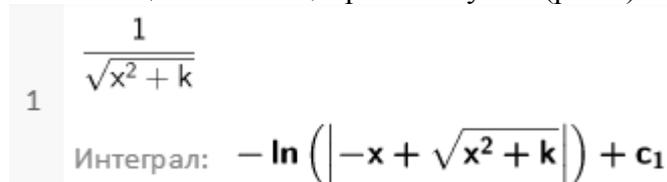


16 $\frac{3x+1}{\sqrt{5x^2-2x+1}}$
 Интеграл: $-\frac{1}{5} \cdot 8 \cdot \frac{\ln(\sqrt{5}(-\sqrt{5}x + \sqrt{5x^2-2x+1}) + 1)}{\sqrt{5}} + \frac{3}{5} \sqrt{5x^2-2x+1} + c_2$

17 $f(x) :=$ Производная (\$16)
 $\rightarrow f(x) := \frac{3x+1}{\sqrt{5x^2-2x+1}}$

Рис.5 Вычисление неопределенного интеграла

Это связано с тем, что в GeoGebra заложена иная формула табличного интеграла, отличающаяся от общепринятой у нас (рис.6):



1 $\frac{1}{\sqrt{x^2+k}}$
 Интеграл: $-\ln(|-x + \sqrt{x^2+k}|) + c_1$

Рис.6 Формула табличного интеграла

Сравнивая свой ответ с ответом GeoGebra, студент легко может доказать, что ответы различаются на постоянную величину.

Отметим также, что с задачей аналитического вычисления интегралов многие СКМ, даже коммерческие, не всегда справляются, например, MathCAD-15 окончательного ответа на решение примера 5 не дает.

Вывод. При изучении классической вузовской математики обучающийся может с успехом использовать систему динамической геометрии GeoGebra, соединяющая в себе геометрию, алгебру, математический анализ, теорию вероятностей, математическую статистику и другие дисциплины. В чем-то процесс решения и представление результатов в GeoGebra имеют преимущества перед другими СКМ, а в чем-то недостатки. Конечно GeoGebra является менее универсальной, чем Maxima и другие СКМ. Например, в среде GeoGebra нельзя получить общее решение дифференциального уравнения, не реализовано большинство численных методов и т.д.

Еще раз отметим, что ответы, получаемые студентом на бумаге, зачастую отличаются от ответов, выдаваемых GeoGebra. В таких случаях студент должен провести углубленный анализ, разобраться в причинах несоответствия и довести решение до конца

Литература

1. Акишин Б.А. Решение математических задач с помощью пакета Maxima. Учеб. пособие / Б.А. Акишин, Л.В. Черкесова., А.В. Галабурдин. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2015. - 100 с.
2. Акишин Б.А. Применение пакета Maxima при решении прикладных инженерных и экономических задач. Учеб. пособие / Б.А. Акишин, Н.Ю. Богданова, А.В. Галабурдин. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. - 84 с.
3. Акишин Б.А. Решение типовых математических задач с помощью программы GeoGebra / Б.А. Акишин Б.А., В.А. Воронцова // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, т.4, №1(3), 2018 г., С. 182-186.
4. Акишин Б.А. Особенности использования систем компьютерной математики при изучении математических дисциплин в техническом вузе / Б.А. Акишин, В.А. Воронцова // Математическое образование в школе и вузе: инновации в информационном пространстве (MATHEDU' 2018): материалы VIII Международной научно-практической конференции (Казань, 17-21 октября 2018 г.). - Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018 , С.202-206