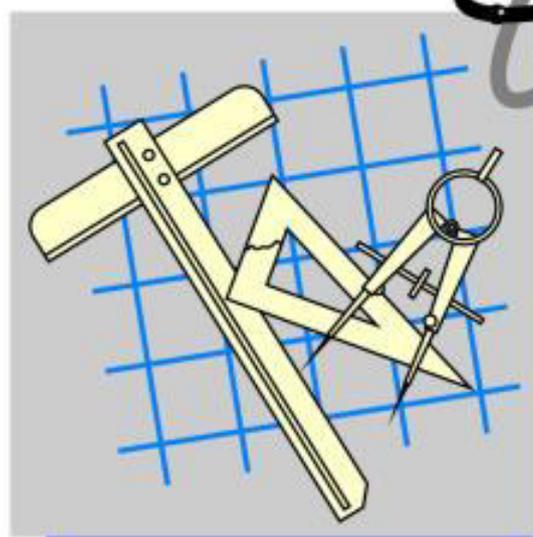
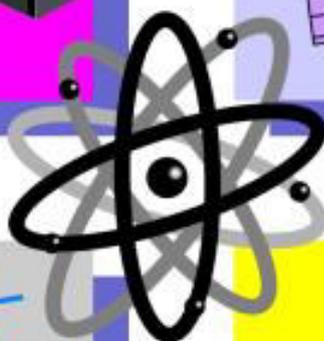
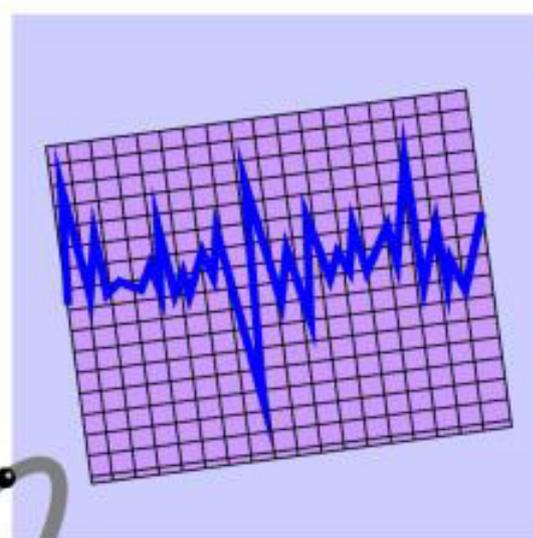


Студенческий научно-технический журнал

ИНЖЕНЕР

№1 (29) 2020



ДОНЕЦК-2020



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический
журнал*

Основан в 2000 году

№ 1(29) '2020

Донецк – 2020

УДК 62

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 5 от 27 ноября 2020 г.)

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Международного союза машиностроителей

Учредитель – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»

Главный редактор
Зам. гл. редактора
Отв. секретарь

Михайлов А. Н.
Ивченко Т.Г.
Лахин А.М..

Редакционная коллегия:

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Грубка Р. М., Гусев В.В., Коваленко В. И., Навка И. П., Селивра С. А., Чернышев Е. А.

Адрес редакции:

ДонНТУ, каф. ТМ
6-й учебный корпус, 6.305
ул. Артема, 58
283001, г. Донецк
Тел.: +38-062-305-01-04
Факс: +38-062- 305-01-04

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

ISSN 2073-5804

© ГОУВПО «Донецкий национальный
технический университет», 2020

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ
СИСТЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ КОНЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ**
Рыжков А.И.
(Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия)
E-mail:ryzhkov2206@mail.ru

Abstract: *The theory of optimal control for objects' motion was developed in the works of A.P. Bazhenko, V.G. Boltyansky, A.G. Butkovsky, A.A. Voronov, A.I. Karnovsky, P.D. Krutko, A.N. Moiseev, Pontryagina L.S., Solodovnikov V.V.*

Creation and improvement of models of the dynamics of objects where manipulators are used is important for increasing the productivity of modern technological processes.

Keywords: *optimal control, finite stiffness elements, manipulator, angular acceleration.*

Целью исследований является обоснование и разработка моделей динамики объектов с элементами конечной жесткости с привлечением алгоритма решения полных обратных задач вариационного исчисления. Теоретическое и экспериментальное исследование быстрого оптимального вращения элемента конечной жесткости в 3D-принтере. Сконструированы и исследованы целенаправленные переносные поступательные и вращательные движения упругих объектов. Впервые выполнена экспериментальная проверка быстрого вращения элемента конечной жесткости с достижением состояния абсолютного покоя в конце движения.

Выявлены характерные особенности моделирования движения систем с элементами конечной жесткости, наличие которых порождает колебания системы и влияет на качество изделий. Для реализации перемещения объектов найдено приемлемое минимально возможное время среди общих корней моментных соотношений (системы трансцендентных уравнений).

Формирование изделия осуществляется за конечное время путем транспортирования и трансформирования материального потока.

Алгоритм конструирования движения (например, разгон-торможение) упругого объекта иллюстрируется на примере упругой системы с одной степенью свободы. Уравнение, абсолютного движения упругого объекта (по отношению к неподвижной системе xoy , Рис. 3) имеет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -c x_r, \quad (1)$$

где: $x(t) = x_r + S_e(t)$, x_r – перемещение массы m в относительном движении (упругие колебания), $S_e(t)$ – в переносном движении, c – коэффициент жесткости. С учетом $\ddot{x}(t) = \ddot{x}_r + \ddot{S}_e$ из (1) следует уравнение, относительного движения:

$$\ddot{x}_r + k^2 x_r = -\ddot{S}_e,$$

где $k = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – частота собственных колебаний. Для переносного движения

$\frac{d^2 S_e}{dt^2} = U_e(t)$, ускорение (управление) как $U_e^*(t) = \sum_{i=1}^4 C_i t^{i-1}$, где $C_i = \text{const}$, найденные с

использованием краевых условий и косой симметрии: $U_e^*(0) = a$, $U_e^*(T) = -a$;
 $\int_0^{T/2} U_e^*(t) dt + \int_{T/2}^T U_e^*(t) dt = 0$, $\dot{U}_e^*(T/2) = 0$. Переносное ускорение (управление) принимает вид

$$U_e^* = \frac{a}{T^3}(T-2t)^3, \quad S_e^*(t) = \frac{a \cdot t^2}{10T^3} (5T^2 - 10t \cdot T^2 + 10t^2 \cdot T - 4t^3), \quad (2)$$

где $a = 10L/T^2$. Функция $U_e(t)$ – решение уравнения Эйлера $\frac{d^4 U_e(t)}{dt^4} = 0$, для которого

восстановлен функционал-критерий $J_* = \int_0^T [\ddot{U}_e^*(t)]^2 dt$. На Рис.1 изображены

графики переносного движения для двух функционалов-критериев. Время движения находится из моментных соотношений – равенства нулю перемещения и скорости в относительном движении ($t=T$, $x_r(T)=0$, $\dot{x}_r(T)=0$). Моментные соотношения в случае критерия $J = \int U_e^2 dt$ известного управления

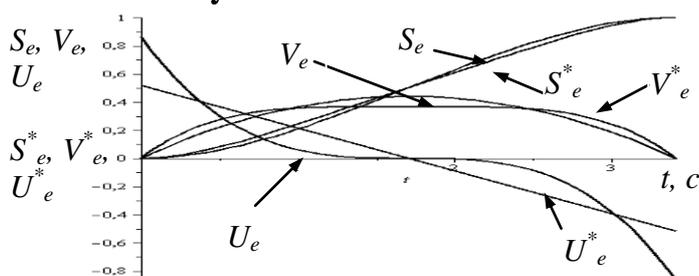


Рис. 1 – Графики переносного движения объекта

$$J = \int_0^T U_e^2(t) dt, \quad J_* = \int_0^T [\ddot{U}_e^*(t)]^2 dt$$

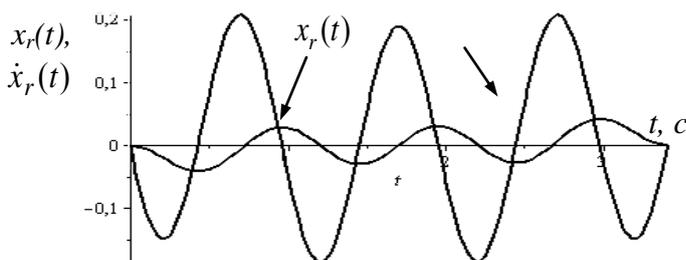


Рис. 2 – Графики относительного движения

$$x_r(t), \quad \dot{x}_r(t)$$

в относительном движении упругого объекта.

В случае функционала-критерия J_* для $t=T$, $k = 2\pi/T_1$, $T_1 = T/n$, где T_1 – период колебаний упругого объекта, моментные соотношения ($X_r(T)=0$, $\dot{X}_r(T)=0$) представляют собой систему трансцендентных уравнений:

$U_e = \frac{6 \cdot L}{T^2} \left(1 - \frac{2T}{T}\right)$ образуют систему трансцендентных уравнений:

$$\begin{aligned} \sin(2\pi n) - \cos(2\pi n)\pi n - \pi n &= 0, \\ \cos(2\pi n) + \sin(2\pi n)\pi n - 1 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Общее время движения $T = \frac{2\pi n}{k}$, где $n = const$.

Кососимметричные ускорения обеспечивают перемещение упругих объектов за приемлемое минимально возможное время в состоянии абсолютного либо относительного покоя без дополнительных средств подавления колебаний, т.е. предполагают такое $U_e(t)$, при котором достигается цель движения и выполняются моментные соотношения

$$\begin{aligned} X_r(T) &= 3 \sin(2\pi n) \pi^2 n^2 - 6 \sin(2\pi n) - \cos(2\pi n) \pi^3 n^3 + 6 \cos(2\pi n) \pi n - \pi^3 n^3 + 6\pi n = 0, \\ \dot{X}_r(T) &= 3 \cos(2\pi n) \pi^2 n^2 - 6 \cos(2\pi n) + \sin(2\pi n) \pi^3 n^3 - 6 \sin(2\pi n) \pi n - 3\pi^2 n^2 + 6 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

При релейном управлении для углового ускорения использована функция:

$$\varepsilon_e(t) = \varepsilon_0 (H(t) - 2H\left(t - \frac{T}{2}\right) + H(t - T)), \quad \text{где } H = \text{Heviside}. \quad (5)$$

Экспериментальная установка принята на базе робота Mitsubishi MELFA RV-1A, а получение данных об ускорении конца стержня организовано с помощью Arduino Mega и присоединенного к нему модуля GY-521. Программирование робота выполнено в среде COSIROP на языке MELFA BASIC IV. К механическому интерфейсу кисти (ось J6) робота жестко прикреплен экспериментальный образец (Рис.3).



Рис.3 – Экспериментальный стенд для исследования вращения стержня

Относительные перемещения конца стержня описывается уравнением

$$\frac{d^2 W_1}{dt^2} + k^2 W_1 = -L_1 E_0 \cos pt. \quad (6)$$

Результаты измерений ускорения конца консоли сведены к массиву $A [1..21]$ с шагом $\Delta t = 0,055$ с. Для аппроксимации (по способу наименьших квадратов) использовалась функция

$$U_e(t) = -B \sin pt - C \sin kt, \quad (7)$$

где $B, C, p, k = \text{const}$, k – частота первого тона колебаний. Для сравнения экспериментальных результатов с эквивалентным релейному гармоническим воздействием принята функция $U_e^*(t) = E \sin(pt)$ с учетом условия

$$\int_0^{T/2} E \sin(pt) dt = \frac{E_0 T}{2},$$

где $T = \frac{2\pi}{p}$, $p = \frac{k}{4}$. В переносном движении с учетом

$\varphi_e(0) = 0$, $\omega_e(0) = 0$, $\varphi_e(T) - \varphi^* = 0$, где φ^* – конечный угол поворота, выражения для ускорения, угловой скорости и угла поворота:

$$U_e(t) = \frac{\varphi^* p^2}{2\pi} \sin pt; \quad \omega_e^*(t) = \frac{\varphi^* p}{2\pi} (1 - \cos pt); \quad \varphi_e(t) = \frac{\varphi^*}{2\pi} (1 - \cos pt).$$

Для относительного движение конца стержня принято $E^* = \frac{\varphi^* p^2}{2\pi} L_1$, $\varphi^* = \pi/2$.

При $t = T$ соответствует относительный покой $W_1(T) = 0$, $\dot{W}_1(T) = 0$, $\ddot{W}_1(T) = 0$. С учетом $\varphi^* = \frac{\pi}{2}$ и времени $T = 1,2$ график $U_e(t)$ и график $U_e^*(t)$ изображены на Рис.23.

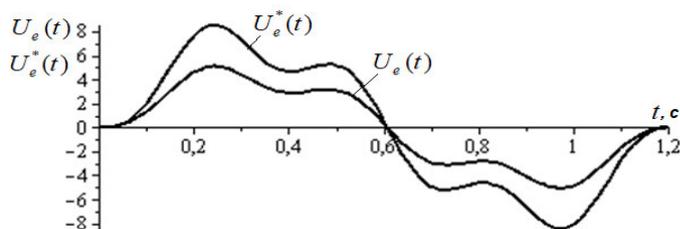


Рис 4. – Графики абсолютных экспериментального $U_e^*(t)$ и теоретического $U_e(t)$ угловых ускорений свободного конца стержня

Рис. 4 отражает характер изменения ускорений конца стержня при реальном движении, приближенной функции, и полученной с использованием встроенной процедуры MOV. Продемонстрирована эффективность синтезированного предложенного на основании математической модели опти-

мального углового ускорения для обеспечения покоя в конце хода на заданный угол.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили практическую возможность реализовывать кососимметричные управления вращением упругих объектов и систем конечной жесткости вокруг неподвижной оси, что позволяет сформировать обобщенный пример синтеза оптимального углового ускорения при вращении объекта конечной жесткости вокруг неподвижной оси с использованием робота Mitsubishi MELFA RV-1A.

Разработаны математические модели исполнительных манипуляторов, учитывающих конечную жесткость упругих элементов, их влияние на точность выполнения технологических операций послойного синтеза деталей.

На основе манипулятора Mitsubishi MELFA RV-1A разработан лабораторный экспериментальный стенд для анализа и реализации углового ускорения нежесткого элемента исполнительного органа манипулятора. Параметры математической модели и характер оптимального вращения объекта уточнены в ходе экспериментальных наблюдений. Впервые показано, что при быстром вращении удается в конце движения снизить (практически в 5-9 раз) колебания конца консоли, что демонстрирует согласованность эксперимента с результатами моделирования оптимального вращательного ускорения объекта конечной жесткости.

Результаты исследований использованы для изготовления экранирующих ЭМИ вентиляционных панелей. Повышена производительность технологического процесса (с 12 ч до 7,5ч) без потери качества изготавливаемых панелей.

Список литературы: 1. Бохонский А.И., Рыжков А.И. Оптимальное управление переносным движением нелинейных систем / А. И. Бохонский, А. И. Рыжков // Вісник СевНТУ. Серія : Механіка, енергетика, екологія. – 2014. – Вип. 147. – С. 15-19. 2. Бохонский А.И., Майстришин М.М., Рыжков А.И. Оптимальность конструируемых управлений перемещением объектов / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл: ФГБОУ ВО Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2017. – №3(323). – С.31-38. 3. Бохонский А.И., Рыжков А.И. Оптимальное управление манипулятором с упругой рукой / А.И. Бохонский, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл: ФГБОУ ВО Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2018. – №4-1(330). – С.73-79. 4. Бохонский А.И., Рыжков А.И. Использование телескопического манипулятора для оптимального перемещения объекта по прямой в пространстве / А.И. Бохонский, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл: ФГБОУ ВО Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2018. – №3(329). – С.29-35.

СОЗДАНИЕ НОВОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ
РЕКОНФИГУРАЦИИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ
ОПОРНОДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Арутюнян М.Г., Казарян С.Д., Закарян Н.Б., Саргсян Ю.Л., Верлинский С.В.

(NPUA, Yerevan, Armenia)

Tel.: +374(093)998840; E- mail: mharut@seua.am

Abstract: *The design guidelines and comparative analysis of statically balanced wearable assistive devices for human walking and sitting, as well their advantages, disadvantages and development prospects are presented. A new conceptual scheme of the exoskeleton with passive balancing during walking and sitting is described. The portability and compactness of the device are achieved by reducing the number of balancing elements. The application of new constructive solutions allows both to use the same elements for implementing various assistive functions and to switch the device into the required operation mode easier. The designed device can be used for assisting the motor functions of human musculoskeletal system or for its physiotherapy. Moreover, the used balancing approach is universal and can be applied not only for designing assistive devices, but also for any robotic device with leverage swinging links, in general.*

Keywords: *exoskeleton, assistive device, rehabilitation device, portability, static balancing, elastic element, spring*

Введение. Не взирая на существенный прогресс, наблюдающийся в последние годы в области реабилитационной робототехники, имеет место насущная необходимость разработки новых портативных экзоскелетонов, наилучшим образом отвечающих потребностям пользователя. В частности, важными стимулами для разработки новых экзоскелетонов являются высокая энергозатратность, ограничивающая время работы аккумулятора, большие габариты и вес, ограниченные адаптивность и реконфигурируемость известных устройств. При этом, существенно обеспечение динамической устойчивости экзоскелетонов, а также безопасности их в эксплуатации. Названные и ряд прочих не менее важных новых требований выдвигают новые исследовательские и инновационные инженерные задачи [1 - 6], от решения которых существенным образом зависят перспективы расширения применения робототехнических экзоскелетонов. Целью настоящей работы является разработка новой концептуальной схемы многоцелевого экзоскелетона с улучшенными энергозатратными, весовыми и прочими характеристиками, его оптимальное проектирование и создание макетного образца разработанного экзоскелетона. Работа выполнена в рамках научной тематики научно-исследовательской лаборатории “Робототехника” Национального политехнического университета Армении.

1. Многоцелевой реконфигурируемый экзоскелетон. Основными задачами концептуального проектирования нового экзоскелетона были обеспечение его функционирования в нескольких ассистивных режимах с использованием при этом минимального числа упругих уравнивающих элементов, а также упрощение и облегчение переналадки устройства на ходу самим пользователем, без посторонней помощи, что очень важно при перманентном пользовании им людей пожилого возраста и необходимости самостоятельной и оперативной переналадки. Авторами разработана новая структура многоцелевого реконфигурируемого экзоскелетона с гибкими элементами,

оценены его функциональные возможности, условия и ограничения проектирования. Разработаны также конструкция предложенного экзоскелетона и документация для изготовления его макетного образца. Ниже представлена концептуальная схема нового двухподвижного экзоскелетона для ходьбы и приседания человека, которая соответствует основным требованиям проектирования.

1.1. Экзоскелетон с 2-мя степенями свободы. Предложена новая схема многоцелевого устройства с упругими и гибкими элементами для ходьбы, приседания и фиксации человека в положении стоя (рис.1). Экзоскелетон обладает рядом преимуществ по сравнению с известными устройствами аналогичного назначения: портативностью, регулируемостью, малогабаритностью, универсальностью, эргономичностью и низкой себестоимостью.

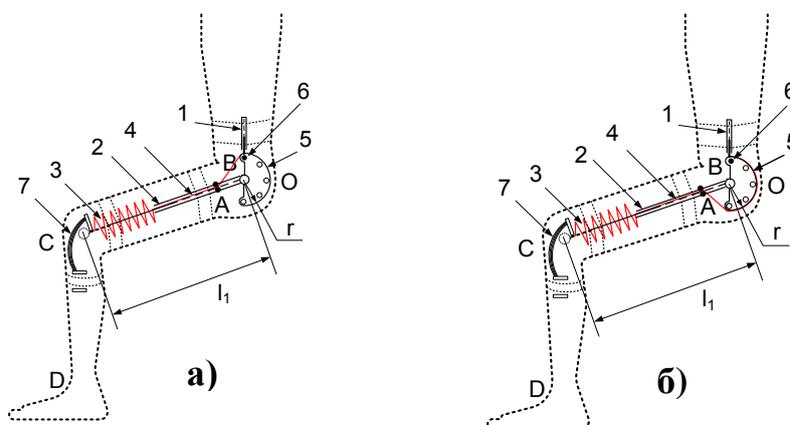


Рис. 1. Схема портативного двухподвижного экзоскелетона с полу-роликами и гибкими элементами: а - при ходьбе, б - при приседании

Экзоскелетон фиксируется на бедре и пояснице человека с помощью поясов, либо в карманчиках специальных ортопедических шортов. Пружина 3 устанавливается вдоль звена 2 и свободным концом с помощью троса 4 отводится к полу-ролику 5, который имеет позиционные отверстия для фиксации и дефиксации к звену 1 фиксатором 6. Позиционные отверстия на полу-ролике 5 выполняются в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от размера диаметра самого ролика, массы пациента, величин углов поворота ног при ходьбе и торса при приседании, типа и допустимого хода эластичного элемента, а также от требуемого дозирования реабилитационных нагрузок. Поворотом полу-ролика 5 по часовой, либо против часовой стрелки изменяется назначение эластичного элемента 3, и система служит ассистентом либо для ходьбы, либо для приседания человека. Введением в систему группы гибких пластин 7, которые крепятся одним концом к звену 2, а другим свободным концом при помощи ремней - к голени человека, обеспечивается статическое уравновешивание голени и стопы в сагитальной плоскости при ходьбе.

Таким образом, имеет место не только статическое уравновешивание ноги относительно тазобедренного сустава, но и голени со стопой относительно коленного сустава. В отличие от уравновешивающего момента, создаваемого эластичным элементом 3 в области тазобедренного сустава, уравновешивающий момент, создаваемый гибкими пластинами 7 в области коленного сустава, не надо перенаправлять при ходьбе или приседании, так указанные пластины функционируют в обоих случаях. Уравнеше-

вающий момент в области коленного сустава, содействуя моменту в области тазобедренного сустава, способствует уменьшению неуравновешенности тела человека при его приседании. Следует отметить, что здесь не приведены добавочные механизмы для обеспечения удобного контроля и позиционирования уравнивающей системы, которые могут быть механическими: в виде суперпозиционных роликов, редукционных зубчатых передач, или мехатронными: в виде контроллеров, датчиков, малогабаритных электромоторов и прочих актуаторов.

Выполнено моделирование статического уравнивания экзоскелетом в обоих режимах его работы. Гравитационный момент при ходьбе выражается:

$$M_{gw} = (0,5m_1 + m_{CD})l_1g \sin \varphi,$$

где m_1 – масса бедра и ортеза, m_{CD} – масса голени и стопы, l_1 – длина бедренного звена, g – гравитационная постоянная, φ – угловая координата бедра.

Гравитационный момент при приседании выражается:

$$M_{gs} = (0,5m_H - m_{CD} - 0,5m_1)l_1g \sin \varphi,$$

где m_H – масса человека. При этом, известно, что можно принять: $M_{gs} = 3M_{gw}$.

Уравнивающий момент при ходьбе выражается:

$$M_{bw} = F_{sw}r_1 = (F_{0w} + k\Delta l_{sw})r_1 = (\varphi_{0w} + \varphi)k\pi r_1^2/180,$$

где r_1 – радиус ролика, k – жесткость пружины, Δl_{sw} – рабочее удлинение, F_{sw} – развиваемое пружиной усилие, F_{0w} – предварительное усилие при намотке троса на ролик на угол φ_{0w} . Здесь имеем: $F_{0w} = \varphi_{0w}k\pi r_1^2/180$, $M_{0w} = F_{0w}r_1 = \varphi_{0w}k\pi r_1^3/180$.

Численный пример. При $m_H = 70$ кг, $m_1 = 10$ кг, $m_{CD} = 4,1$ кг, $l_1 = 0,4$ м, $r_1 = 0,05$ м, получаем: $M_{gw} \max = 36$ Нм, $k_{\max} = 9170$ Н/м, $F_{0w} = 480$ Н, $M_{0w} = 23$ Нм.

Для перевода устройства из одного режима в другой пользователем придется развить усилие, равное 480 кг, или его момент в 23 Нм, что создает значительную сложность, если не сказать, что без специального привода это невозможно.

С целью устранения этой проблемы было предложено новое конструктивное решение устройства с регулирующими ползунами.

1.2. Экзоскелетон с ползунами. Предложенная схема многоцелевого устройства с ползуном и гибкими элементами для ходьбы и приседания человека, отличающаяся от предшествующей регулирующим механизмом, представлена на рис.2.

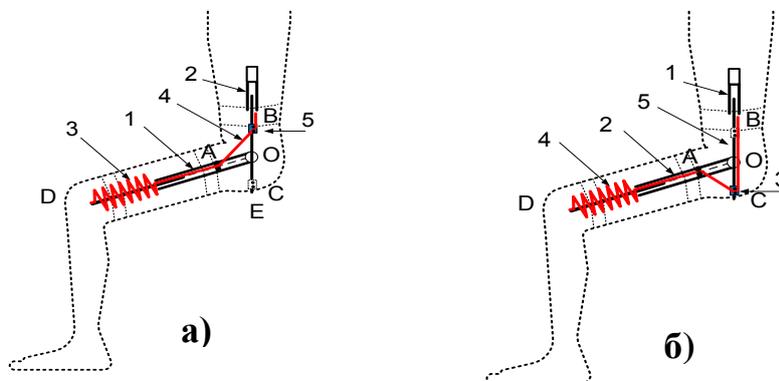


Рис. 2. Схема портативного экзоскелетона с ползунами:

а - при ходьбе, б - при приседании:

1, 2 – звенья, 3 – пружина, 4 – трос, 5 – регулирующий ползунный механизм

Здесь, подвижный конец пружины, соединенный с тросом, посредством последнего, проходящего через регулирующий ползун, прикреплен к поясничному звену. Ползун служит для переключения режимов работы устройства, что осуществляется в положении человека стоя, простым перемещением ползуна, без приложения каких-либо ощутимых усилий. Регулировки устройства производятся путем изменений в узле прохождения троса и его предварительного натяжения.

2. Конструкция портативного экзоскелетона с ползунами

На базе предложенной схемы была разработана конструкция макетного образца многоцелевого ассистивного устройства с ползуном и гибкими элементами для поддержания ходьбы и приседания человека, показанная схематически на рис.3.

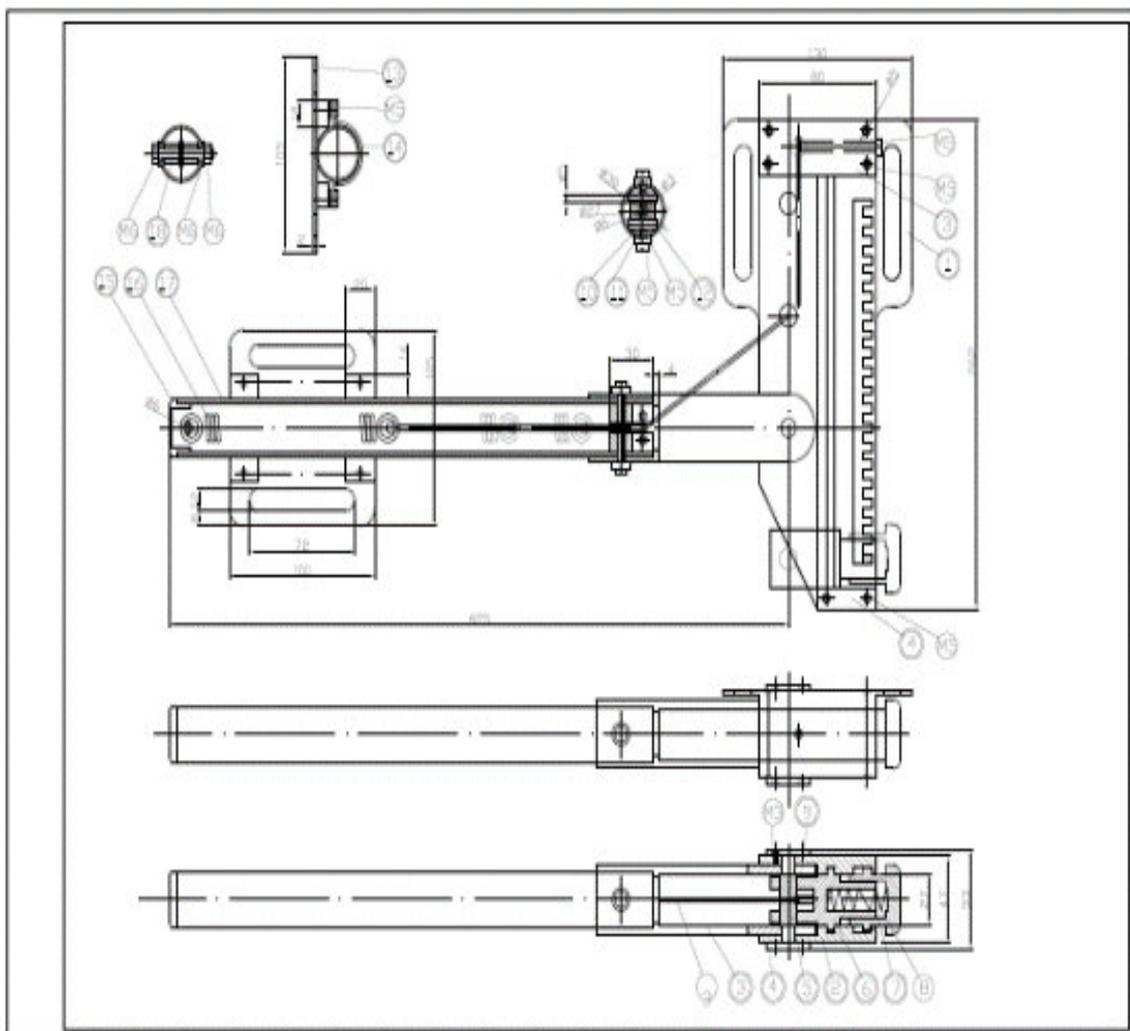


Рис. 3. Сборочная схема портативного экзоскелетона с ползунами

Заключение. Разработана новая схема регулируемого экзоскелетона, пассивно уравнивающего тело пользователя при приседании и ходьбе, с использованием ползунных регуляторов режима работы, обеспечивающих легкость переключения. Использование в конструкции цилиндрической пружины растяжения предполагает возможность реализации точной статической уравниваемости ноги при ходьбе и частичной уравниваемости тела при приседании.

Предлагаемое новое устройство может быть применено как для ассистирования опорно-двигательной системе человека, так и его физиотерапии. Более того, предложенный подход к проектированию достаточно универсален и может быть использован при проектировании не только ассистирующих, но и прочих манипуляционных устройств с рычажными качающимися звеньями.

На последующих этапах продолжающегося проекта предполагается подготовка макетного образца, экспериментальное исследование и испытание предлагаемого устройства.

Работа выполнена в рамках проекта 18Т-2D236, финансируемого Государственным комитетом по науке при Министерстве образования, науки культуры и спорта Республики Армения.

Список литературы: 1. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelyan V.H. Design concepts of quasi-static balanced multipurpose exoskeletons // Proceedings of Engineering Academy of Armenia, Issue 16, N 2 - Yerevan, 2013 - pp. 46-50. (Rus.) 2. Ghazaryan S.D., Arutyunyan M.G. Разработка конструкций портативного ортеза для ходьбы и приседания. // Вестник НПУА. “Механика, машиноведение, машиностроение”. – Ереван, 2017. – N2. – С. 43-52. 3. Ghazaryan S.D., Arutyunyan M.G. Development of a portable orthosis for human walking and sitting // Proceedings of National Polytechnic University of Armenia. Collection of scientific articles. - Yerevan, 2018. - N2. - p. 435-439 (Rus). 4. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G. The Design of Multi-purpose Portable Movable Orthosis // ROMANSY 2018. 22nd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, June 25-28, 2018, Rennes, France. - P. 296-303. 5. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelyan V.H. Design aspects of human movement assistance-rehabilitation means // Proceedings of the 1st International Conference MES-2018 MECHANICAL ENGINEERING SOLUTIONS. Design, Simulation, Testing and Manufacturing. September 17-19, 2018, Yerevan, ARMENIA. 6. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Zakaryan N.B., Arakelian V. (2020) // Design Concepts for Human Walking and Sitting Wearable Exoskeletons. In: Misyurin S., Arakelian V., Avetisyan A. (eds) Advanced Technologies in Robotics and Intelligent Systems. Mechanisms and Machine Science, vol 80. Springer, Cham. - P. 63-71.

АСИММЕТРИЧНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АА1050

Бахадиров К.Г., Сайдахмедов Р.Х. (ТГТУ, г.Ташкент, Узбекистан)

Тел: +998977241152; E-mail: bahadirov@gmail.com

Abstract: In this paper delivered the results of studies to determine the effect of various types of rolling on the tensile strength of aluminium sheet.

Key words: Asymmetric rolling, aluminium alloy, SPD

Основной задачей прокатки листового металла является уменьшение его толщины до нужного размера и улучшение механических и других свойств. Прокатка металлов является одним из видов интенсивных методов деформации. В последнее десятилетие предложены несколько видов интенсивных методов деформаций для получения металла со значительно мелкими зёрнами θ , из них самыми исследованными методами являются равноканальное угловое прессование (РКУП) θ и прессование с кручением θ . При пластической деформации, границы зёрен действуют как препятствие на движение дислокаций. Это приводит к возрастанию уровня нагрузки для осуществления пластической деформации.

Это означает, что изменение зёрен металла до субмикронного размера приведет к значительным улучшениям его механических свойств. Ультра мелкозернистые металлы иллюстрируют супер пластическое поведение $\theta\theta$, при определенной скорости и температуре деформации, которое используется с большим спросом в современных производствах.

Метод РКУП используется для получения наноструктурных металлов с высокой равномерной морфологией зёрен в виде брусков θ . Несмотря на то что, с помощью РКУП можно получить ультра мелкие размеры зёрен, этот метод ограничивается с малыми размерами образцов. Устранить это ограничение можно путем асимметрической прокатки.

При асимметрической прокатке при соответствующих условиях деформация сдвига располагается по толщине листового материала, которая приведет появлению субзёрен и их вращению. В зависимости от количества вложенной деформации асимметричная прокатка может привести к уменьшению размеров зёрен и развитию текстуры свойственную к сдвигающему деформацию, которая обычно связано с улучшением формообразуемости листового материала. Это явление изучено с несколькими авторами, используя разные металлы и сплавы также алюминий и его сплавы θ , магний и его сплавы θ и др.

Ким (Kim) и др. θ заключают, что идеальная сдвигающая деформация текстуры не получается при использовании односторонней асимметрической прокатки (ASRC). Но, можно получить с помощью с реверсивным направлением асимметрической прокатки (ASRC) в каждом проходе.

Использование асимметрической прокатки для получения мелкозернистых структур металлов является другой мотивацией для его изучения. Это подтверждается исследованиями некоторых авторов $\theta\theta$, где применение асимметрической прокатки уменьшит размеры зёрен до 2 мкм и меньше.

Изучение деформации грани центрированного кубического (ГЦК) кристалла при разных условиях показал, что кривую напряжения и деформации монокристалла можно разделить на три условные части (Рис. 1). Длина каждой порции зависит от ориентации кристалла, температуры и интенсивности деформации θ .

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Для монокристалла, первоначально ориентированного на простое скольжение, (часть I), характерно низкая скорость упрочнения. II часть характеризуется с линейным увеличением скорости упрочнения из за активации других систем скольжения и увеличения плотности дислокации. В последней, III части деформация после линейного упрочнения протекает по параболе. В процессе динамического восстановления, происходит самоаннулирование (аннигиляция) дислокаций

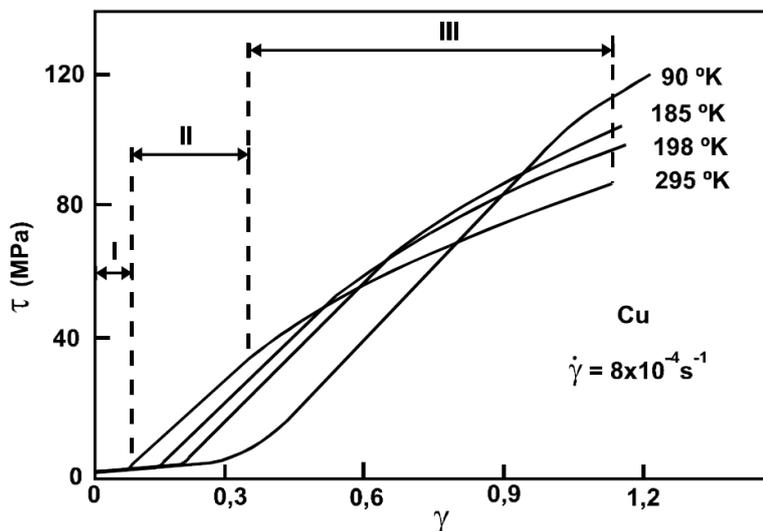


Рис. 1. Кривая нагрузки сдвига (τ)- натяжение, (γ)- монокристалла меди в разных температурах 0, $\dot{\gamma}$ - скорость деформации сдвига

Механические свойства поликристалла зависят от многих факторов, где параметры индивидуальных зерен играют главную роль. Включая их кристаллографические ориентации и локальные взаимодействия между соседними зернами из-за приложенной деформации.

Одним из самых важных параметров механической характеристики поведения поликристаллических металлов является формообразуемость, последнее определяется как способность на изменение формы при пластической деформации.

Формообразуемость листовых металлов не легкая задача в производстве, где основной целью является изготовление детали со специфическими требованиями к форме, размерам и внешнему виду. Формообразуемость сильно зависит от параметров материала как, кристаллографическая текстура и размеры зерен. Формообразуемость металла, кроме свойств, зависит от некоторых наружных параметров как скорость изменения направления деформации и температуры.

Механические свойства асимметрически и симметрически прокатанных алюминиевых образцов изучались с помощью одноосного испытания на растяжение в разных направлениях листового материала.

Для этой работы выбрано технически чистый листовой алюминий европейского образца 1050 с толщиной 3мм с химическим составом, приведенной на Таблица 1.

Таблица 1. Химический состав алюминиевого сплава AA1050

Элементы	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V
Содержание, %	0,089	0,280	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,005	0,011	0,016	0,007

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Асимметрическая и симметрическая прокатка листового чистого алюминия осуществлялись на установке, изготовленной на лабораторных условиях. Устройство имеет два цилиндра с одинаковыми размерами с диаметром 180мм, которые вращаются за счет двух независимых электродвигателей постоянного тока. Скорости вращения цилиндров контролируются, используя компьютер со специальным программным обеспечением. При традиционной прокатке эксперименты проводились при равных скоростях обеих цилиндров 15мин-1. При асимметрической прокатке верхний и нижний цилиндры вращались со скоростью 5мин-1 и 15мин-1, соответственно.

При всех экспериментах прокатки после каждого прохода уменьшение толщины образца составляло 15%. В результате, после 2, 4 и 6 проходов толщины образцов уменьшились на 28%, 48% и 62% соответственно.

Образцы, обработанные при симметричной прокатке (CR) всегда прокатывались в одном направлении. При асимметрической прокатке испытания осуществлялись в двух разных последовательностях: асимметричная последовательная (ASRC) и асимметрично реверсивная (ASRR) прокатки. При ASRC направления прокатки – RD оставался неизменным (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, а), а при ASRR образцы поворачивались на 180о вокруг RD после каждого прохода

Механические свойства образцов определялись до и после прокатки с помощью одноосного универсального устройство Shimadzu Autograph с максимальной допускаемой нагрузкой 50кН. Изменение длины и ширины образцов в течение испытаний измеряли используя бесконтактной видео экстензометр марки MFA-25.

Образцы для испытания на разрыв изготавливались шириной 10мм по ASTM (American Society of Testing Materials) на 0о, 45о, 90о от направления прокатки.

При сравнении показателей исходного материала с последовательной (ACRC) и реверсивной (ACRR) прокаткой видно, что имеется значительная разница в механических показателях в течение испытания на разрыв (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

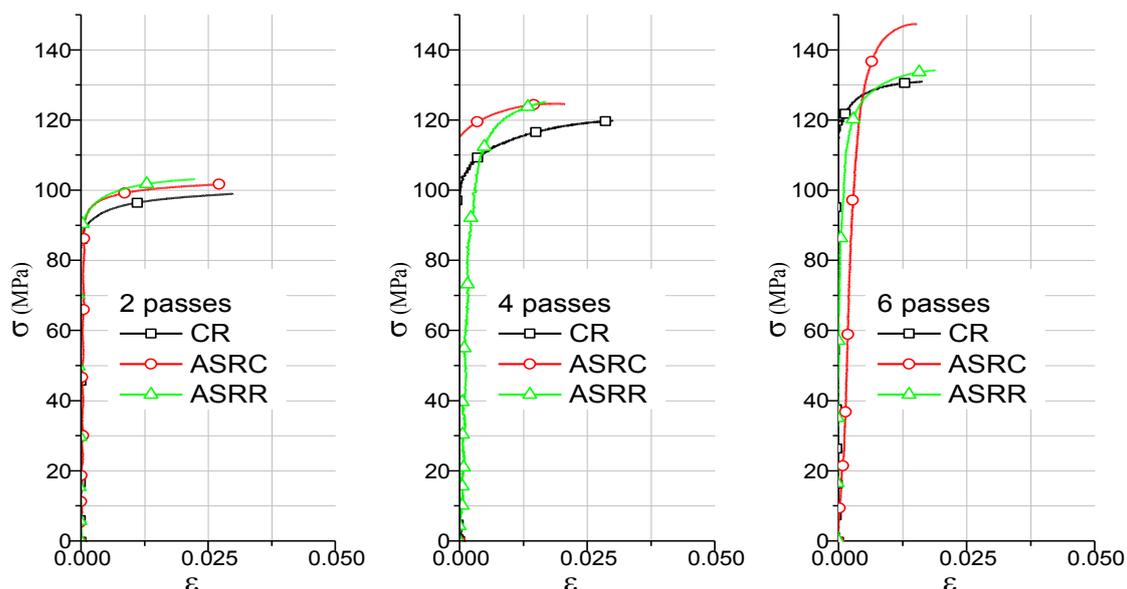


Рис. 2. Кривые истинного напряжения – деформации при 0о от направления прокатки: а) после 2 прокаток (28% редукации); б) после 4 прокаток (48% редукации) и с) после 6 прокаток (62% редукации)

А именно, наблюдается увеличение напряжения, одновременно с сильным уменьшением толщины листового материала при прокатке. После шести проходов прокатки (которое равняется на 62% редукации) однородная деформация уменьшается более чем на 2% для каждого образца и максимальное напряжение увеличивается до 130-150 МПа в зависимости от угла и испытания на разрыв и вида прокатки.

Необходимо подчеркнуть, что самое большое значение σ_{max} было получено на образцах, прокатанных путем асимметрично последовательным (ASRC) и самое низкое значение на образцах прокатанных традиционным (CR) путем. Причиной этой разницы может являться дислокация и кристаллографическая текстура, введенные в течение деформации при прокатке

ПЭМ изучения показали, что средний размер зерен листового материала до пластической деформации составлял 50 мкм. После 6 проходов симметричной и асимметричной прокатки из-за деформации появились суб-зерна, их средний размер уменьшился до 1-2 мкм и вырос плотность дислокаций в зернах. Надо отметить, что разница в микроструктурах после симметричной и асимметричной прокатки не замечается. Это означает, что не только микроструктура материала имел влияние на механические свойства, дополнительно влияло ориентация зерен, определить которому, надо провести рентгенографические исследования.

Список литературы: 1. Schmitt, J. H., E. L. Shen, et al. (1994). "A parameter for measuring the magnitude of a change of strain path: Validation and comparison with experiments on low carbon steel." *International Journal of Plasticity* 10(5): 535-551. 2. Valiev, R. Z. and T. G. Langdon (2006). "Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement." *Progress in Materials Science* 51(7): 881-981. 3. Zhilyaev, A. P. and T. G. Langdon (2008). "Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications." *Progress in Materials Science* 53(6): 893-979. 4. Lopes, A. L. B. (2001). *Análise microestrutural das instabilidades plásticas em materiais metálicos*, Aveiro. PhD: 227. 5. Akamatsu, H., T. Fujinami, et al. (2001). "Influence of rolling on the superplastic behavior of an Al-Mg-Sc alloy after ECAP." *Scripta Materialia* 44(5): 759-764. 6. El-Danaf, E. A., M. S. Soliman, et al. (2007). "Enhancement of mechanical properties and grain size refinement of commercial purity aluminum 1050 processed by ECAP." *Materials Science and Engineering: A* 458(1-2): 226-234. 7. Hwang, Y.-M. and G.-Y. Tzou (1997). "Analytical and experimental study on asymmetrical sheet rolling." *International Journal of Mech. Sciences* 39(3): 289-303. 8. Huang, X., K. Suzuki, et al. (2009). "Microstructural and textural evolution of AZ31 magnesium alloy during differential speed rolling." *Journal of Alloys and Compounds* 479(1-2): 726-731. 9. Kim, K. H. and D. N. Lee (2001). "Analysis of deformation textures of asymmetrically rolled aluminum sheets." *Acta Materialia* 49(13): 2583-2595. 10. Zuo, F.-q., J.-h. Jiang, et al. (2008). "Shear deformation and grain refinement in pure Al by asymmetric rolling." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 18(4): 774-777. 11. Jiang, J., Y. Ding, et al. (2009). "Mechanical properties and microstructures of ultrafine-grained pure aluminum by asymmetric rolling." *Scripta Materialia* 60(10): 905-908. 12. Karaman, I., H. Sehitoglu, et al. (2000). "Modeling the deformation behavior of Hadfield steel single and polycrystals due to twinning and slip." *Acta Materialia* 48(9): 2031-2047. 13. Sestak B., (1979) *Proc. 5th Int. Conf. On the Strength of Metals and Alloys*, Aachen, Germany, p. 1461.

УДК 519.6:681.51

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гордисов А.В., Хозяев И.А., Яценко О.В. (каф. ТТиПП, ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия)

***Аннотация :** Разработана модель отказов и восстановлений многоэлементной системы. Эксперименты с моделью позволили выявить основные закономерности отказов, а также связи между критичными показателями надежности. Установлено, что время простоя пропорционально стоимости ремонта, а нормальная эксплуатация системы возможна лишь ограниченный срок. Оценены числовые показатели надежности модельной системы из пяти элементов.*

***Ключевые слова:** отказы, наработка, восстановление, статистические показатели, надежность, имитационное моделирование.*

Недостаточная надежность ТС приводит к увеличению доли эксплуатационных затрат по сравнению с общими затратами на проектирование, производство и применение этих систем. При этом стоимость эксплуатации ТС может во много раз превзойти стоимость их разработки и изготовления. Кроме того, отказы ТС приводят различного рода последствиям: потерям информации, простоям сопряженных с ТС других устройств и систем, к авариям и т.д.

Надежность ТС определяется надежностью комплектующих элементов. Поэтому знание основных вопросов надежности элементной базы является в настоящее время необходимым условием создания конкурентных изделий сложной техники. Наряду с этим необходимо уметь верно прогнозировать поломки и иные отказы технических систем, опираясь на информацию о надежности их элементов.

Эффективным подходом к оценке надежности сложной техники является имитационное моделирование в рамках концепции «дерева отказов» [1]. Идея подхода состоит в том, что отказ каждого элемента является случайным процессом с известными статистическими характеристиками, а разного рода сбои в работе системы являются следствием единичных или множественных (как независимых, так и взаимосвязанных) отказов элементов. Практически реализовать описанный подход удалось лишь с появлением современной вычислительной техники. В частности, многие производители реализуют возможности создавать сложные технические изделия с заданной надежностью [2].

Однако, несмотря на определенные успехи, здесь имеются проблемы как научного, так и коммерческого свойства. К научным следует отнести задачи выявления слабых мест в проектируемых изделиях на основе знаний их структуры, функций и надежности элементов. Коммерческая тайна во многих случаях препятствует решать научную задачу оптимизации изделия по критерию надежности тем, что ключевые сведения о статистике отказов элементов (деталей, узлов, агрегатов и т.д.) не являются общедоступными.

Отсюда следует актуальность цели данной работы – создания эффективных алгоритмов имитации отказов, восстановлений и стоимости ремонта сложных технических устройств, опирающихся на известные характеристики надежности их элементов [1-3]. Принципиальным отличием нашего подхода видится возможность использовать его как для решения спектра конкурирующих прямых задач надежности

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

(схемно-конструктивная оптимизация изделий при проектировании), так и для решения задач обратных, т.е. выявления слабых мест техники в части отказов и ремонтнопригодности.

Разработанный для оценки надежности и ремонтнопригодности систем алгоритм включает следующие модули: 1) расчета параметров, соответствующих событию (времени отказа, длительности и стоимости восстановления); 2) накопления статистики событий и вычисления средних показателей надежности и ремонтнопригодности; 3) графического и табличного представления результатов. Алгоритм разработан в среде PascalABC и имеет удобный пользовательский интерфейс. Предусмотрены различные модельные закономерности случайных процессов (момент отказа, время восстановления, стоимость ремонта и др. издержки простоя) – равномерное, нормальное, экспоненциальное [3], что позволяет выполнять сравнительные компьютерные эксперименты и делать выводы о предпочтительности той или иной статистики для совокупной надежности системы. Модуль накопления и статистической обработки позволяет имитировать различное число критичных событий – от десятка до миллионов. Это позволяет фиксировать в компьютерных экспериментах отказы даже самых надежных элементов системы. Базовый вид графического модуля ориентирован на поисковые цели, однако его не трудно переработать для решения конкретных производственных задач.

В качестве примера рассмотрим отказы машины, состоящей из пяти последовательно соединенных элементов, параметры надежности которых приведены в таблице. Для простоты распределение всех случайных величин в этой таблице будем считать равномерным. Изучим статистику отказов и ремонтов нашей машины в течение различных сроков эксплуатации, имитируя поломки, ремонты и накапливая соответствующие интегральные показатели. К ним относятся, прежде всего, время простоев вследствие ремонта и стоимость восстановления.

Результаты соответствующих расчетов для системы с параметрами согласно таблице показаны на рис. Левый фрагмент этого рисунка отражает связь времени восстановления и общего периода эксплуатации машины, а правый связь длительности простоя со стоимостью ремонта. Представленные данные свидетельствуют о двух важных фактах. Во-первых, продолжительность ремонта сначала линейно, а начиная с некоторого момента квадратично зависит от длительности эксплуатации оборудования. Соответственно существует некоторый критический срок эксплуатации T_{\max} , дольше которого рассматриваемую технику использовать нецелесообразно. Во-вторых, имеется четкая линейная связь между временем простоя оборудования и стоимостью его ремонта. Это позволяет органично соединить два критерия надежности, состоящие в минимизации простоя оборудования и ремонтных затрат.

Обобщить количественные результаты выполненных компьютерных экспериментов с моделью позволяют аппроксимирующие зависимости, связывающие продолжительность эксплуатации оборудования со временем его ремонта

$$T_{\text{рем}} = 0.2 T_{\text{экспл}} + 0.001 T_{\text{экспл}}^2 \text{ [ч]}, \quad (1)$$

а также стоимость и длительность восстановления

$$C_{\text{рем}} = 13.5 T_{\text{рем}} \text{ [руб.]}. \quad (2)$$

Эмпирические зависимости (1) и (2) приведены на рис. сплошными линиями.

Математический анализ задачи показывает, что критическому сроку эксплуатации оборудования T_{\max} отвечает значение, при котором первое и второе слагаемые в правой части (1) сравниваются между собой. Т.е. в нашем случае $T_{\max} = 200$ часов.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

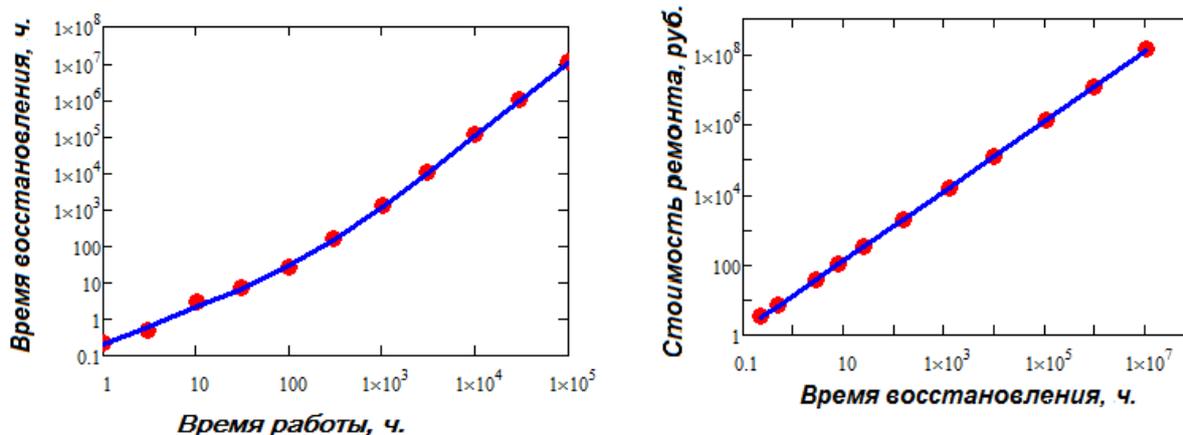


Рис.1. Зависимость времени ремонта от срока эксплуатации оборудование (слева), и связь стоимости ремонта с его продолжительностью. Точки – результат непосредственной компьютерной имитации, сплошные линии – согласно моделям (1) - слева и (2) – справа.

Таблица 1- Показатели надежности и ремонтпригодности элементов

Параметр	Деталь	1	2	3	4	5
Наработка на отказ, ч.		300	500	700	440	250
СКО* наработки на отказ, ч.		100	150	200	170	130
Среднее время восстановления, ч.		90	50	70	60	80
СКО времени восстановления, ч.		45	25	35	15	55
Средняя стоимость ремонта, руб.		1000	1200	3000	1000	2000
СКО стоимости, руб.		200	250	500	200	100

СКО*- среднее квадратичное отклонение

Сконструирована и реализована имитационная модель отказов и восстановлений многоэлементной технической системы. Путем компьютерных экспериментов с моделью выявлены основные закономерности отказов и связи между критичными показателями совокупной надежности. Установлено, что время простоя пропорционально стоимости ремонта, а нормальная эксплуатация системы возможна лишь ограниченный срок, за пределами которого постоянные множественные отказы делают дальнейшую эксплуатацию оборудования существенно не рентабельной. Оценены числовые показатели надежности пятиэлементной системы в рамках разработанной модели.

Список литературы: 1. Горский Л.К. Статистические алгоритмы исследования надежности: книга. – М.: Наука, 1970. – 400 с. 2. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007. – 278 с. 3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М., 1969 – 576 с.

ВЛИЯНИЕ РАССЛОЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ
МНОГОСЛОЙНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ

д.т.н. Шайдурова Г.И.^{1,2}, д.т.н. Бульбович Р.В.², Ознобишин А.Б.¹, Рогожникова Е.Н.^{1,2} (¹ПАО НПО «Искра» г.Пермь, ² ФГБОУ ВО «ПНИПУ», г. Пермь, Россия)
Тел. +7 (342) 262 73 59; E-mail: rogoznikova@59.ru

Abstract: *In the article there is analyzed delamination effect in nonuniform multilayered composite structure upon defected mode under static loading. Based on the study of the stratification of more than 200 objects, probabilistic diagrams of the distribution of discontinuities for the front and rear junction nodes are constructed. An optimal model has been developed for numerical calculation of the stress-strain state of a large multi-layer structure made of dissimilar materials, the error of which is minimal in comparison with experiments.*

Key words: *composite (material), strength, delamination, finite element method (FEM), mode of deformation, cylindrical shell, defects*

В настоящее время для изготовления тонкостенных оболочечных конструкций ракетно-космической техники, к которым предъявляются определенные требования по прочности, жесткости и другим эксплуатационным характеристикам, широко применяют композиционные материалы (КМ). В КМ могут возникать различного рода дефекты, связанные с нарушением целостности и однородности. Особую опасность для тонкостенных оболочечных конструкций, работающих на растяжение и под давлением, представляют дефекты в виде когезионных расслоений. Эти дефекты вызваны особенностями технологических процессов и механических характеристик материала. Они возникают вследствие низкого сопротивления слоистых КМ межслоевому сдвигу и поперечному отрыву, как на стадии изготовления изделия, так и в процессе его эксплуатации [1]. В связи с этим актуальной проблемой является разработка методов расчета, позволяющих учесть и оценить влияние таких дефектов на напряженно-деформированное состояние (НДС), а также аргументировать требования к нормам дефектности. Целью данной работы является анализ влияния расслоения на работоспособность многослойной композиционной оболочки. При этом сформулированы следующие задачи:

1. Провести статистический анализ более 200 корпусов;
2. Разработать оптимальную модель для численного расчета НДС, погрешность которой, по сравнению с экспериментом, минимальна;
3. Проанализировать влияния расслоения на работоспособность многослойной композиционной цилиндрической оболочки.

Появление несплошностей, очевидно, следует отнести к стохастическим явлениям, подчиняющимся своим закономерностям, знание которых необходимо для получения количественных оценок расслоений композиционного материала и последующего учета их для оценки НДС пластикового корпуса. Для оценки распределения расслоения был проведен статистический анализ несплошностей при изготовлении отверстий под штифто-шпилечное соединение на переднем и заднем узлах стыка более 200 объектов и построены диаграммы распределения несплошностей.

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Анализируя полученные данные для конструкций узлов стыков, можно сделать вывод о необходимости исследования влияния технологических напряжений на появление расслоений в области штифто-шпилечного соединения.

В связи с тем, что технологические напряжения появляются в деталях на стадии формования в результате действия на полуфабрикат полимерного материала внешних сил, теплового воздействия, физических и химических процессов (кристаллизация, отверждение), которые не одновременно протекают в материале и, как правило, сопровождаются изменением объема. После завершения указанных физических и химических процессов в конструкции появляются остаточные напряжения, которые действуют в течение всего срока предстартовой эксплуатации, улучшая или ухудшая эксплуатационные характеристики [2].

Согласно [3, 4, 5] при механической обработке (сверлении) деталей из КМ возникают дефекты, такие как отслоение и вырыв волокна. Из-за данных дефектов резко снижаются потенциальные возможности сформированной материальной структуры противодействовать усталостным напряжениям, что приводит к снижению ресурса конструкции и увеличивает вероятность появления отказа оборудования в процессе эксплуатации.

НПО Искра совместно с ПНИПУ разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния крупногабаритной многослойной конструкции из разнородных материалов, позволяющая проводить численное исследование влияния расслоений на несущую способность корпусов РДТТ.

Программное обеспечение методики было верифицировано расчётами НДС корпуса (рис. 1), представляющего собой крупногабаритную многослойную конструкцию из разнородных материалов. В качестве нагрузки, действующей на корпус рассматривалось внутреннее давление. В конечно-элементную модель корпуса специально вводилось расслоение, соответствующее практическим значениям уровня несплошности материала.

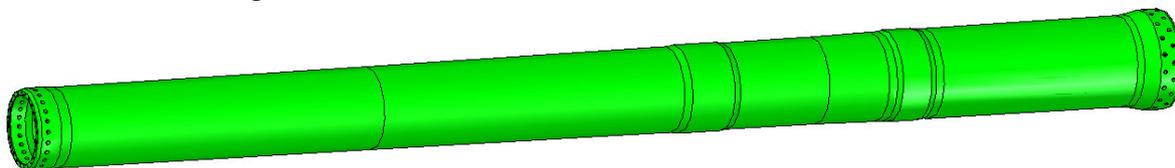


Рис. 1. Конструкция корпуса

Во время проведения гидроиспытаний крупногабаритной многослойной конструкции ее оболочка находится в сложном напряженно-деформированном состоянии, характеризующимся изменением размеров поверхностей и толщин по отношению к исходным геометрическим размерам, в результате чего в оболочке наблюдается стесненный сдвиг в меридиональном направлении. При проведении испытаний оценивалось влияние расслоений на снижение предела прочности на переднем и заднем узлах стыка.

Для проведения численного расчета НДС были построены три геометрические модели в специализированном инженерном пакете САД-систем. Модель 1 построена в соответствии со схемой армирования конструкции без расслоений. 3D-модель корпуса разбита на сектора, согласно схеме армирования, с отличающимися физико-механическими характеристиками (рис. 2). Для каждой области механические характеристики рассчитывались отдельно. Для расчета механических характеристик отдельных областей композитной конструкции использовались математические модели

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

и компьютерные программы для упругих механических свойств однонаправленного и слоистого композиционного материала.

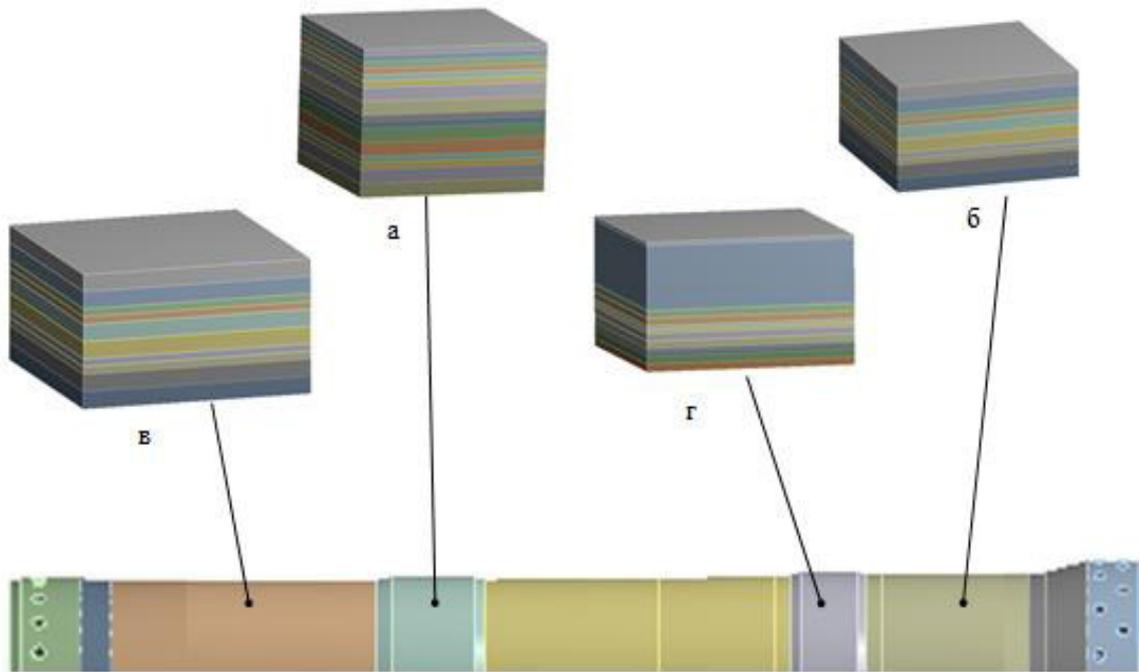


Рис. 2. (а – б спиральных слоев с углами укладки $[+27/-27]$ и 10 кольцевых слоев; б – 6 спиральных слоев с углами укладки $[+26/-26]$, $[+27/-27]$, $[+28/-28]$ и 4 кольцевых; в – 6 спиральных слоев с углами укладки $[+26/-26]$, 15 кольцевых слоев и 4 пакета ткани; г – 6 спиральных слоев с углами укладки $[+28/-28]$, 5 кольцевых слоев и пакет ткани из 18 слоев)

В соответствии с методом локального приближения для прогнозирования упругих механических свойств волокнистых композитов рассматривались краевые задачи для фрагментов структурно-неоднородной среды. В качестве моделей среды рассматривались структуры с тетрагональной укладкой волокон. Краевая задача осуществлялась на фрагментах моделей, содержащих волокно в центре и ближайший слой окружения (элементарная ячейка).

Для получения свойств многослойной конструкции использовались модули расчёта эффективных упругих характеристик слоистых пакетов, секторов крупногабаритной многослойной конструкции из разнородных материалов. Для расчета эффективных упругих характеристик построены слоистые модели из органопластика для секторов приведены на рисунке 2. В областях соприкосновения скрепленных элементов сборки задавался идеальный контакт. В местах расслоений между элементами конструкции задавались контактные граничные условия без трения.

Решение поставленной задачи осуществлялось методом конечных элементов с использованием многопроцессорного программного комплекса. Для построенных конечно-элементных моделей разработаны граничные условия, которые соответствуют схеме нагружения и закрепления конструкции при проведении прямо-сдаточных испытаний. Нагружение корпуса осуществляется внутренним избыточным давлением и осевой силой.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Верификация разработанной математической модели проводилась сравнением результатов численного моделирования НДС крупногабаритной многослойной конструкции из разнородных материалов с результатами испытаний.

В таблице 1 представлены результаты верификации (результаты испытаний и численных расчётов) по деформативным характеристикам исследуемой конструкции.

Таблица 1 – Результаты испытаний и численных расчетов

Верифицируемая деформационная характеристика	Испытание	Расчёт
Максимальное увеличение диаметра, мм	4,09	3,8
Удлинение корпуса, мм	-0,74	-0,68

После получения сходимости численного и экспериментального исследования результаты граничных условий переносились на усеченные модели (рис. 3).

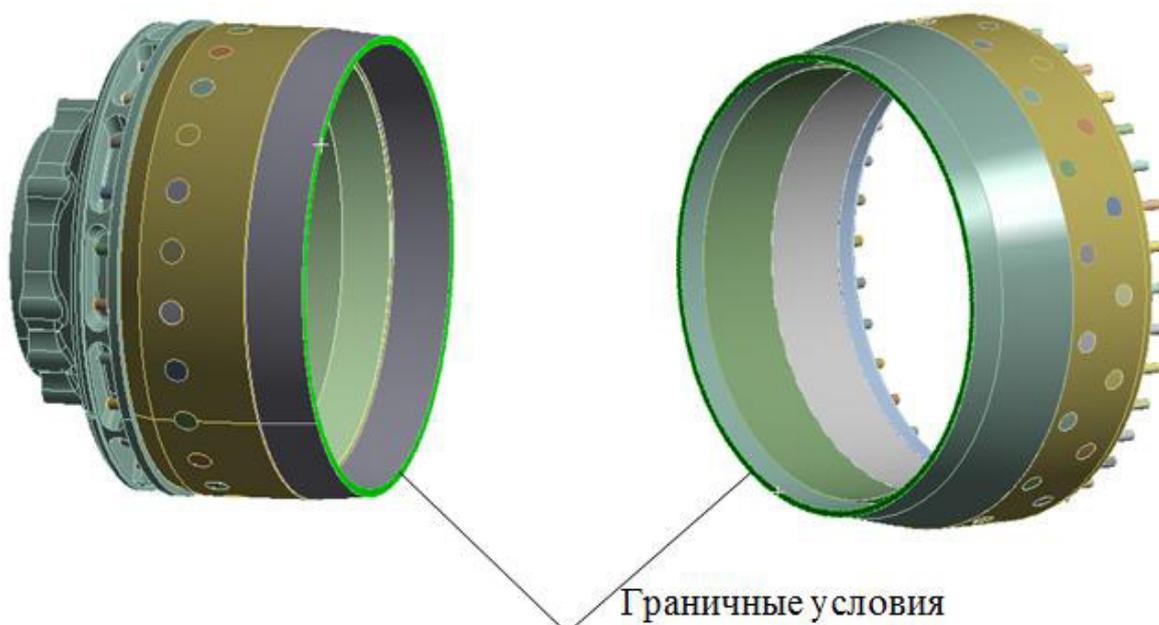


Рис. 3.

С использованием разработанной модели был проведён анализ влияния расслоения на НДС корпуса. Дефект в виде расслоения задавался в районе переднего и заднего узлов стыка. При этом коэффициент несплошности k принимал в конструкции следующие значения: 0 (стыки без расслоений); 0,01 0,042; 0,06; 0,08 и 0,17. Для сокращения времени счёта и исключения нелинейных конечных элементов дефект в виде расслоения моделировался через раскреплённое контактное граничное условие.

Дефект в виде расслоения, с одной стороны, приводит к снижению механических характеристик материала, а с другой стороны, приводит к концентрации напряжений в зоне расслоения. Суммарный эффект от расслоения выражается в увеличении соответствующих напряжений, характеризующих состояние нагруженной конструкции, и соответственно, снижение её несущей способности. Снижение несущей

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

способности в определённом направлении можно охарактеризовать соответствующим коэффициентом $k_{\sigma i}$

$$k_{\sigma i} = 1 - \frac{\Delta\sigma_{\text{рассл } i}}{\sigma_{\text{б/р } i}}, \quad (1)$$

где $\Delta\sigma_{\text{рассл } i} = \sigma_{\text{рассл } i} - \sigma_{\text{б/р } i}$ – снижение несущей способности конструкции в i -том направлении, вызванное расслоением; $\sigma_{\text{рассл } i}$, $\sigma_{\text{б/р } i}$ – рассматриваемое максимальное напряжение в соответствующем i -том направлении в конструкции с расслоением и без расслоения соответственно.

Таблица 2 – К анализу результатов влияния расслоения на напряженное состояние

k	0	0,01	0,042	0,06	0,08	0,17
$\bar{\sigma}$	1,000	0,995	0,983	0,977	0,972	0,956
σ_x , МПа	189,04	190,37	193,13	195,4	197,9	200,7
σ_y , МПа	778,32	780,57	806,82	814,01	817,97	826,47
σ_z , МПа	282,63	283,17	285,71	286,15	288,8	298,26
$k_{\sigma x}$	1,000	0,993	0,978	0,972	0,953	0,938
$k_{\sigma y}$	1,000	0,997	0,963	0,954	0,949	0,938
$k_{\sigma z}$	1,000	0,998	0,989	0,988	0,978	0,944
$k_{\sigma \text{ ср}}$	1,000	0,996	0,977	0,971	0,960	0,940
ε , %	0	+0,10	-0,61	-0,62	-1,25	-1,70

В таблице 2 приведены рассчитанные экстремальные значения напряжений в соответствующих направлениях σ_x , σ_y , σ_z , для различных значений коэффициента несплошности конструкции, соответствующие им коэффициенты $k_{\sigma x}$, $k_{\sigma y}$, $k_{\sigma z}$, характеризующие снижение несущей способности конструкции, а также значения относительного предела прочности $\bar{\sigma}$, рассчитанного для заданных значений коэффициента несплошности по формуле

$$\bar{\sigma} = 0,9990 - 0,4622k + 1,8203k^2 - 3,5585k^3 \quad (2).$$

Зависимость относительного предела прочности от коэффициента несплошности получена экспериментально по результатам испытаний.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что коэффициенты, характеризующие снижение несущей способности конструкции $k_{\sigma x}$, $k_{\sigma y}$, $k_{\sigma z}$ практически инвариантны, и снижение несущей способности конструкции можно характеризовать некоторым средним значением коэффициента $k_{\sigma \text{ ср}}$

$$k_{\sigma \text{ ср}} = \frac{k_{\sigma x} + k_{\sigma y} + k_{\sigma z}}{3} \quad (3)$$

Сопоставление значений $k_{\sigma \text{ ср}}$ и $\bar{\sigma}$ свидетельствует о достаточной близости этих параметров: расхождение не превышает 1,7 % для коэффициента несплошности 0,17.

Заключение

1. На основании исследования расслоения более 200 корпусов построены вероятностные диаграммы распределения несплошностей для переднего и заднего узлов стыка, которые формируют исходную информацию для проведения расчёта НДС с учетом несплошностей.

2. Разработана оптимальная модель для численного расчета напряженно-деформированного состояния крупногабаритной многослойной конструкции из разнородных материалов, погрешность которой, по сравнению с экспериментом, минимальна.

3. Численными исследованиями НДС корпуса с расслоениями подтверждено, что относительное снижение несущей способности конструкции инвариантно относительно направлений действия напряжений и эквивалентно снижению относительного предела прочности от коэффициента несплошности.

Список литературы: 1. Будилов, И. Н. Расчет силовых и энергетических параметров разрушения в области вершины трещины в обечайке теплообменного аппарата / И. Н. Будилов // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2016. – Т.20, № 2 (72). – С. 3-10. 2. Бохоева, Л. А. Определение критических нагрузок с помощью энергетического критерия устойчивости для локального круглого дефекта /Л. А. Бохоева, В. Е. Рогов, А. С. Чермошнцева // Системы. Методы. Технологии. – Братск : Братский государственный университет, 2014. №4 (24). – С. 32 – 37. 3. Гагауз, Ф. М. Проблемы технологии формирования соединительных узлов конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов / Ф. М. Гагауз // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сборник научных трудов. ХАИ. – 2012. – № 4 (72). – С. 15-20. 4. Макаров, В. Ф. Оптимизация процесса обработки высокотехнологичных композиционных материалов методом фрезерования / В. Ф. Макаров, А. Е. Мешкас, В. В. Ширинкин // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий : материалы VII Всероссийской науч.-техн. конф. (Уфа, 23-24 марта 2017 г.) / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, – С. 9 – 17. 5. Макаров, В. Ф. Технологии, позволяющие повысить эффективность обработки композиционных материалов / В. Ф. Макаров, А. Е. Мешкас, В. В. Ширинкин // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – Пермь : Пермский национал. исследоват. политехнич. университет. - 2015. Том 1 – С. 179 – 189.

**ОСОБЕННОСТИ НЕНЬЮТОНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ
НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ПРЕССФОРМ С ЛИТНИКОВЫМИ КАНАЛАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**д.т.н. Шайдурова Г.И., д.т.н. Модорский В.Я., асп. Рябинин С.Б.,
асп. Шайдуров А.А., Орос Д.М. (Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, ПАО «НПО «Искра» г. Пермь, Россия)**

***Аннотация:** Представлены новые подходы к выбору методов исследования реологического течения низкомолекулярных резиновых смесей на основе синтетического полиизопрена с целью расчёта литниковых каналов (отношение диаметра капилляра к длине) с учётом скорости сдвига и напряжения при сдвиге в процессе литьевого прессования вязко-текучей среды до начала подвулканизации. Резиновая смесь как дисперсная система рассматривается в трёхфазной постановке «каучук-наполнитель-жидкофазный пластификатор» для неНьютоновского течения.*

В машиностроении накоплен большой опыт применения вязкотекучих низкомолекулярных эластомеров на основе полиизопрена с вариантами рецептурных составов в зависимости от заранее задаваемых свойств резины после вулканизации. Наиболее актуальными конструкциями рассматриваются многослойные подвижные соединения с толщиной чередующихся слоёв жёстких элементов и эластомера от 1 до 3 мм. В зарубежной практике используются эластомерные композиции на основе натурального каучука (Индия, США и страны юго-восточного континента), и силикона (Франция). Однако, в России разработаны рецептуры на основе синтетического поли-изопрена, отличительной особенностью их является наличие в исходной резиновой смеси низкомолекулярного олигомера - жидкого каучука (например, бутадиена), что позволяет применить технологию литьевого прессования. Литниковые каналы предусматриваются в виде напорного конуса, цилиндрической формы. Характерным отличием литьевого прессования является то, что загрузочная камера пресс-формы соединяется с оформляющей полостью узким литниковым каналом. Пресс-форма замыкается перед загрузкой и расплав в вязко-текучем состоянии резиновой смеси, образовавшемся в загрузочной камере, выдавливается через литниковый канал в оформляющую полость

Распределительную полость для принудительной подачи эластомера в «многоэтажные» зазоры, равные толщине слоя вулканизата резины. Для течения резиновой смеси по литниковым каналам осуществляется её нагрев за счёт диссипации механической энергии и за счет теплообмена с нагретой стенкой формы. Прирост температуры формы за счет диссипации определяется из уравнения энергетического баланса для адиабатического режима течения. Таким образом, повышение температуры целиком зависит от величины удельного давления и трения компонентов резиновой смеси в напорной камере литьевого устройства. Величина этого давления определяется сопротивлением литниковых каналов и зависит от формы и размеров поперечного их сечения, длины и схемы распределения потоков, и, прежде всего, от реологических свойств резиновой смеси, а также, - скорости первоначальной подачи.

В связи с этим возникают частные задачи, которые включают:

- определению формы, диаметра и длины центрального напорного канала;

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- формы и размеров разводных литниковых каналов;
- количество литниковых отверстий по диаметру;
- повышение КИМ на 25-40 % при сокращении технологических

отходов

На основании теоретических представлений центральный напорный канал целесообразно рассматривать конической формы (конусность 1-2⁰). Сечения каналов для ньютоновского течения целесообразно определять вискозиметрически, исходя из расчета отношения массы и заполняемого зазора 2 мм/10г. При этом все внутренние поверхности литниковой системы должны быть отполированы после хромирования. Исходная чистота поверхности металла должна быть выше на два класса по сравнению с хромированной поверхностью.

Для процесса переработки полимера необходимо установить взаимосвязь между его технологическими параметрами, механическими и реологическими свойствами, то есть сопротивлением материала при изменении его формы. Знание реологических свойств материалов позволяет сформулировать условия, необходимые для получения конечного изделия, что особенно важно для многослойных подвижных соединений с заполняемыми эластомером зазорами 1,5-2мм при их количестве до 15 слоёв в одном пакете.

Для ньютоновских жидкостей напряжение сдвига линейно зависит от воздействующего давления. Неньютоновское течение имеет значительные отклонения от линейной зависимости в связи с тем, что при приложении внешнего усилия к полимеру, в нём одновременно развиваются обратимые (упругая, высокоэластическая) деформации и необратимая деформация вязкого течения. Общая деформация полимера определяется тремя составляющими:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_{\text{кап.}} + \Delta P_{\text{вых.}} \quad (1)$$

Высокоэластическая деформация вызвана раскручиванием макромолекулярных клубков каучука и может по своей величине достигать сотен процентов. При температуре выше температуры текучести полимера основным видом деформации является деформация вязкого течения, обусловленная взаимным перемещением центров тяжести отдельных макромолекул.

Для резин при их переработке наблюдаются аномалии вязкости, то есть с увеличением напряжения и скорости сдвига вязкость не остаётся постоянной.

Общей причиной аномального поведения наполненных каучуков при течении является наличие всех видов деформаций. В первой области скорость накопления деформации меньше скорости релаксации, вследствие чего величина накопленной высокоэластической деформации меньше скорости релаксации, и материал течёт с ньютоновской вязкостью при линейной зависимости.

Увеличение скорости деформации приводит к тому, что деформация не успевает релаксировать. Мерой деформации принято считать величину эффективной вязкости.

Таким образом зависимость эффективной вязкости от скорости деформации определяется комплексом релаксационной структуры полимера. Изменения структуры полимерных систем, являющаяся причиной аномалии вязкости и сопутствующих эффектов, происходит во времени, вследствие чего все эти явления имеют также релаксационный характер. Поэтому аномалия вязкости для конкретного эластомера подлежит экспериментальному определению при различных скоростях и напряжениях

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

сдвига, характеризует конечная (предельные) степени разрушения структуры, реализуемые при данных механических и температурных условиях деформирования.

Для полимеров характерна длительность во времени этих процессов вследствие наличия длинных молекул и огромной вязкости среды. В резиновых смесях при наличии нескольких каучуков и других подвижных ингредиентов возможно образование надмолекулярных структур, усиливающих напряжение при сдвиге в процессе реологического течения. Исходя из особенностей физико-химии каучуков и резиновых смесей на их основе, относящихся к сложным объектам для переработки, необходимые с научной точки зрения новые подходы к разработке технологии и литьевого или трансферного заполнения зазоров в многослойных подвижных соединениях, такие как эластичная шарниры в РКТ, подшипники в авиации, опоры в мостостроении и виброакустические амортизаторы в судостроении.

Для расчета параметров трансферного прессования низкомолекулярных эластомеров была выбрана базовая модель пресс-формы для литьевого прессования по ASTM D409-14 с определением параметров при различных температурах, руководствуясь обобщенным законом Ньютона, где напряжение является функцией вязкости при отношении дифференциалов скорости сдвига и напряжения при сдвиге.

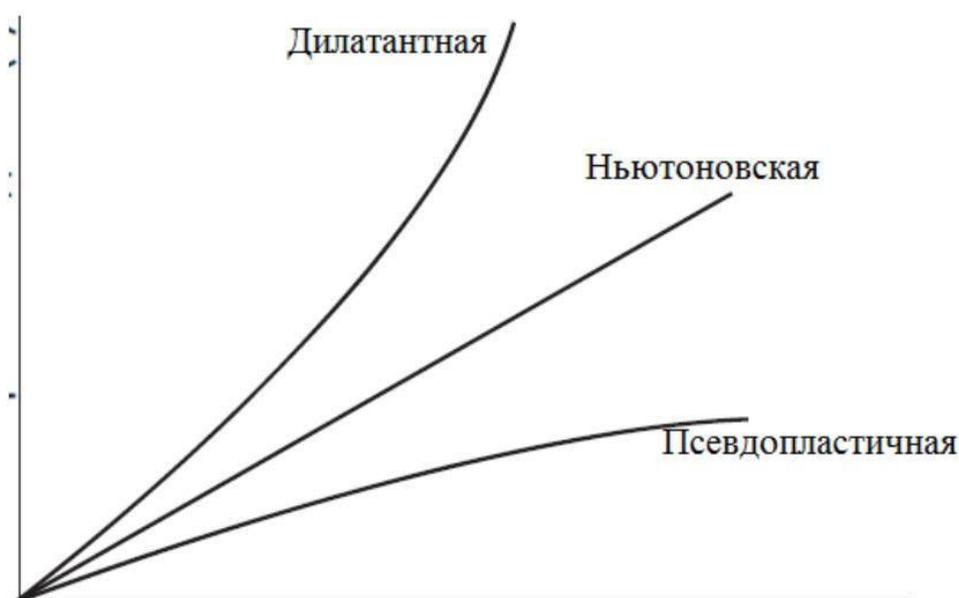


Рис.1. График зависимости напряжения при сдвиге от параметров капиллярного литникового канала

В связи с этим необходимо построение графика деформации по зонам:

- мгновенная;
- установившаяся;
- при вязком течении до подвулканизации.

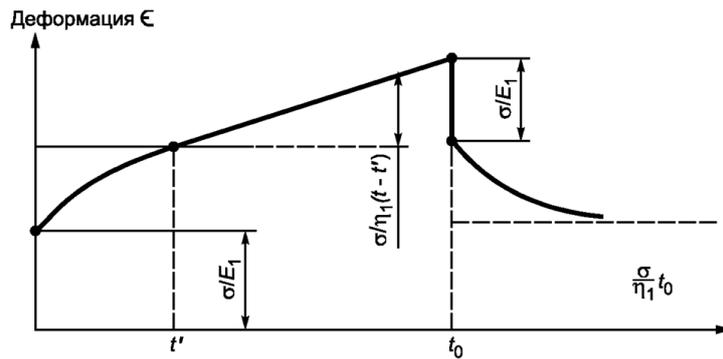


Рис. 2. График зависимости деформации (по зонам) в зависимости от времени

Для полиизопреновых резин подвулканизация начинается с 90°C , по- этому необходимо исследовать процесс нарастания вязкости при воздействии давления и температуры до 90°C . Вязкость наполненного эластомера можно охарактеризовать по степени подвулканизации в зависимости от времени воздействия, например, методом измерения плотности или прохождения звукового сигнала в сравнении с базовым вулканизованным образцом.

Были проведены эксперименты по определению степени вулканизации в зависимости от времени и температуры. Подвулканизация резины на основе и СКИ-3 протекает в диапазоне $90\text{-}120^{\circ}\text{C}$ в течение 25 минут, что необходимо учитывать при расчете геометрических размеров и литниковых каналов. Резиновая смесь при литье должна достичь образцов-свидетелей в течение времени менее 25 минут.

Расчёт геометрических параметров входного канала производился по типу модели конус/плита, а именно:
скорость сдвига

$$\gamma = \frac{\omega}{\sin\theta} \quad (2)$$

напряжение сдвига (дин/см²)

$$\tau = \frac{M}{0,66 \cdot 3,14 r^3} \quad (3)$$

вязкость (Пз)

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4)$$

где: θ -угол конуса (град);

R-радиус конуса (см).

ω - угловая скорость вращения шпинделя

Типичная скорость сдвига для литья полимеров с наполнителями равна 102 сек⁻¹. В развитие модели неНьютоновского течения наиболее распространённой является модель Бингхама:

$$\tau = \tau_0 + 3,14D, \quad (5)$$

где D - скорость сдвига.

Степенной закон :

$$\tau = kD^n, \quad (6)$$

где k – коэффициент консистенции.

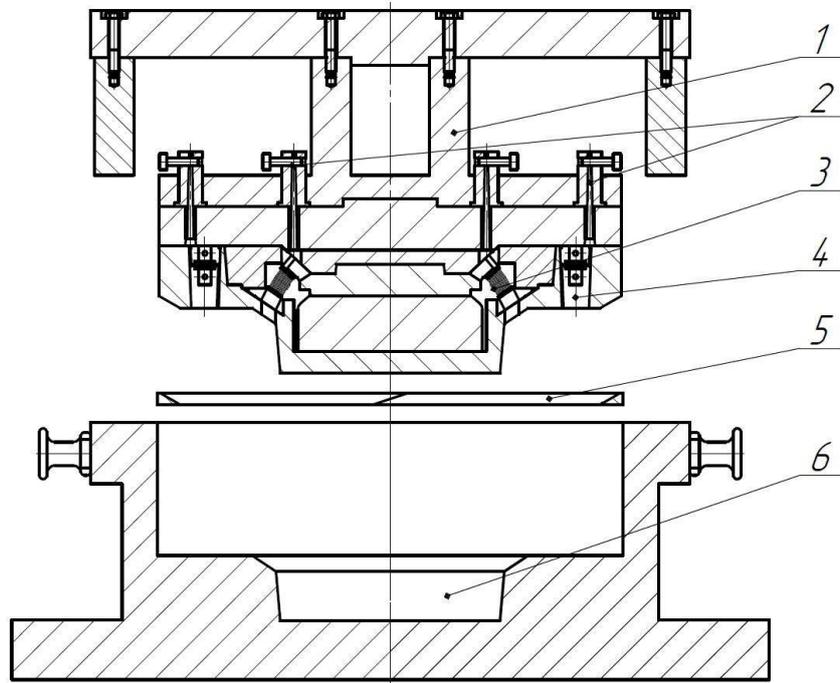


Рис. 3. Конструкция прессформы:

1– рама; 2– запорные устройства; 3– детали жёстких элементов многослойного подвижного соединения в формующем блоке; 4– образцы-демонстраторы технологии; 5 – поршневое кольцо; 6 – литейная камера

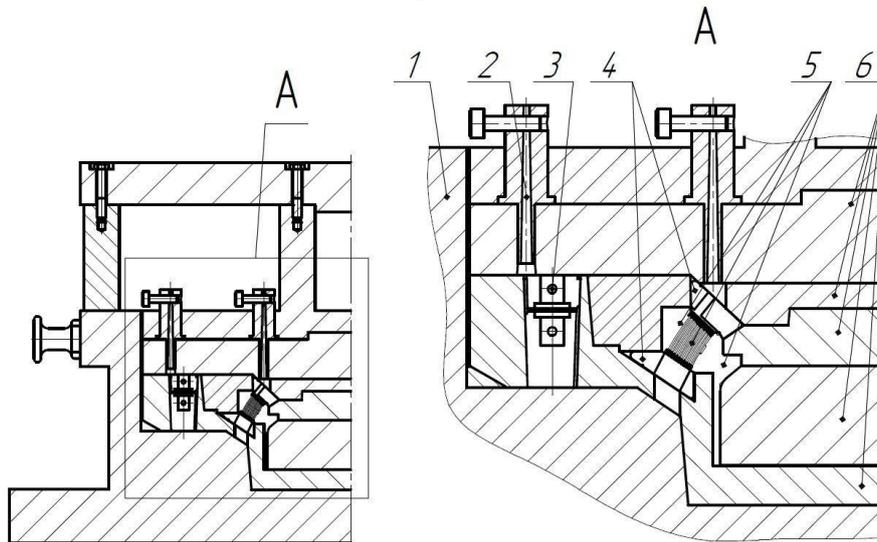


Рис. 4. Работа прессформы на этапе прессования:

1– литейная камера; 2– запорные устройства; 3– образцы-демонстраторы технологии многослойного подвижного соединения; 4– гребёнки; 5– детали жёстких элементов ; 6 – детали формующего блока

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Расчёты скорости и напряжения сдвига привели к тому, что предпочтение было сформулировано для проектирования и изготовления с нижней подачей резиновой смеси, что привело к сокращению технологического времени заполнения, ориентируясь на обойму размещения образцов- демонстраторов технологии, и повышению коэффициента использования материала (эластомера) на 25-40 %. Конструкция прессформы с нижней подачей резиновой массы представлена на рис. 3, 4.

Расчёт каналов производился по разработанной программе, включая главный входной канал с конусом, равным 1,5 градуса, и распределительный канал- в зазоры со сферическими промежуточными жёсткими элементами.

Выводы

1. Обоснован и определён метод литьевого прессования для изготовления широко применяемых эластичных подвижных соединений, релаксация которых обеспечивается модулем упругости при сдвиге (0,18-0,25 МПа), характерным для вулканизатов резин на основе полиизопрена (натурального и синтетического) или силиконового каучука.
2. Рассмотрены особенности реологического неНьютоновского течения резин в вязко текучем состоянии до подвулканизации в зависимости от температуры и скорости подачи продукта в литьевые каналы.
3. Обоснована и представлена принципиальная конструкция прессформы с нижним основным литьевым входом для заполнения из распределительного канала в узкие зазоры между жёсткими элементами промежуточных и опорных колец.

Список литературы. 1. Хорольский М.С. Резино-технические изделия с новыми свойствами как элемент создания новых технологий и объектов// Материалы научно-технической конференции «Каучук и резина», Москва, 2010 г. стр.356-360. **3.** Энциклопедический словарь, Москва, стр.1599. **2.** Шайдурова Г.И. Исследование физико-механических свойств низкомо- дульных резин на основе полиизопрена и адгезионной прочности в многослойных подвижных соединениях// Салова В.Д. /Сборник мате- риалов молодёжной конференции/М. о., Звёздный городок, 2019 г. **4.** Мешков Г.В. Реология эластичных теплозащитных материалов в экс- трузионных процессах//Г.В. Мешков, Е. В. Славнов, О.И. Скульский Тематический обзор,1990 г. **5.** Патент № 2302944 . 2010 г., Россия Михайлова .Е.А., Новиков В.В., Рябинин С.Б. Прессформа для изготовления армированных резино- технических изделий.

УДК 678.067

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ С ПРИМЕНЕ-
НИЕМ КОМПОЗИТОВ И ЭЛАСТОМЕРОВ В ИЗДЕЛИЯХ РКТ.**

д.т.н. **Шайдурова Г. И.**, к.т.н. **Васильев И. Л.**, асп. **Лобковский Д. С.**
(ПАО «НПО«Искра», г. Пермь, Россия).

E-mail: sgi615@iskra.perm.ru, VasilevIgor@npoiskra.ru, lds615@iskra.perm.ru

***Аннотация:** Представлена методология подхода к формированию границ межфазного взаимодействия на границе раздела фаз волокнистых наполнителей и полимерных матриц в обеспечение гарантийного скрепления разнородных компонентов. Приведены результаты исследований по методам активирования на примере углеродсодержащих наполнителей перед пропиткой полимерными связующими и их влиянием на физико-механические характеристики углепластиков.*

***Ключевые слова:** Композит, активирование, гидрофильность, поверхностная энергия, наноструктурирование.*

Реферат

Развитие и совершенствование современной техники неразрывно связано с прогрессом в области материаловедения. Благодаря успехам этой науки достигнуты более высокие результаты по обеспечению надёжности, долговременной прочности и других свойств конструкционных материалов. Создание композитов обеспечило недостижимый уровень свойств благодаря лёгкости, термостабильности и химической стойкости. Эффективность применения композитов в конструкции определяется не только выбором составляющих компонентов, но и прочностью их скрепления на границе раздела фаз из разнородных материалов. В работе аргументированы инновационные подходы к формированию переходных слоёв на границе «полимерная матрица-наполнитель» и представлены результаты исследований, направленные на получение прорывных результатов физико-механических характеристик.

Введение

Макро гетерогенные системы из композиционных материалов эффективно используются как в ракетно-космической технике (РКТ), так и в других отраслях промышленности. Для успешного применения композитов необходима разработка новых концепций, таких, которые позволили бы реализовать их преимущества и скомпенсировать недостатки [1-4] Эксплуатационные характеристики этого класса материалов в значительной степени определяются работоспособностью границ раздела между структурными составляющими полимерной матрицы и волокнистого наполнителя. Номенклатура изделий из волокнистых композиционных материалов (КМ) становится всё больше, что связано с их низкой плотностью, высокими прочностными показателями, устойчивостью к коррозии и другими превосходящими свойствами.[5] Прочностные свойства КМ определяются адгезией между волокном и полимерной матрицей, поэтому важным является образование межмолекулярного взаимодействия между молекулами поверхности волокна и функциональными группами связующих. Изменение поверхностной энергии субстратов может в значительной степени повлиять на межфазное взаимодействие на границах наполнителей с полимерными матрица-ми, как в исходном состоянии, так и в процессе хранения изделий до этапа эксплуатации.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Анализ информационных источников показывает, что учёными Франции, Японии, Израиля и др. уделяется большое внимание методам воздействия на физическое состояние поверхности с целью достижения супер гидрофобности или гидрофильности, исходя из поставленных технических задач по условиям эксплуатации. Результаты исследований структуры арамидных наполнителей марок «Армос» и «Русар», а также – углеродных волокон марки «Урал» привели к необходимости углублённого изучения возможности поверхностной модификации волокнистых наполнителей с целью изменения энергии Гиббса при смачивании полимерными матрицами.

Целью исследований является экспериментальное изучение возможности изменения поверхностной энергии армирующих наполнителей и установление зависимостей физико-механических характеристик композитов от вариантов активирования субстратов.

Модификация поверхности субстратов - это реальный путь достижения монолитности структуры создаваемых композитов, используя методы активирования, избирательные для конкретного класса наполнителя.[6]

Углеродные ткани, подвергнутые, например, электро осаждению меди, при отрицательно-заряженных эпокси группах, способных взаимодействовать с частицами меди, позволяют получить повышение физико-механических характеристик в углекомпозиатах на 35-40 %. Предпочтительной технологией пропитки при этом является метод вакуумной инфузии.

Наименование материала	Структура углепластиковых образцов
а) исходный углеродный волокнистый материал УРАЛ Т-22Р ЭХО-А ГОСТ 28005-88, пропитанный связующим ЭДТ-10П.	
б) углеродный волокнистый материал УРАЛ Т-22Р ЭХО-А ГОСТ 28005-88, обработанный раствором тиоцианата железа (III) и пропитанный связующим ЭДТ-10П.	
в) углеродный волокнистый материал УРАЛ Т-22Р ЭХО-А ГОСТ 28005-88 «омедненный» и пропитанный связующим ЭДТ-10П.	

Рис. 1. Структура углепластиковых образцов, изготовленных методом прямого прес-сования. Снимки получены методом оптической микроскопии с помощью прибора МЕТАМ ЛВ-31 на образцах 20×20×h мм с увеличением – х25.

- В связи с тем, что наличие меди в углекомPOSITE приводит к повышению теплопроводности, параллельно производился поиск химического модификатора,

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

позволяющего достигнуть аналогичный эффект более простым для технологии способом. Из множества теоретически изученных и экспериментально опробованных поверхностно-активных веществ было обращено внимание на механизм взаимодействия роданида железа $\text{Fe}(\text{CNS})_3$. Экспериментально установлено, что тиоцианат железа, представляющий собой комплексное соединение, взаимодействует адсорбционно-химически с атомами углерода на поверхности материала при этом мицеллы организуются таким образом, что их гидрофобные концы направлены внутрь, а гидрофильные наружу. При этом ингредиенты связующего переносятся вглубь, обволакивая и насыщая структуру волокна с увеличением контакта с полимерным связующим.

Структура и ФМХ модифицированных углекомполитов, изготовленных методом прямого прессования представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Исходная ткань Урал Т-22Р ЭХО-А		Модифицированная ткань			
			Fe(CNS) ₃		Cu	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1. Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа, 10×10×15 мм, ОСТ 92-1460-77	122,7	117,0	156,7	144,1	151,7	119,6
2. Предел прочности при смятии, $\sigma_{смят}$, МПа, (60±1)×15 _{-0,2} ×(6÷10) мм, ОСТ 92-1475-78	50	-	49	-	74	-
3. Предел прочности при срезе, $\sigma_{срез}$, МПа, 60±1×10 _{-0,1} ×(6÷10) мм, ОСТ 92-1474-78	71	-	60	-	85,3	70,6
4. Предел прочности при растяжении, σ_p , МПа, 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	147	34	40	82	170	49
5. Модуль упругости при растяжении, E_p , ГПа, 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	11,7	5,8	15,7	14,1	13,8	8,5
6. Плотность, ρ , кг/м ³ , 20×20×h мм, ОСТ 92-0903-78	1270		1310		1540	

ФМХ углепластика Урал Т-22Р ЭХО-А + ЭДТ-10П, изготовленного методом прямого прессования. ФМХ углепластика Урал Т-22Р ЭХО-А+ЭДТ-10П, изготовленного методом вакуумной инфузии, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование показателя	Исходная ткань Урал Т-22Р ЭХО-А		Модифицированная ткань			
			Fe(CNS) ₃		Cu	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1. Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа, 10×10×15 мм, ОСТ 92-1460-77	127,1	121,0	156,7	148,6	207,9	139,2
2. Предел прочности при растяжении, σ_p , МПа, 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	166	53	259,9	101,9	219	87,2
3. Модуль упругости при растяжении, E_p , ГПа, 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	11,7	6,8	16,9	14,9	15,0	10,0
4. Плотность, ρ , кг/м ³ , 20×20×h мм, ОСТ 92-0903-78	1300		1330		1450	

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

ФМХ углепластика УТ-900ПМ + ЭДТ-10П, изготовленного методом вакуумной инфузии, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Наименование показателя	Исходная ткань УТ-900ПМ		Модифицированная ткань			
			Fe(CN S) ₃		Cu	
	о снова	ток	о снова	ток	о снова	ток
1. Разрывная нагрузка исходного наполнителя, Н, размер 300×60 мм	8 470	170	1 2500	733	1 2550	800
2. Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа. 10×10×15 мм, ОСТ 92-1460-77	1 07	9,8	1 30,7	13	1 51,7	19,6
3. Предел прочности при смятии, $\sigma_{смят}$, МПа. (60±1)×15. 0,2×(6÷10) мм ОСТ 92-1475-78	1 15	0	1 65	0	1 55	5
4. Предел прочности при срезе, $\sigma_{срез}$, МПа. (60±1)×10. 0,1×(6÷10) мм ОСТ 92-1474-78	1 42,4	54,6	1 90	00	1 80	92
5. Предел прочности при растяжении, σ_p , МПа. 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	3 94	85	4 15	40	1 70	9
6. Модуль упругости при растяжении, E_p , ГПа. 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	6 9,5	8,4	7 1,7	9	7 0	9
7. Предел прочности при сдвиге, $\tau_{сдв}$, МПа. (59+1)×(6-0,2)×(6,5±0,5) мм ОСТ 92-1472-78	1 9	4	2 8	4	2 5	1
8. Предел прочности при сколе, $\tau_{скол}$, МПа. (60±1)×(15-0,2)×(9±1) мм ОСТ 92-1472-78	1 7,4	7,1	2 2	1	2 0	9
9. Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа. (120±2)×(15±0,5)×(8÷10) мм ОСТ 92-1462-77	2 41,3	95,2	3 40	40	3 10	20
10. Плотность, ρ , кг/м ³ , 20×20×h мм, ОСТ 92-0903-78	1470		1430		1410	

ФМХ углепластика Rogcher арт. 3692 + ЭДТ-10П, изготовленного методом вакуумной инфузии, представлены в таблице 4

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Таблица 4

Наименование показателя	Углепластик на основе ткани Porcher 3692		Модифицированная ткань			
			Fe(CNS) ₃		Cu	
	снова	ток	снова	ток	снова	ток
1. Разрывная нагрузка исходного наполнителя, Н, размер 300×60 мм	2052	920	579	372	363	546
2. Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа. 10×10×15 мм, ОСТ 92-1460-77	257	46	40	30	10	00
3. Предел прочности при смятии, $\sigma_{смят}$, МПа. (60±1)×15 _{0,2} ×(6÷10) мм ОСТ 92-1475-78	29	00	23	30	20	25
4. Предел прочности при срезе, $\sigma_{срез}$, МПа. (60±1)×10 _{0,1} ×(6÷10) мм ОСТ 92-1474-78	125	32	60	80	50	65
5. Предел прочности при растяжении, σ_r , МПа. 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	280	74	50	40	32	21
6. Модуль упругости при растяжении, E_r , ГПа. 235×25×(3-4) мм, ОСТ 92-1459-77	56,3	6,8	6	0	5	2
7. Предел прочности при сдвиге, $\tau_{сдв}$, МПа. (59±1)×(6-0,2)×(6,5±0,5) мм ОСТ 92-1472-78	28	1,4	8	0	6	9
8. Предел прочности при сколе, $\tau_{скол}$, МПа. (60±1)×(15-0,2)×(9±1) мм ОСТ 92-1472-78	21	5	2	3	8	0
9. Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа. (120±2)×(15±0,5)×(8÷10) мм ОСТ 92-1462-77	247	98	47	70	10	20
10. Плотность, ρ , кг/м ³ , 20×20×h мм, ОСТ 92-0903-78	1420		1480		1600	

Структура модифицированных углекомполитов, изготовленных методом вакуумного формования, представлена на рисунках 2 (а-з).

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

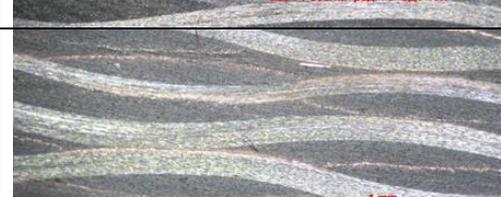
Структура углепластиковых образцов	Наименование материала
	а) углеродный волокнистый материал УРАЛ Т
	б) углеродный волокнистый материал УРАЛ Т-22Р ЭХО-А ГОСТ 28005-88, обработанный раствором тиоцианата железа (III) и пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	в) углеродный волокнистый материал УРАЛ Т-22Р ЭХО-А ГОСТ 28005-88 с «электроосаждением меди» и пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	г) исходный углеродный волокнистый материал УТ-900ПМ СТО 1916-502-75969440-2006, пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	д) углеродный волокнистый материал УТ-900ПМ СТО 1916-502-75969440-2006, обработанный раствором тиоцианата железа (III) и пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	е) углеродный волокнистый материал УТ-900ПМ СТО 1916-502-75969440-2006 с «электроосаждением меди» и пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	ё) исходный углеродный волокнистый материал Porcher арт. 3692, пропитанный связующим ЭДТ-10П.
	ж) углеродный волокнистый материал Porcher арт. 3692, обработанный раствором тиоцианата железа (III) и пропитанный связующим ЭДТ-10П

Рис. 2. Визуализация структуры углепластиковых образцов. Представленная визуализация структуры углепластиковых образцов, которые получены методом

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

вакуумной инфузии. Снимки получены методом оптической микроскопии с помощью прибора МЕТАМ ЛВ-31 на образцах $20 \times 20 \times h$ мм (увеличение – $\times 25$)

Следует отметить, что углеродные ткани типа «Урал» позволяют рассматривать и вари- ант непосредственного нано образования на них(как на субстратах) с последующей пропиткой смолами (феноло-формальдегидными или эпоксидными), теоретически предполагая изменение поверхностной энергии Гиббса, способное оказать существенное влияние на повышение уровня физико-механических характеристик. Формирование нано образований (рисунке 3) непосредственно на субстрате приводит к максимальной прочности благодаря более прочной адгезионной связи в системе «субстрат – переходный нано структурированный слой – связующее» на границе контакта (рисунки 4, 5, 6).

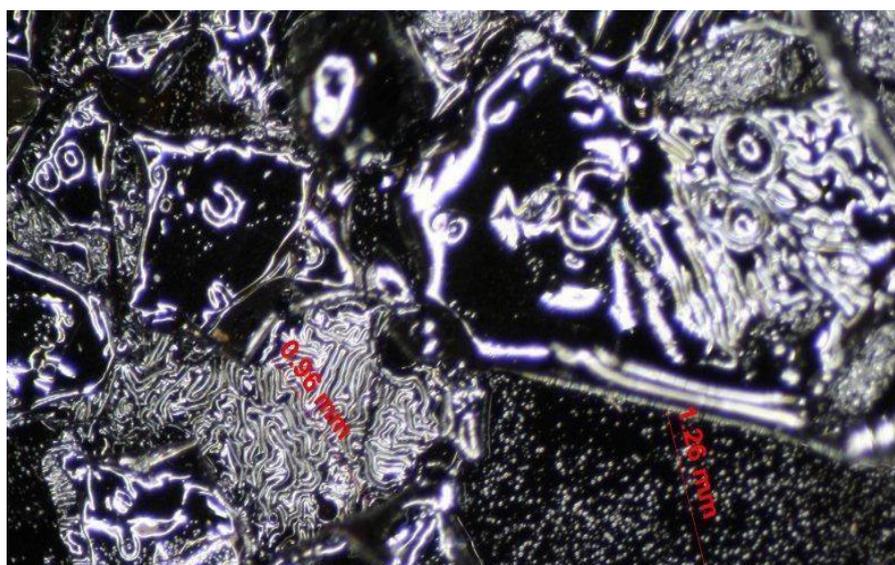


Рис. 3. Ткань «Урал» после обработки ПАВ и 2-х ступенчатого термостатирования.

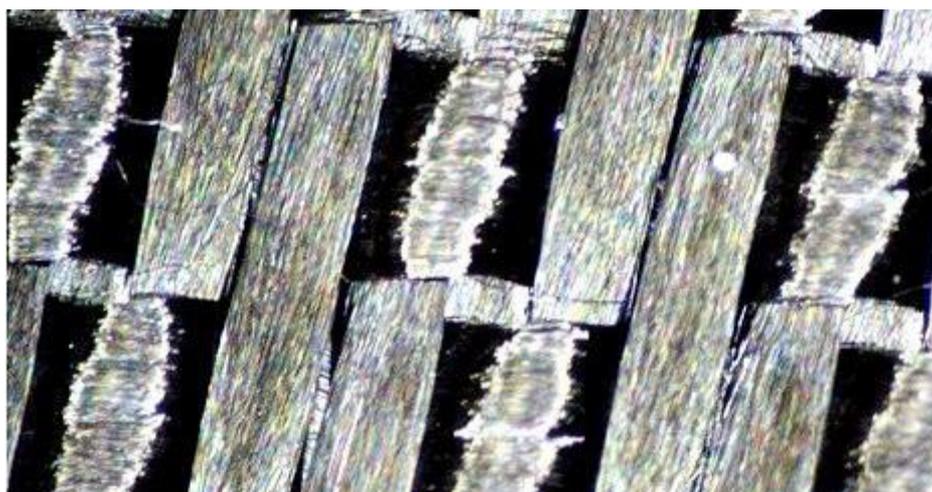
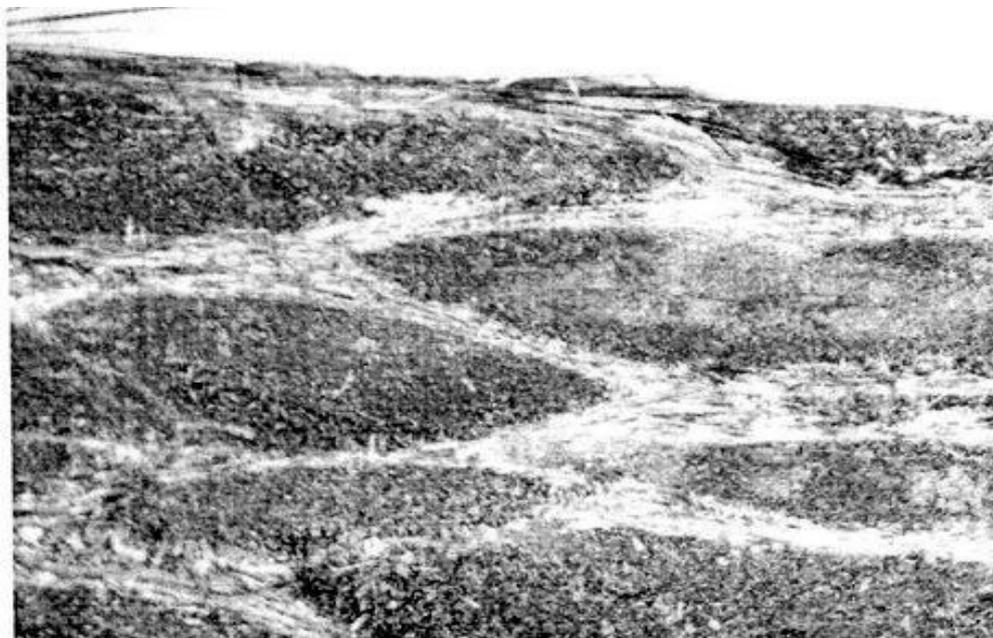


Рис. 4. Внешний вид ткани «Урал» по основе и утку после термообработки в присутствии ПАВ.



x50

Рис. 5. Углеродный композит на срезе после прессования по штатной технологии.



x50

Рис. 6. Углеродный композит на срезе после прессования с предварительной модификацией волокнистого наполнителя.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Таблица 5 – Сравнительные результаты физико-механических характеристик углепластиков

Исследуемые показатели	Метод определения	№ образца		
		№1	№2	№3
		Штатные	Конц. (оптимум)	Конц.25 %
1. Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа (кгс/см ²) основа	ОСТ 92-1460-77 размер образцов 10×10×15 мм	1305	2750	1290
2. Предел прочности при растяжении, σ_p , МПа (кгс/см ²), основа	ОСТ 92-1459-77 размер образцов 235×25×(3-4) мм	1355	2725	1238
3. Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа (кгс/см ²) основа	ОСТ 92-1462-78 размер образцов (120±2)×(15±0,5)×(8÷10) мм	1347	2627	-
4. Предел прочности при сдвиге, $\tau_{сдв}$, МПа (кгс/см ²) основа	ОСТ 92-1472-78 размер образцов (59+1)×(6-0,2)×(6,5±0,5) мм	15,25	21,1	18,85
5. Плотность, ρ , кг/м ³	ОСТ 92-0903-78 метод гидростатического взвешивания	1050	1277	840
6. Содержание связующего %,	ОСТ 92-0903-78 метод растворения в азотной кислоте.	30,6	31,7	33,8

Безусловно, для каждого материала, как армирующего, так и связующего должны рассматриваться индивидуальные подходы в области усиления адсорбционно-химического взаимодействия на макро-границе «субстрат – полимерная матрица». Эффект малых добавок достигается при эффективной концентрации вводимого активатора, создающего определённое пограничное состояние, выходящее за рамки макроскопического объекта на уровне макро- и микромир, при этом следует отметить ряд специфических особенностей, а именно:

- самоорганизацию гетерогенных структур;
- поверхностную энергию Гиббса;
- квантово-волновые свойства.

С точки зрения уточнённой терминологии, композит – это объёмное сочетание двух или более разнородных материалов с чёткой границей раздела фаз и с гарантированным соединением компонентов (не допускающим взаимного проскальзывания) [8]. Модифицирование нано размерными частицами субстратов и связующих в процессе полимеризации формирует новые структуры, отличающиеся от штатно существующей для условно чистого материала. На деформационно-прочностные свойства композитов максимальное влияние оказывают концентраторы

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

напряжений (чаще всего - дефекты на границе контакта). При образовании нано структур меняется кинетика кристаллизации за счёт зародышеобразования. Учитывая этот фактор, предпочтительно использование коллоидных паст с модификатором с целью создания более регулярной надмолекулярной структуры. При этом образуется новая система «модифицируемая среда - нано- композит». Исходя из теоретических и экспериментальных данных, можно утверждать, что развитие трещин в полимерных матрицах является первичной формой разрушения ПКМ. В случае нано структурированного композита при нагружении наблюдается самозалечивание макротрещин за счёт присутствия разветвлённой формы присутствия нано образований, что, в конечном итоге, предотвращает дальнейший рост трещинообразования и снижает уровень внутренних напряжений. Такой эффект наблюдается, например, при введении в органо-композит нано-дисперсного диоксида кремния, ультрадисперсных цинка или меди, в этом случае при образовании микротрещин при хранении ухудшения физико-механических свойств не наблюдается.[11]

При комплексном подходе в области создания активированных волокнистых наполнителей и нано-структурированных связующих реально становится возможным достижение максимальных физико-механических характеристик с повышенной термодинамической стабильностью. При таком подходе становится возможным даже достижение высокой адгезионной прочности связи между поверхностью полиэтилена и защитными покрытиями, используя специальную технологию механической обработки поли метиметакрилатным порошком (в виде шлифовальной шкурки или дроби) и химического активирования. Химическая обработка полиэтилена способствует обеспечению изменения поверхностной энергии в сторону повышения гидрофильности. [10].

Аналогичный подход применён к активированию нетканых волокнистых наполнителей арамидного и ариидного типа, рассматриваемых в вариантах применения с резинами на основе синтетических этилен-пропилен-диеновых каучуков (СКЭП, СКЭПТ) теплозащитного назначения., что открывает перспективы повышения эрозионной стойкости, производя замену асбестосодержащих наполнителей.

Результаты проведённых инициативных исследований в НПО «Искра» при участии НИЦ РКТ г. Москва, ИТХ РАН г. Пермь продемонстрировали, что направленная модификация различных субстратов на органической и неорганической основе позволяет значительно повысить уровень физико-механических характеристик композиционных материалов и обеспечить их конкурентоспособность в области прикладной химии для применения в перспективных проектах новых изделий. Следует отметить, что в отечественной практике конкуренция между органопластиком и углепластиком не состоялась. В повышении прочности отечественного угле-волокна, наблюдается отставание по сравнению с зарубежными материалами, поэтому концентрация внимания на совершенствовании формирования гетерогенных макроструктур с точки зрения взаимодействия армирующих активированных наполнителей органической и неорганической структуры на границе с полимерными связующими различного класса является своевременной и достаточно актуальной.

ВЫВОДЫ

1. Комплекс представленных результатов исследований в области получения композитов на примере углепластиков показывает важность значения изменения поверхностной энергии субстратов перед пропиткой.

2. Углепластики с углеродными тканями типа «Урал» позволяют реально рассматривать вариант непосредственного осаждения нано-трубок с последующей пропиткой смолами (феноло-формальдегидными или эпоксидными), используя благоприятное влияние нано-структурирования на повышение уровня физико-механических характеристик.

3. Целесообразно расширение направления работ с нано-осаждением и на других субстратах, индивидуально подходя к выбору способных к сублимации полимеров при относительно невысоких температурах и без выделения вредных химических веществ в окружающую среду.

4. Развитие комплексного подхода к созданию нано-структурированных композитов и нано-технологий для их формирования - принципиально новое и экономичное направление для перспективного материаловедения композитов.

Список литературы: 1. Берлин А.А. Перспективные материалы и технологии для ракетно- космической техники /И.А.Ассовский // Космический вызов XXI века. – М. 2007, с.17-26. 2. Щурик А.Г. Искусственные углеродные материалы.// Пермь, Пермский государственный университет. – 2009, 342 с. 3. Шайдурова Г.И. Влияние структурных особенностей арамидных волокон на ФМХ органопластиков / А.Ю. Лузенин, Ю.Г. Лузенин //Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции Пермь, - 2008 г, с.43-44. 4. Милёхин Ю.М. Пути совершенствования корпусов ракетных двигателей твёрдого топлива в России и за рубежом / С.А. Гусев, А.К. Яницкий, В.В. Соколов // Журнал «Вопросы оборонной техники». Серия 15, 2015. 5. Шайдурова Г.И. Аналитические исследования в области разработки и применения нанокompозитов / С.А. Лобковский, Е.В. Зубова // журнал «Вопросы оборонной техники», серия 15, - 2014, - с.63-66. 6. Каблов.Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи./ Е.Н. Каблов // Энциклопедический справочник, 2007 г., №1. 7. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов./ Я.С. Карпов// Харьков «ХАИ» ,2010 г., с.14-16. 8. Харрис П. Углеродные нанотрубки и родственные структуры / П. Харрис, //Техносфера, / 2003 г., 336 с. 9. Патент РФ МПК 2 694 765 С1.// Способ защиты от влаги корпусов из композиционных материалов./ Шайдурова Г.И., Васильев И.Л., Зубарев С.А., Гаврилович. Патент №2694765 от 28.08.2018. г. 10. Шатров В.Б. Экспериментальные исследования влияния малых добавок на ФМХ органопластиков / Шайдурова Г.И., Ощепкова М.Ю. // Журнал «Вопросы оборонной техники, серия 15, №4 2006 г. с.26-29.

УДК 622.232.72

**К ВОПРОСУ ВОЗМОЖНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СЕРИЙНОЙ
МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ТИПА ДТ В УСЛОВИЯХ ОЧИСТНЫХ
ЗАБОЕВ С ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КАТЕГОРИЕЙ ПОРОД ОСНОВНОЙ
КРОВЛИ**

*Лысенко Н.М. (доцент каф.ГМ, ДОННТУ), Потапов В.Г.(профессор каф. ГМ,
ДОННТУ, г. Донецк, ДНР) Фоменко Д.С. (студентка ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)*

С позиции исторического аспекта, в мировой практике подземной добычи каменного угля примерно середину прошлого столетия, можно условно считать началом перехода к качественно новому этапу развития средств механизации подземной угледобычи, характеризующегося началом функционирования на угольных шахтах ряда передовых угледобывающих стран комплексно механизированных очистных забоев (КМОЗ). В угольной промышленности Украины переход к данному этапу подземной угледобычи условно можно отнести к началу шестидесятых годов прошлого столетия, начиная с которых количество среднедействующих КМОЗ из года в год неуклонно возрастало. Так, например, согласно данным, приведенным в [1] только на протяжении последних ряда лет достаточно стабильной работы углепрома Украины (начиная с 1996 по 2007гг) количество среднедействующих КМОЗ возросло примерно в два раза (с 409 до 703 единиц). При этом средняя нагрузка на КМОЗ также постоянно росла и в 2007г достигла максимального значения за всю историю угольной промышленности Украины – 904 т/сут. и примерно в 2,5 раза превысила показатель 2006г.

В состав КМОЗ входит следующее основное оборудование:

- выемочная машина (чаще очистной комбайн или в отдельных случаях струговая установка);
- забойный скребковый конвейер (при струговой выемке забойный конвейер входит непосредственно в состав струговой установки);
- механизированная гидрофицированная крепь.

Каждая из указанных машин при своей отличительной функциональной особенности в составе любого механизированного комплекса должна быть обязательно взаимосвязана с сопрягаемым оборудованием как минимум по основным показателям назначения.

Основное функциональное назначение механизированной крепи состоит в обеспечении поддержания пород кровли от преждевременного обрушения и управлении состоянием вмещающих пород, а также защиты призабойного рабочего пространства от продуктов обрушения, передвижки и удержания в заданном положении рештачного става забойного конвейера или струговой установки и самопередвижки. К основным показателям назначения механизированной крепи, при которых она в полной мере может выполнять все вышеперечисленные функции, прежде всего, относятся:

- допускаемая предельная величина угла наклона вынимаемого пласта как при подвигании лавы по простиранию, так и по падению или восстанию;

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

- диапазон изменения мощности вынимаемого пласта в пределах каждого существующего типоразмерного ряда крепи.

Кроме указанных основных показателей назначения в различных нормативных и справочных источниках приводится для каждой серийно изготавливаемой механизированной крепи также целый ряд других важных параметров, величины которых оказывает весьма существенное влияние на качество выполнения механизированной крепью каждой из вышеперечисленных функций.

Так, например, уровень качества управления состоянием вмещающих пород кардинально зависит от величины удельного сопротивления крепи на 1 м^2 поддерживаемой кровли P_{yc} , кН/м^2 . При заниженных значениях P_{yc} увеличивается число плоскостей разделения пород кровли и их расслоение, взаимное смещение отдельных слоев, т.е. кровля перестает работать как единое целое, вследствие чего скорость опускания (прогиба) кровли в рабочей зоне призабойного пространства начинает превышать допустимую с позиции устойчивости нижних слоев непосредственной кровли величину (3-5 мм/час), что в конечном итоге с высокой вероятностью приводит к образованию в ней трещин, разрывов и заколов и даже опережающих вывалов непосредственно у груди забоя.

Одним из условий рационального взаимодействия крепи с кровлей можно считать формирование крепью такого предельного значения ее удельного сопротивления, начиная с которого величина опускания (конвергенции) кровли на границе рабочего призабойного пространства будет прирастать равномерно в пределах вышеуказанной допустимой величины скорости ее опускания. В целом же рациональная величина удельного сопротивления крепи, как отмечается практически во всех литературных источниках, посвященных теории работы механизированных крепей [2, 3], а также рассматривающих некоторые практические аспекты по их проектированию и конструированию [4], зависит от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий каждого отдельного очистного забоя, а именно: свойств вмещающих пород, мощности вынимаемого пласта, типа крепи, технологической схемы работы, скорости подвигания забоя и ряда других факторов.

Вместе с тем согласно некоторым нормативным базовым документам, регламентирующим порядок проектирования и устанавливающих методики расчета гидрофицированных механизированных крепей очистных комплексов [6, 7], номинальное значение P_{yc} должно отвечать следующему условию:

$$P_{yc} \geq K_{mk} (400 + 80(H_p - 1)), \quad (1)$$

где K_{mk} – коэффициент учитывающий класс кровли ($K_{mk} = 1$ для легкообрушаемых, $K_{mk} = 1,5$ для среднеобрушаемых и $K_{mk} = 2$ для труднообрушаемых кровель);

H_p - расчетная вынимаемая мощность пласта, м.

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Начиная с 2000г в угольной промышленности Украины было начато переоснащение отдельных шахт новой очистной техникой с целью обеспечения устойчивого повышения нагрузки на КМОЗ с перспективным доведением ее к 2011 году до среднестатистического уровня в размере 1245 т/сутки. Одним из основных стимулов для принятия минуглепропом указанной технической политики явилось то, что предварительно институтом Донгипро-углемаш (в настоящее время Донуглемаш) совместно с рядом других отраслевых институтов и заводов угольного машиностроения была проведена огромная работа по созданию и освоению установившегося производства всех базовых видов нового поколения очистного оборудования, отвечающего современным требованиям по производительности, безопасности, эргономике, надежности, расчетный ресурс которого составлял 15-40 тысяч часов, т. е. минимум в 3 раза выше, чем у заменяемых аналогов.

При этом благодаря совместным усилиям ученых, конструкторов и машиностроителей удалось в сравнительно короткие сроки освоить выпуск наряду с целым рядом современных высокопроизводительных очистных комбайнов, в том числе и мехатронного класса, также высоко энерговооруженных скребковых забойных конвейеров и целую линейку четырех стоечных и двух стоечных щитовых механизированных крепей нового поколения [3, 8] со сроком службы до капитального ремонта не менее 8 лет, с повышенной несущей способностью и раздвижностью практически для всех возможных к промышленной отработке шахтопластов как Украины, так и стран ближнего зарубежья в диапазоне свыше 0,85 м.

В состав указанной линейки механизированных крепей входит и крепь типа ДТ, имеющая четыре типоразмерных исполнения (перекрывающими возможное изменение расчетной мощности вынимаемых пластов от 0,95 до 4,2 м) и предназначенная для работы в очистных забоях с средне обрушаемыми (A_2) или трудно обрушаемыми (A_3) основными кровлями в сочетании с устойчивыми (B_5) до неустойчивых (B_2) непосредственных кровель включительно.

Оценим применительно к крепи ДТ второго типоразмера в какой степени величина удельного сопротивления $P_{yc} = (700 - 800) \text{ кН} / \text{м}^2$, задекларированная в ее технической характеристике применительно к очистным забоям с тяжело обрушаемой основной кровлей соответственно к диапазону изменения расчетной вынимаемой мощности пласта $H_p = (1,1 - 1,8) \text{ м}$, отвечает требованию ряда нормативных документов, оговоренном выше в виде формализованного выражения (1). Исходя из указанного требования, величина удельного сопротивления крепи ДТ второго типоразмера в рассматриваемых условиях должна быть соответственно равна или больше, чем:

$$\text{- при } H_p = 1,1 \text{ м } P_{yc} \geq K_{mk} (400 + 80(H_p - 1)) \geq 2(400 + 80(1,1 - 1)) \geq 816 \text{ кН} / \text{м}^2;$$

$$\text{- при } H_p = 1,8 \text{ м } P_{yc} \geq K_{mk} (400 + 80(H_p - 1)) \geq 2(400 + 80(1,8 - 1)) \geq 912 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

На основании полученных расчетных данных можно сделать однозначный вывод о том, что задекларированные в технической характеристике величины удельного сопротивления механизированной крепи типа ДТ второго типоразмера не

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

соответствуют (примерно в 1,16 раза ниже) требованиям ряда нормативных документов.

Установленное несоответствие может негативно повлиять на качество управления состоянием вмещающих пород данной крепью в очистных забоях с трудно обрушаемой (A_3) основной кровлей. Поэтому вполне обосновано можно утверждать, что с целью повышения эффективности функционирования современной серийной механизированной крепи типа ДТ в условиях очистных забоев с трудно обрушаемой категорией пород основной кровли должна быть решена задача по установлению возможных способов повышения удельного сопротивления данной механизированной крепи, причем весьма желательно без существенного изменения конструктивных параметров секций базового ее аналога.

Принимая во внимание сделанную выше оговорку относительно сохранения конструктивно-компоновочного построения секции серийной крепи, очевидно, поставленная задача стратегически может быть решена только за счет повышения сопротивления самих стоек секции. Величина сопротивления стойки опусканию пород кровли в режиме ее постоянного сопротивления P_c в соответствии с рабочей характеристикой гидростойки [3] зависит только от двух параметров - уровня настройки предохранительного клапана $p_{пк}$, конструктивно располагающегося в стоечном блоке, и площади поршневой полости $S_{п}$ самой стойки: $P_c = S_{п} p_{пк}$, Н. Очевидно, что, для достижения поставленной цели необходимо увеличить любой из указанных параметров. Поскольку увеличение уровня настройки предохранительного клапана автоматически приведет к двум негативным моментам (снижению прочностных показателей цилиндра гидростойки и увеличению длительности времени выхода стойки на режим «постоянного» сопротивления), то по нашему мнению более целесообразно решение поставленной задачи реализовать за счет некоторого увеличения площади ее поршневой полости путем соответствующего увеличения диаметра поршня гидростойки. При этом диаметр поршня гидростойки модернизируемой крепи $D_{пм}$ по сравнению с диаметром поршня гидростойки серийной крепи типа ДТ ($D_{пс}=260$ мм) в соответствии с выше приведенной оценкой целесообразного повышения величины ее удельного сопротивления должен быть, как минимум, увеличен до следующего значения:

$$D_{пм} = \sqrt{1,16} \cdot D_{пс} = \sqrt{1,16} \cdot 260 = 280 \text{ мм}$$

Следует заметить, что возможность использования данной расчетной величины диаметра поршня в гидростойках секций модернизированной крепи типа ДТ обязательно необходимо проанализировать с позиции наличия гостированных уплотнительных элементов требуемого размера, причем способных выполнять свою уплотнительную функцию при весьма высоком уровне давления (не ниже 42 МПа) рабочей жидкости. В существующих каталогах на гостированные уплотнительные элементы, рекомендуемые для использования в исполнительных гидравлических механизмах разнообразного горного оборудования, в том числе и механизированных крепях с указанной регламентированной величиной предельного давления,

**ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

необходимые уплотнительные элементы имеются для поршней с ближайшим диаметром 285 мм.

Таким образом, на основании всех вышеприведенных расчетов и выполненного анализа имеющихся каталогов на уплотнительные гостированные элементы можно сделать окончательный вывод о том, что поставленная задача повышения эффективности функционирования современной серийной механизированной крепи типа ДТ в условиях очистных забоев с труднообрушаемой категорией пород основной кровли может быть решена путем замены в секциях базовой серийной крепи гидростоек с диаметром поршневой полости 260 мм на модернизированные гидростойки с диаметром поршня 285 мм. При этом следует обратить внимание на то, что в результате анонсируемой замены гидравлических стоек естественно будет повышено не только прогнозируемое удельное сопротивление крепи, но и возрастет нагруженность базовой части перекрытия секции, выполненного в виде сварной конструкции коробчатой формы. Поэтому необходимо будет сделать проверочный расчет на прочность предполагаемых опасных сечений данной сварной конструкции и по результатам расчета при необходимости проработать возможные варианты их усиления, причем желательно в пределах имеющихся габаритных размеров базовой части перекрытия.

Список литературы: 1. В.В. Косарев Новая горная техника ГП «Донгипроуглемаш» для подземной добычи угля // Сб. научных трудов ГП «Донгипроуглемаш». - Донецк: АСТРО, 2008.- С.37-61. 2. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев.-М.:Недра, 1990. -413с 3. Горные машины для подземной добычи угля / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко и др. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 669с 4. Хорин В.Н. Расчет и конструирование механизированных крепей / В.Н. Хорин. –М.:Недра, 1988. – 255с. 5. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Часть 2. Механизированные крепи и насосные станции (теория рабочих процессов и методы повышения надежности): учебное пособие для студентов специальности «Горные машины и комплексы» / В.Г.Гуляев, Н.М. Лысенко; под общ. Ред. В.Г. Гуляева, - Донецк: Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2014. 184с. 6. Российский ГОСТ Р 52152-2003 «Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний». 7. Проект национального стандарта Украины «Крепи шахтные механизированные. Общие технические условия». 8. Украинская техника для угольных шахт: Каталог./ В.В. Косарев, Н.И. Стадник, С.С. Гребенкин, и др.; Под. общ. ред. В.В. Косарева – Донецк: АСТРО, 2008, 321с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРКИ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММЫ КОМПАС 3D

Бондарь Е.А. (к.т.н., ст. преподаватель кафедры «НГ и ИГ» ГОУВПО ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Бондарь Д.В. (студент гр. ТБГД-18 ГОУВПО ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Сборка в программе КОМПАС-3D – это трехмерный макет, который объединяет модели деталей и стандартные изделия в наглядную конструкцию, учитывающую их взаимное положение и параметры их элементов. Алгоритм построения сборки рассмотрим на примере изделия «Тиски».

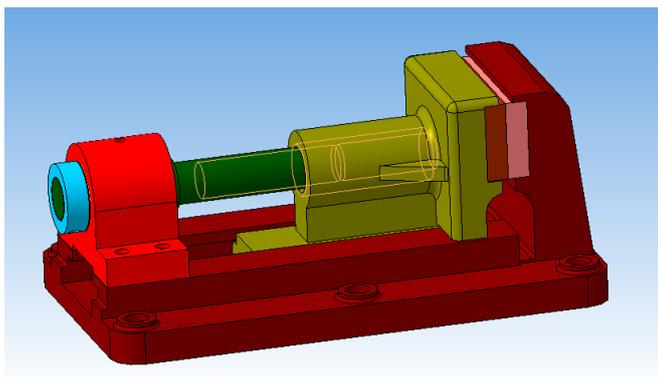


Рис. 1. Тиски

Тиски данной конструкции (рис. 1) служат для крепления разрабатываемых деталей на металлорежущих станках. Тиски устанавливаются на столе строгального или лазерного станка и закрепляются шестью болтами.

Перед созданием сборки в программе КОМПАС-3D необходимо сделать модели всех деталей, входящих в сборочную единицу. Процесс создания сборки начинается с создания файла «Сборка». На компактной панели активизируем инструментальную панель Редактирование сборки . Нажимаем кнопку Добавить из файла . В появившемся окошке с помощью кнопки «Из файла» находим деталь *корпус*. Фантомное изображение детали фиксируем левой кнопкой мыши. [1]

Таким же образом добавляем следующую деталь *пластину*. Размещаем ее в свободном месте (рис. 2).

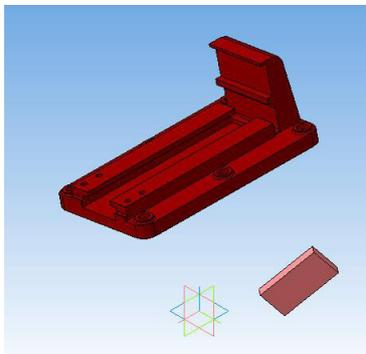


Рис. 2. Добавление «Пластины» в сборку

Так как, детали располагаются хаотично относительно друг друга, следует совместить пластину с корпусом *сопряжением* деталей. Вначале установить параллельность между ними, чтобы они имели общую ось, затем «притянуть» *пластину к корпусу*, применив сопряжение на совпадение деталей (рис. 3). Чтобы задать сопряжение *на совпадение деталей* нужно перейти в инструментальную панель *Сопряжения*  и нажать на кнопку *Совпадение объектов* , выделяя мышкой грань *пластины* и паз *корпуса*. [2]

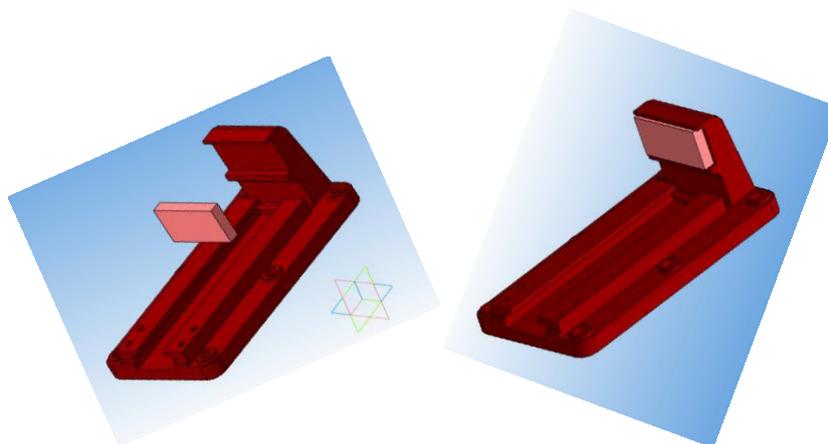


Рис. 4. Установка пластины в сборке «Тисков»

Таким же образом добавляем вторую *пластину и подвижную губку* в сборку «Тисков» (рис. 5).

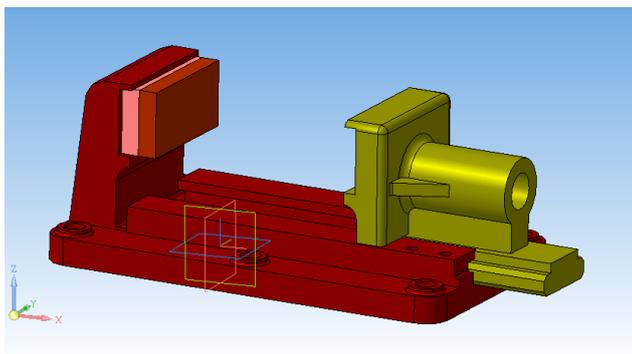


Рис. 5. Установка подвижной губки в сборку «Тисков»

Добавляя деталь *подшипник* применяем *сопряжение* по соосности отверстий в *подшипнике и корпусе*, чтобы *подшипник* встал точно над *корпусом*. Чтобы задать *сопряжение по Соосности* нужно перейти в инструментальную панель *Сопряжения*  и нажать на кнопку *Соосность* . А затем применяем сопряжение на совпадение деталей, т. е. «притягиваем» *подшипник к корпусу*. Такими же операциями добавляем детали *втулку, винт и кольцо*.

Согласно спецификации, стандартные изделия *винты, гайку, шпильку и штифт* размещаем в сборке с помощью *Библиотеки КОМПАС*. На верхней инструментальной панели файла «Сборка» нажимаем Библиотеки→ Стандартныеизделия→ Вставить элемент→Крепежные изделия. Находим нужное изделие и последовательно задавая параметры и вызываем команду *Применить* (рис. 6).

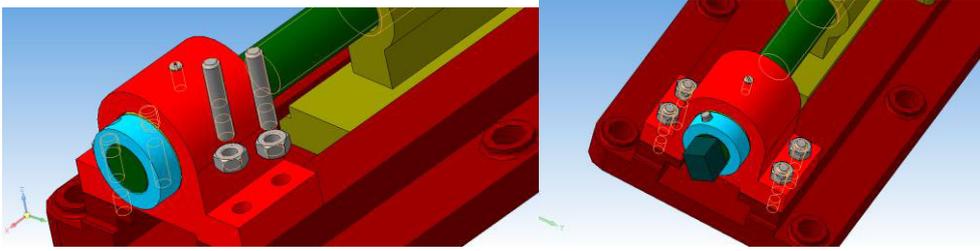


Рис. 6. Размещение шпилек и шайб

Задав *соосность* поверхности *шпильки* с отверстием в *корпусе* и *соосности* поверхности отверстия в *гайке* с поверхностью *шпильки*, а также *совпадение* поверхности *корпуса* с *шайбой* и с *шпилькой*, закрепляем сборку стандартными изделиями. Сборка закончена. [2]

Для того чтобы показать внутреннюю конфигурацию сборочной единицы выполнена сборка с разноской (рис. 7).

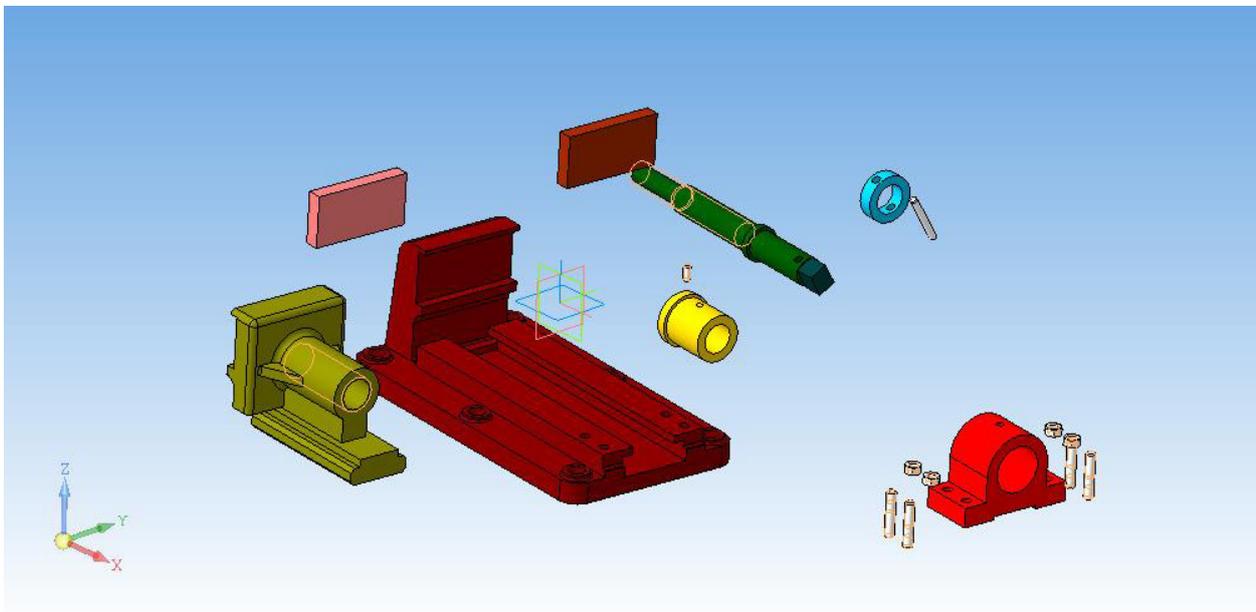


Рис. 7. Сборка с разноской

Список литературы: 1. КОМПАС-3D V16 : рук. пользователя [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - [Россия]: Аскон-Системы проектирования, 2015. https://edu.ascon.ru/source/info_materials/kompas_v16/KOMPAS-3D_Guide.pdf. - Загл. с экрана. 2. Видеоурок. <https://vidos.life/mobile/video/ezFo3XnjIzA>- Загл. с экрана.

РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО РИСУНКА В СОВРЕМЕННОМ ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ

Гайдарь О.Г., Кравченко С. О. (кафедра НГиИГ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Несмотря на широкое применение компьютерных технологий в проектной деятельности, использование технического рисунка не потеряло своей актуальности, а в некоторых видах деятельности даже расширило своё применение за счет новых возможностей предоставляемых ИТ.

Ключевые слова: технический рисунок, дизайн проект, творчество, скетчинг, концепт-арт.

Проектная деятельность будущего инженера сопряжена с изображением на плоскости различных объектов проектирования и требует владения различными приемами графики – от быстрых набросков от руки, до компьютерной графики. Тем не менее, на всех стадиях проектирования дизайнеры технологического оборудования применяют технический рисунок, как язык выражения замысла.

Рисунок, имея немаловажное значение в дизайне, довольно часто недооценивается в связи с компьютеризацией технологического процесса. Развивая целый пласт знаний, умений и навыков, занятия рисунком незаменимы в профессиональной деятельности дизайнера и имеют неограниченные возможности для развития творческих способностей студентов.

Техническим рисунком люди пользовались давно и в самых разных его видах: инженеры-конструкторы чаще всего использовали реалистический рисунок (перспективный), примером могут служить многочисленные рисунки Леонардо да Винчи. Модельеры одежды используют условный рисунок. Художники-прикладники пользуются своими особыми приемами. Даже в обыденной жизни мы часто прибегаем к помощи технического рисунка, объясняя друзьям свой адрес и расположение домов.

Чаще всего технический рисунок используется при создании новых объектов. Рождающаяся в сознании человека новая идея, возникший неожиданно новый образ объекта требуют немедленного закрепления, и наиболее простой, удобной и быстрой формой фиксации творческой мысли оказывается рисунок. Отмечая это качество технического рисунка, Генеральный авиаконструктор А. С. Яковлев писал: «Очень помогло мне в будущей моей работе умение рисовать. Ведь когда инженер-конструктор задумывает какую-нибудь машину, он мысленно во всех деталях должен представить себе свое творение и уметь изобразить его карандашом на бумаге». Активная творческая деятельность изобретателя, архитектора, инженера, художника-конструктора всегда начинается с технического рисунка.

Технический рисунок позволяет сразу увидеть преимущество новых конструктивных усовершенствований и дает основание приступить к переоборудованию или замене отдельных деталей машины. Но главное достоинство технического рисунка состоит в том, что он заставляет автора идти дальше, вносить в свой рисунок добавления и исправления, активизирует и совершенствует его творческую мысль. А это, в свою очередь, принуждает конструктора переходить к новым рисункам до тех пор, пока автор не приблизится к идеалу.

Истоками развития изображений являются первобытные рисунки и древние пиктограммы. Именно в них зарождается и формируется графический язык, основой которого является способ изображений. Рисунок появился, как средство общения между людьми, задолго до создания письменности. В дальнейшем на его основе

развивалось рисунчатое письмо. В древности многие народы любую информацию передавали с помощью рисунков.

В эпоху Возрождения открывались законы перспективы, закладывались практические основы отображения технической информации новыми графическими способами. Великим Леонардо да Винчи (1452-1519) в наследство потомкам были оставлены графические изображения летательного аппарата, метательных машин. Они были выполнены особым способом, который его современники называли «конической перспективой». Этот способ не потерял своей актуальности по сей день. В настоящее время он называется «линейной перспективой» и используется в архитектуре, рисунке, живописи, дизайне.

Несмотря на то, что рисунок не дает полного представления о внутреннем устройстве и действительных размерах изображаемого объекта, долгое время им пользовались как основным техническим документом, с помощью которого строили различные сооружения. Так, например, знаменитый своей архитектурой Софийский собор в Киеве (XI в.) был воздвигнут по рисункам. В Древней Руси по рисункам были построены новгородские и московские храмы и многие другие замечательные памятники старины. Со временем рисунки трансформировались в особый вид графического изображения - технические рисунки.

На миниатюрах XIV-XV вв. мы можем увидеть изображения, которые напоминают современные аксонометрические изображения и технические рисунки, используемые в настоящее время в инженерной графике.

Развитие техники вызвало необходимость совершенствовать методы и способы графических изображений. В XVIII в. условный (иногда примитивный) рисунок уступил место другому виду графического изображения - чертежу.

Инженер или дизайнер, приступая к созданию проекта, чаще всего начинает свою деятельность с построения технического рисунка, ведь он выполняется гораздо быстрее, чем чертеж, и более нагляден, т.е., с такого рисунка, который обладает высокой техникой исполнения и помогает составить чертеж, сделать проект.

В зависимости от характера объекта и задачи, поставленной в конкретном проекте, технический рисунок можно выполнить либо в центральной проекции (в перспективе), либо по правилам параллельных проекций (в аксонометрии), либо по условным правилам, относящимся к изображению специальных объектов.

Технический рисунок может быть линейным (без светотени) и объёмно-пространственным с передачей светотени и цвета.

Технический рисунок у дизайнеров и художников играет основополагающую роль, являясь первичной формой изображения. Какой бы объект мы не взяли, касается ли это планировки интерьера, комплекса зданий или технического изделия, техническому рисунку принадлежит главенствующая роль, а иногда и решающая. Если архитектору или дизайнеру удалось в *техническом рисунке* полностью решить поставленную задачу, он уверенно выполняет *технический проект* и отдаёт его на утверждение специальной комиссии, после чего проект уточняется, и по нему изготавливаются проектная документация или натурные макеты, которые затем оцифровываются.

Творческий и проектный потенциал технического рисунка значительно расширяется, касаясь и вовлекая в себя множество смежных явлений, схожих с ним по назначению.

Концепт-арт – изображение, предназначенное для визуальной передачи общей идеи произведения, а также, возможно, и настроения. С техническим рисунком

концепт-арт роднит создание на начальной стадии разработки и использование для дальнейшего совершенствования проекта на его основе. Нередко не предполагает подробную проработку технической стороны проекта и высокую детализацию, однако может создаваться с принципиальной подробностью и точностью. Основные современные сферы использования – кинематограф, анимация, игровая индустрия, индустрия комиксов.

Раскадровка – узкоспециализированная разновидность концепт-арта, предназначенная для корректирования процесса создания произведения, использующего несколько способов представления информации в линейной форме (текст+изображение, изображение+звук). Представляет собой последовательность изображений, визуализирующих сцены создаваемого комикса, видеоматериала или театральной постановки, передающие их порядок, композиционное построение, движение персонажей или объектов, используемые ракурсы и т.д.

Эскиз – быстрый набросок какого-либо объекта. В расширенной трактовке не является синонимом технического рисунка, и отличается от него меньшей степенью проработки и ориентированностью на дальнейшее использование автором или другими разработчиками, а не потребителем.

Скетч-иллюстрация (скетчинг) – также быстрый дизайнерский набросок, но ориентированный на потребителя и имеющий целью произвести впечатление и наладить коммуникацию с потребителем. Важнейшими признаками скетч-иллюстрации являются скорость выполнения и эффектность изображения. На протяжении долгого времени наблюдается тенденция проникновения техник скетчинга в современное искусство концепт-арта, что делает его более «живым» и менее формальным, нежели чем концепт-арты «старой школы».

Иллюстрация – один из классических примеров «сопроводительного» творчества, не нуждающийся в комментариях. Отметим лишь, что в отличие от большинства других «родственников» технического рисунка, иллюстрация имеет больше всего оснований восприниматься как самостоятельное произведение искусства, однако для полноценного восприятия все же требует контекста в виде текстового первоисточника.

Фэшн-иллюстрация – вид графики, предваряющий создание моделей одежды или же демонстрирующий уже разработанные в максимально эффектной манере изображения.

Архитектурная графика – вид графики, предназначенный для визуализации архитектурных замыслов или для демонстрации уже существующего сооружения.

Графическая модель (визуализация данных) – информация, представленная в визуально упорядоченной и структурированной форме для более удобного с ней обращения. Примерами графических моделей могут быть схемы и блок-схемы, диаграммы, графики, таблицы, отчасти – карты. Графическая модель нацелена на практическое использование потребителем со специальной подготовкой, составляется по алгоритму, часто – унифицирована. Объем данных, представленных в виде графической модели, может быть очень велик.

Инфографика – аналог графической модели, ориентированный на широкую аудиторию без специальных знаний; графический способ передачи данных, в котором сложная или обладающая разветвленной структурой информация визуализируется при помощи интуитивно понятных, располагающих к себе образов. Инфографика содержит меньше данных, чем полноценная графическая модель, и больше «декора».

Однако, технический рисунок не только развивает фантазию, творческое мышление и способность к генерации новых идей, но и по-прежнему тренирует руку, формирует навыки работы в различных техниках и средах. Причем последнее выражается в расширенной трактовке на порядок сильнее, чем в традиционной. Если прикладной эскиз–технический рисунок выполнялся в монохrome при помощи карандаша, пера или туши (т.е. достаточно скудного арсенала средств), то при новых условиях студент, выполняющий работы, может активно задействовать маркеры, линеры, капиллярные ручки, фломастеры и другие неортодоксальные материалы; использовать эффекты цветов и монохрома в желаемой степени; применять любые техники графики в соответствии с тематикой и задачами работы, а также обращаться к компьютерной среде при наличии навыков работы в графических редакторах или желании их развить.

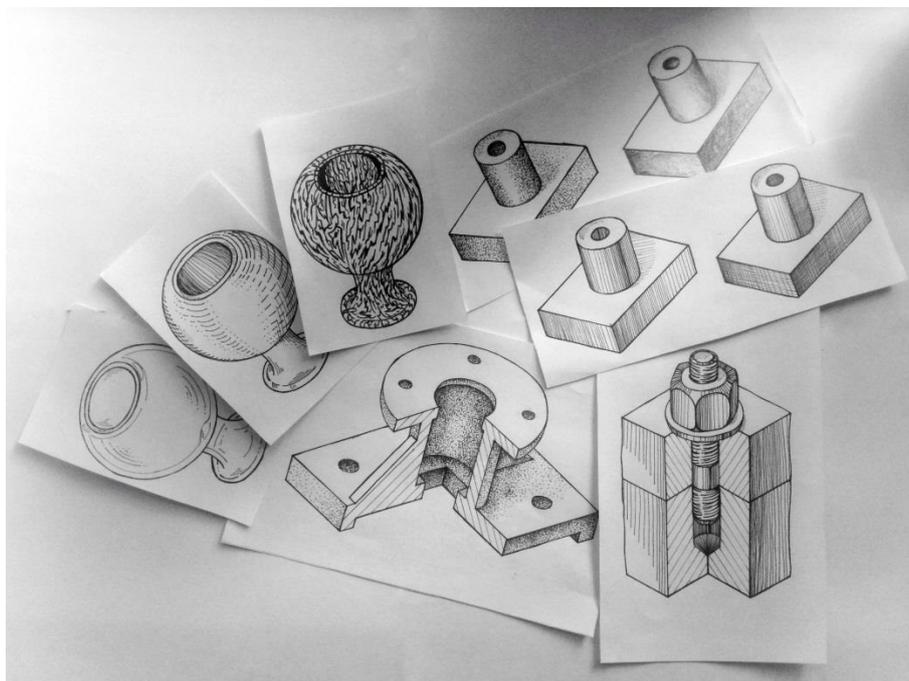


Рис. 1 – Примеры технических рисунков, выполненных автором.

Список литературы: 1. Чекмарев А.А. Начертательная геометрия и черчение.- М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005.-471 с. 2. ТЕХНИЧЕСКИЙ РИСУНОК: учебно-методическое пособие/ Писканова Е.А. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 122 с. 3. Георгиевский, О.В. Техническое рисование и художественно-графическое оформление чертежей / О.В. Георгиевский, Л.В. Смирнова. - М. : Астрель: Профиздат, 2007. – 64 с. 4. Бурдин Н. П., Шапин Е. В. Расширенная трактовка технического рисунка и ее методическое значение в подготовке дизайнеров // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 27. – С. 166–173. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/574032.htm>. 5. Прокофьева И.В., Демидов С.Г. Технический рисунок в курсе инженерной графики // Педагогика. Вопросы теории и практика. 2018. №2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskii-risunok-v-kurse-inzhenernoy-grafiki>

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ
МАТЕРИАЛА НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ
СТАЛИ 110Г13Л**

Бутенко В.И., Демешкин А.С. (кафедра ТМ, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)
Гусакова Л.В. (кафедра ПСАК, Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет, г. Москва, Россия)

***Аннотация.** Приведены результаты аналитического исследования напряжённого состояния материала в зоне резания при токарной обработке стали 110Г13Л. Получены формулы для определения нормальной и касательной сил и максимального нормального напряжения на передней поверхности резца с отрицательным передним углом для условий резания без нароста или застойной зоны.*

***Ключевые слова:** трение, передняя поверхность резца, нарост, силы, напряжения.*

В работе [1] доказано, что между стружкой и передней поверхностью инструмента на различных участках контакта имеет место два вида трения, отличающихся по своей физической природе. В первой зоне контакта, прилегающей к режущей кромке резца, силы трения настолько значительны, что касательные напряжения, развиваемые ими, оказываются выше предела текучести обрабатываемого материала. В связи с этим перемещение всей массы стружки относительно передней поверхности инструмента осуществляется исключительно за счёт внутренних сдвигов материала в прирезцовых слоях стружки. Во второй зоне контакта стружки с передней поверхностью инструмента, удалённой от режущей кромки, нормальные напряжения значительно уменьшаются и перемещение стружки сопровождается её внешним скольжением относительно передней поверхности инструмента. Однако при токарной обработке стали 110Г13Л, осуществляемой резцами с отрицательным передним углом при практически отсутствующем наросте на передней поверхности инструмента, распределение нормальных σ_y и касательных τ_y напряжений на передней поверхности инструмента отличается от традиционного и схематично может быть представлено в виде кривых $\sigma_y = \sigma(y)$ и $\tau_y = \tau(y)$, построенных в системе координат, начало которой находится в точке, удалённой от режущей кромки резца на расстоянии l , равном длине контакта стружки с передней поверхностью инструмента (рис. 1). При этом зависимость $\sigma_y = \sigma(y)$ с достаточно хорошим приближением можно считать параболической на всём интервале изменения координаты x от нуля до l , описываемой уравнением следующего вида [1, 2]:

$$\sigma_y = \sigma(x) = \frac{\sigma_{\max}}{l^n} \cdot x^n, \quad (1)$$

где σ_{\max} – максимальные нормальные напряжения вблизи режущей кромки резца при $x \approx l$;

n – постоянная величина, зависящая от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Касательные напряжения τ_y на первом участке контакта стружки с передней поверхностью резца изменяются пропорционально нормальным напряжениям σ_y и определяются из зависимости:

$$\tau_y = \mu \cdot \sigma_y, \quad (2)$$

где μ – коэффициент внешнего трения между стружкой и передней поверхностью резца.

Возрастание касательных напряжений τ_y в зоне контакта с передней поверхностью резца в отличие от нормальных напряжений σ_y ограничено: как только напряжения τ_y достигает величины, равной сопротивлению сдвига обрабатываемого материала τ_s , дальнейшее

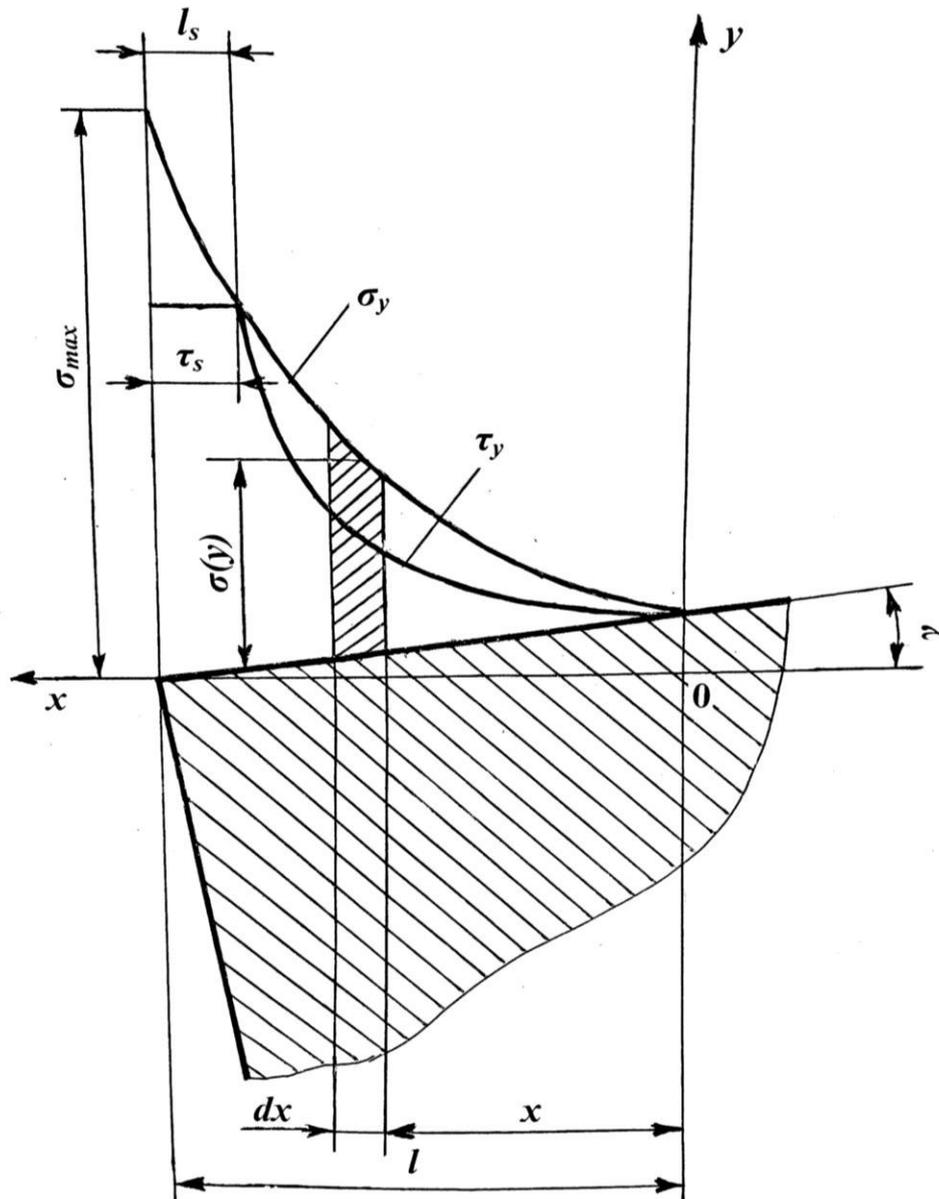


Рис. 1. Характер изменения нормальных σ_y и касательных τ_y напряжений на передней поверхности резца при точении стали 110Г13Л

возрастание касательных напряжений τ_y прекращается. Это объясняется тем, что в момент достижения $\tau_y \approx \tau_s$ внешнее скольжение стружки по передней поверхности резца заменяется энергетически более выгодными внутренними сдвигами материала стружки,

которая при обработке стали 110Г13Л имеет вид стружки скалывания [1 – 5]. Поэтому на втором участке контакта стружки с передней поверхностью инструмента касательные напряжения τ_y остаются практически постоянными (рис. 1).

Согласно исследованиям, выполненным в работе [1], основным условием резания металлов без нароста на передней поверхности инструмента является соотношение $\sigma_{max} > \tau_s$. В случае, если $\sigma_{max} \leq \tau_s$, в зоне контакта сходящей стружки с передней поверхностью инструмента возникает нарост (или застойная зона), форма и размеры которого, а также сила трения стружки с передней поверхностью инструмента F_1 определяются режимами резания, геометрией инструмента и условиями обработки материала.

Нормальная N и касательная F силы, действующие на всей площади контакта стружки с передней поверхностью резца, определяются интегрированием выражений (1) и (2):

$$N = c \int_0^l \sigma_y dy = \frac{l \cdot c \cdot \sigma_{max}}{n + 1}, \quad (3)$$

где c – ширина среза с учётом усадки стружки.

Касательная сила F , действующая на всей площади контакта стружки с передней поверхностью резца, равна сумме сил, действующих в первой F_s и во второй F_c зонах:

$$F_s = c \cdot l_s \cdot \tau_s; \quad (4)$$

$$F_c = \mu_y \cdot N_1 c = \frac{\mu_y \cdot c \cdot \sigma_{max}}{(n + 1) \cdot l^n} \cdot (l - l_s)^{n+1}, \quad (5)$$

где l_s – длина первой зоны контакта стружки с передней поверхностью резца.

Тогда касательная сила F после соответствующих преобразований определится по формуле:

$$F = F_s + F_c = \frac{\mu_y \cdot c \cdot \sigma_{max}}{l^n} \cdot (l - l_s)^{n+2}. \quad (6)$$

Учитывая соотношения (1) и (2) при $x = (l - l_s)$, формула определения напряжения τ_s будет иметь следующий вид:

$$\tau_s = \mu_y \cdot \frac{\sigma_{max}}{l^n} \cdot (l - l_s)^{n+1}. \quad (7)$$

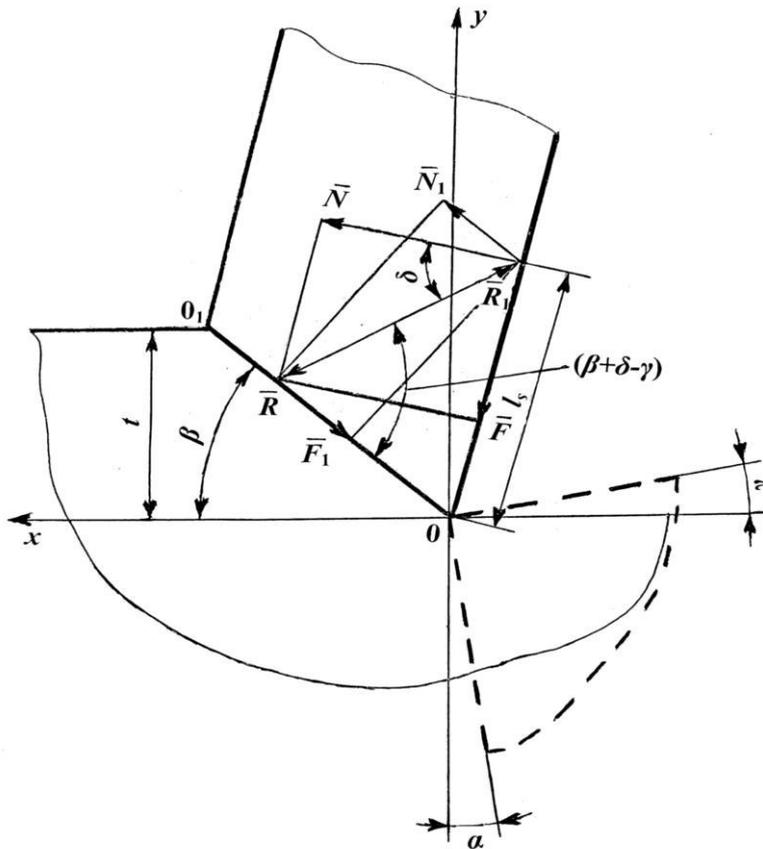


Рис. 2. Система сил, действующих на образующуюся в зоне резания стружку

Для определения максимального нормального напряжения σ_{max} была рассмотрена система сил, действующих на образующуюся стружку со стороны плоскости сдвига и со стороны передней поверхности резца, представленная на рис. 2. Пусть силы N и F приложены на расстоянии l_s от режущей кромки резца.

Тогда из рис. 2 следует, что момент элементарной силы dN относительно режущей кромки инструмента равен

$$dM = dN(1-x), \text{ или } dM = \frac{\sigma_{max} \cdot c \cdot y^n \cdot (l-x)}{l^n} \cdot dx, \quad (8)$$

где $dN = c \cdot \sigma_y \cdot dx$.

Интегрированием второго уравнения (8) в пределах от 0 до l получается формула для определения момента M нормальной силы N :

$$M = \frac{\sigma_{max} \cdot c \cdot l^2}{(n+1) \cdot (n+2)}. \quad (9)$$

С другой стороны, момент нормальной силы N относительно режущей кромки резца можно определить из выражения:

$$M = N \cdot l_s. \quad (10)$$

Учитывая, что величина нормальной силы N определяется по формуле (3) и принимая во внимание формулы (9), (10) определения момента M , расстояние l_s от режущей кромки резца до точки приложения сил N и F определится из зависимости [1, 2]

$$l_s = \frac{l}{(n+2)}. \quad (11)$$

Величина равнодействующей силы на передней поверхности резца R определится по формуле:

$$R = \frac{\sigma_{\max} \cdot c \cdot l}{(n+2) \cdot \cos \delta}, \quad (12)$$

где угол $\delta = \arctg(F/N)$.

По условию равновесия в зоне резания на плоскости сдвига $O - O_1$ должна действовать сила R_1 , равная по величине R и противоположно направленная. Эта сила обусловлена процессами скалывания материала в образующейся стружке и зависит от сил N_1, F_1 , которые определяются аналогично силам N и F :

$$N_1 = \frac{\sigma_{\max} \cdot c \cdot l \cdot \sin(\beta + \delta - \gamma)}{(n+1) \cdot \cos \delta}, \quad F_1 = \frac{\tau_s \cdot c \cdot t}{\sin \beta}, \quad (13)$$

где β – угол сдвига материала в зоне стружкообразования;
 t – глубина резания.

Равнодействующая R_1 системы сил N_1 и F_1 будет иметь вид:

$$R_1 = \frac{\tau_s \cdot c^2 \cdot t \cdot \cos(\beta + \delta - \gamma)}{l \cdot \sin \beta \cdot \sin^2(\beta + \delta - \gamma)(n+1)}. \quad (14)$$

Приравняв выражения (12) и (14) для определения равнодействующих R, R_1 , приняв $\tau_s = \sigma_{cd}$ (здесь σ_{cd} – напряжение сдвига обрабатываемого материала) и выразив в полученном равенстве максимальные нормальные напряжения σ_{\max} , после соответствующих преобразований получается следующая формула определения σ_{\max} для условий резания металлов без нароста на передней поверхности инструмента:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_{cd} \cdot c \cdot t \cdot \sin^2(\beta + \delta - \gamma) \cdot (n+2)}{l^2 \cdot \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \cos(\beta + \delta - \gamma)}. \quad (15)$$

Полученная формула (15) для определения σ_{\max} может быть использована для выбора вида инструментального материала режущей части резца при токарной обработке стали 110Г13Л по заданным значениям режимов резания и принятой геометрии инструмента.

Список литературы: 1. Бутенко, В.И. Совершенствование процессов обработки авиационных материалов / В.И. Бутенко, Д.С. Дуров. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 127 с. 2. Полетика, М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. – 150 с. 3. Рыжкин, А.А. Синергетика изнашивания инструментальных материалов при лезвийной обработке / А.А. Рыжкин. – Ростов-на-Дону: Издат. центр ДГТУ, 2019. – 289 с. 4. Талантов, Н.Ф. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения режущего инструмента / Н.Ф. Талантов. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с. 5. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 309 с. 6. Васильков, Д.В. Динамики контактных взаимодействий при обработке резанием / Д.В. Васильков // Тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. по динамике технологических систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2001. – С. 9 – 13.

DIMENSIONAL ACCURACY OF MACHINING TECHNOLOGIES

Toca A., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.
(*Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*)

The paper discusses the methodology for determining the accuracy of technological processes, taking into account that these processes are discrete. Discreteness is manifested at different levels: the process consists of a certain number of operations, the operation consists of a number of adjustments and the adjustment consists of a number of operation elements. Each of these levels is a dimensional object with its own internal dimensional structure. The links between dimensional levels are complex and the process is iterative with the ability to return to a higher level.

1. INTRODUCTION

The existing classical methods to design technological process are complex and do not provide the required level of quality and reliability of technologies. The theory of manufacturing engineering to design the technology has a well-developed content part, but it is not sufficiently formalized. The designing processes for complex parts and for conditions of use of the CNC machine tools is more challenging in terms of both general approach and from the point of view of formalizing the process used and logical-mathematical apparatus.

The design process of the technologies should be considered more perfect if it requires a smaller number of information changes, including a smaller number of iterations. The technological process should be considered more perfect when it requires for use a smaller number of transformations of matter and energy which are also displayed via relevant information.

One of the most complicated problems during the elaboration of the manufacturing process is the synthesis of dimensional structure. Not only dimensional analysis of a developed manufacturing process but also to achieve on this basis the optimum dimensional structure it is necessary to execute.

The machining processes are referred to discrete processes. The discreteness is manifested at different levels: the process consists of a certain number of operations, the operation consists of a number of adjustments and the adjustment consists of a number of operation elements. Each of these levels is a dimensional object with its own internal dimensional structure. The links between dimensional levels are complex and the optimization process is iterative with the ability to return to a higher level.

The dimensional analysis takes a special place during designing technology, concerning the stage of designing and also the stage of technological designing [1-6]. The purpose of this process is to establish the values of working dimensions and working tolerances for the part at each technological element, so that the cost of machining would be minimally possible.

2. DIMENSIONAL OPTIMALITY OF THE MACHINING TECHNOLOGIES

Machining technologies represent sophisticated multilevel structures and for this reason achieving of the optimality is required for each structural level: machining technology, technological operation, technological mounting, technological element.

The modern technologies are based on the use of CNC machine-tools and machining centers so the dimensional and information discontinuities inherent in multi-operational tech-

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation [7] one can write down:

$$\begin{aligned} \omega_{Ad_1^1} &= (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp} & \omega_{Ad_3^1} &= (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega_{3^0 3^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_1^2} &= (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp} & \omega_{Ad_3^2} &= (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega_{3^1 3^2}^{comp} \\ \omega_{Ad_2^1} &= (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega_{2^0 2^1}^{comp} & \omega_{Ad_4^1} &= (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega_{4^0 4^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_2^2} &= (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega_{2^1 2^2}^{comp} & \omega_{Ad_4^2} &= (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega_{4^1 4^2}^{comp} \end{aligned}$$

From these relations it results, that the tolerance of a machining allowances deleted with a surface is defined by an accuracy of the appropriate technological sizes at two sequential stages of machining and the accuracy of sizes between technological locating datum surface and adjustment surface at two sequential stages of machining.

Another variant is demonstrated on fig. 2. Constructive dimensions are given from the surface 1, however the technological dimensions are given from locating datum surface 7.

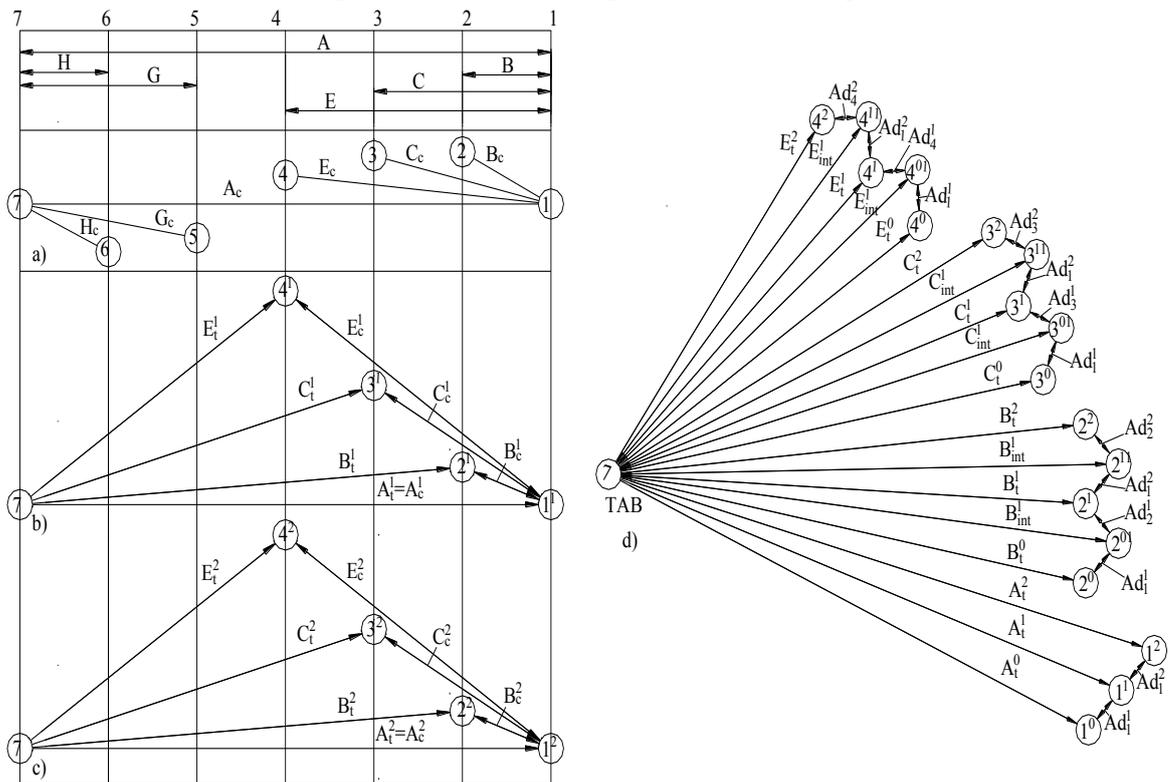


Fig. 2. Example 2 of constructive variant of a detail and the appropriate structures of the dimensional technological links.

In a ratio of tolerances ω for the technological elements $i = 1, 2$ it is possible to write:
 $\omega_{A_t^i} \leq \omega_{A_c^i}$; $\omega_{B_t^i} + \omega_{A_t^i} \leq \omega_{B_c^i}$; $\omega_{C_t^i} + \omega_{A_t^i} \leq \omega_{C_c^i}$; $\omega_{E_t^i} + \omega_{A_t^i} \leq \omega_{E_c^i}$.

From these expressions follows that the accuracy of the technological sizes must be higher than the accuracy of the corresponding constructive sizes. For the case

$A_c = 100(IT13)$ and $B_c / A_c = 0.02...0.98$ the number of tolerance units of the technological size a_{Bt} is within $0.13...0.8$ of the number of constructive size's tolerance units (fig. 3). The accuracy of the technological size increases from IT13 to IT9...IT12. This technological scheme for small sizes is especially disadvantageous.

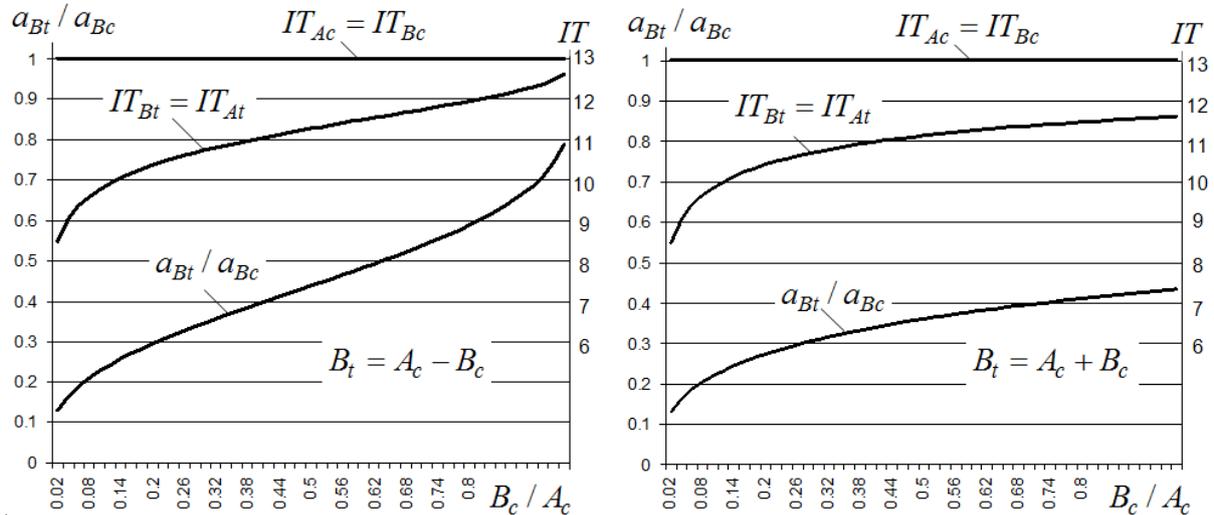


Fig. 3. The accuracy's increase of the technological sizes in comparison with the accuracy of the constructive sizes.

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation one can write down:

$$\begin{aligned} \omega_{Ad_1^1} &= (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_1^2} &= (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp} \\ \omega_{Ad_2^1} &= (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega_{2^0 2^1}^{comp} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_2^2} &= (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega_{2^1 2^2}^{comp} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp} \\ \omega_{Ad_3^1} &= (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega_{3^0 3^1}^{comp} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_3^2} &= (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega_{3^1 3^2}^{comp} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp} \\ \omega_{Ad_4^1} &= (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega_{4^0 4^1}^{comp} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp} \\ \omega_{Ad_4^2} &= (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega_{4^1 4^2}^{comp} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp} \end{aligned}$$

From these relations it results, that the tolerance of a machining allowances deleted with a surface is defined by an accuracy of the appropriate technological sizes at two sequential stages of machining and the accuracy of sizes between technological locating datum surface and adjustment surface at two sequential stages of machining. It is possible to draw an output,

that in case of use at machining instead of technological locating datum surface the adjustment surface, thus the tolerance of the machining allowances depends on tolerances of all technological sizes at two adjacent stages of machining, defining a position of a processed surface concerning each adjustment surfaces used till technological locating datum surface.

Another variant is demonstrated on figure 4. Constructive dimensions are given in chain from the surface 1, however the technological dimensions are give from locating datum surface 7.

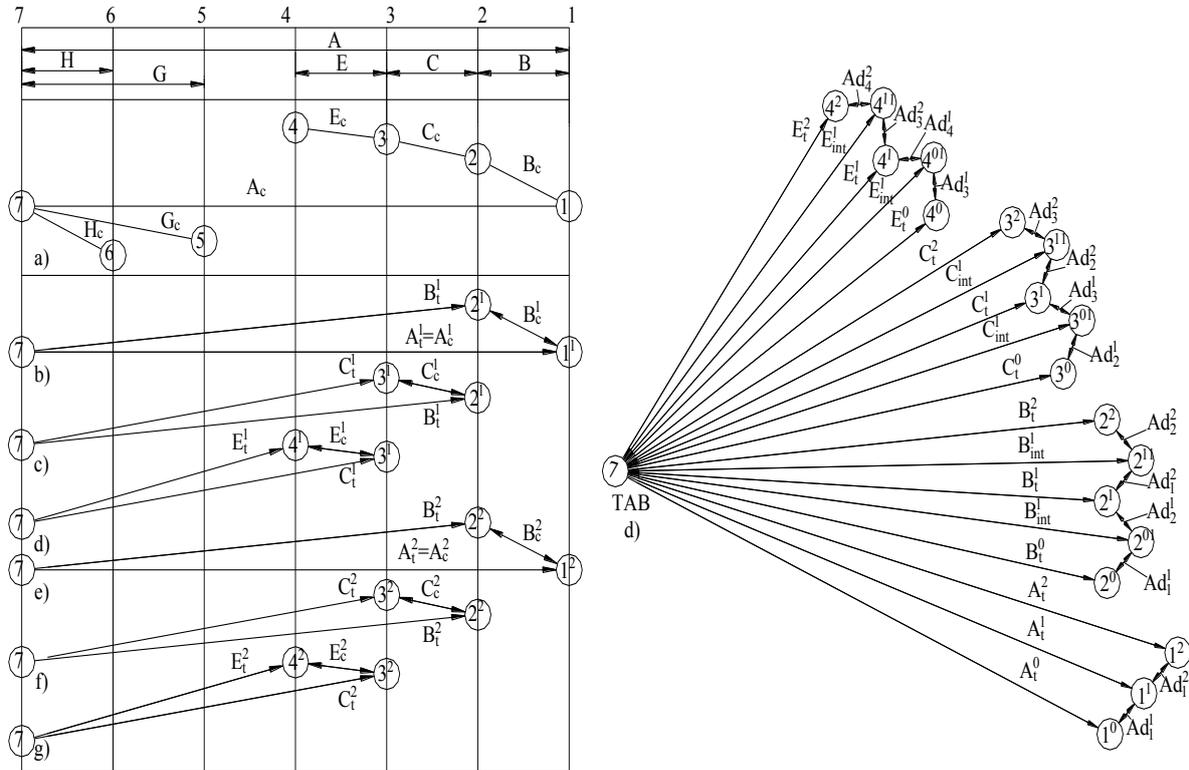


Fig. 4. Example 3 of constructive variant of a detail and the appropriate structures of the dimensional technological links.

In a ratio of tolerances ω for the technological elements $i = 1, 2$ it is possible to write: $\omega_{A_t^i} \leq \omega_{A_c^i}$, $\omega_{B_t^i} + \omega_{A_t^i} \leq \omega_{B_c^i}$, $\omega_{C_t^i} + \omega_{B_t^i} \leq \omega_{C_c^i}$, $\omega_{E_t^i} + \omega_{C_t^i} \leq \omega_{E_c^i}$. From these expressions follow, so as in the previous case, that the accuracy of the technological sizes is higher than the accuracy of the constructive sizes (fig. 3).

Resolving the dimension chains for the machining allowances taking into account the effect of error's compensation one can write down:

$$\omega_{Ad_1^1} = (\omega_{A_0} + \omega_{A_1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_1^2} = (\omega_{A_1} + \omega_{A_2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_2^1} = (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega_{2^0 2^1}^{comp} + (\omega_{A_t^0} + \omega_{A_t^1}) - 2\omega_{1^0 1^1}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_2^2} = (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega_{2^1 2^2}^{comp} + (\omega_{A_t^1} + \omega_{A_t^2}) - 2\omega_{1^1 1^2}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_3^1} = (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega_{3^0 3^1}^{comp} + (\omega_{B_t^0} + \omega_{B_t^1}) - 2\omega_{2^0 2^1}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_3^2} = (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega_{3^1 3^2}^{comp} + (\omega_{B_t^1} + \omega_{B_t^2}) - 2\omega_{2^1 2^2}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_4^1} = (\omega_{E_t^0} + \omega_{E_t^1}) - 2\omega_{4^0 4^1}^{comp} + (\omega_{C_t^0} + \omega_{C_t^1}) - 2\omega_{3^0 3^1}^{comp}$$

$$\omega_{Ad_4^2} = (\omega_{E_t^1} + \omega_{E_t^2}) - 2\omega_{4^1 4^2}^{comp} + (\omega_{C_t^1} + \omega_{C_t^2}) - 2\omega_{3^1 3^2}^{comp}$$

It is evident that the formation of the machining allowance's tolerances is on similar to the previous case. The difference lies in the fact that the machining allowance's tolerances is influenced by the tolerances of the technological sizes of the neighbors in a chain rather than the technological size given from adjustment base.

3. CONCLUSIONS

The schemes of machining with a formation of sizes from technological locating datum surface are characterized by unfavorable conditions of accuracy formation for constructive sizes. In some cases, the machining accuracy can be significantly greater than the accuracy of constructive sizes. The reason for this phenomenon is that the constructive dimensional structure of the part does not coincide with the dimensional structure of the technological system. From the point of view of the accuracy assurance strategy, the optimality of the technological process is ensured by the formation of each constructive size by its corresponding technological size. The machining allowances may have sufficiently large tolerances because their tolerance depends on the multiples change of the technological bases, and the entire size chain to the technological base. High tolerances for the machining allowances require the establishing the large cutting depths which sometimes require an additional operational elements.

References. **1.** Thilak M., Senthil Kumar N., Jayaprakash G. Optimal tolerance allocation through tolerance chain identification system. *International Journal of Applied Engineering Research*, V10, No78, 2015, pp. 160 – 168; **2.** González Contreras F. An improved tolerance charting technique using an analysis of setup capability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. V. 62, Issue 9–12, 2012, pp 1205–1218; **3.** Perminov A. V. The synthesis of dimensional structure of technological processes of machining with the help of a matrix of the dimensional chains. *The News of High Schools. Mechanical engineering (Moscow)*, No 4, 2002, pp 26-30; **4.** Y.A. Mokrushin, V.Y. Shamin, Univ. proc. Volga region. *Machine sciences and building*, **1**, 123-130 (2013); **5.** E.G. Rahmilevich, *Tehnologîa Maşinostroeniâ*, **1**, 53-56 (2013); **6.** W. Li, G. Bai, C. Zhang and B. Wang, *Int. J. Prod Research*, **38**, 6 (2000); **7.** A. Toca, I. Stingaci, I. Rushica, *Proceeding Modern Technologies, Quality and Innovation*, 953-956 (2012)

ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В ПРОЦЕССЕ КУРСА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ»

Ломаковский К.Б. (асп. каф. ГМ, ДонНТУ, г. Донецк)

Приходченко Е.И. (д. пед. наук, проф. каф. СиП, ДонНТУ, г. Донецк)

***Аннотация.** В статье указаны основные вопросы при изучении курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования» будущими инженерами-конструкторами проходческих комбайнов. Приведены цели, задачи, получаемые компетенции.*

***Ключевые слова:** подготовка кадров, профессиональные знания, проходческий комбайн, высококвалифицированные кадры, профессиональные компетенции.*

Постановка проблемы.

Важнейшим аспектом развития и независимости любого государства является подготовка высокопрофессиональных инженерных кадров. Для донецкого региона наиболее остро стоит вопрос подготовки квалифицированных инженеров-конструкторов. Это связано с наличием крупных научно-исследовательских институтов и машиностроительных предприятий, занимающихся проектированием и изготовлением современного горного оборудования, как для местных шахт, так и на экспорт. Перед высшими учебными заведениями стоит задача не просто подготовить высококлассных инженеров-конструкторов, а обучить специалистов для ведения инновационной деятельности. На основании чего можем утверждать, что получение высшего технического образования является не просто усвоением некоторого количества профессиональных знаний по узкоспециализированным предметам, а направлено на развитие творческого мышления, и создание нового, более совершенного горного оборудования, отвечающего требованиям мировых стандартов. Поэтому, подготовка высококвалифицированных кадров не может быть осуществлена без важнейшей дисциплины – «Горные машины» и курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования».

Для решения поставленной проблемы должны быть выполнены следующие задачи: изучить литературу по данной проблеме; провести сравнительный анализ взглядов ученых отечественной и зарубежной науки на рассматриваемую проблему.

Научные исследования проблемы.

Проблемой совершенствования учебного процесса занималось большое количество ученых-педагогов, таких как: О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук, М.Н. Фунтиков, А.В. Хуторской и др.[1-5]. Результаты их трудов направлены на организацию учебного процесса таким образом, чтобы материал, получаемый студентами от преподавателей, усваивался максимально эффективно и в полном объеме. Для этого следует использовать интерактивные методы обучения, которые подразумевают использование натуральных и/или мультимедийных источников информации.

Основное содержание и результаты работы.

Будущие горные инженеры-конструкторы при изучении курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования», как правило, опираются на знания и опыт, полученные ранее при изучении таких дисциплин, как: «Высшая математика»,

«Физика», «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Электротехника», «Гидромеханика», «Гидро- и пневмопривод горных машин и комплексов» и т.д. В процессе изучения курса группой студентов было принято решение самостоятельно провести глубокую модернизацию широко известного комбайна проходческого КСП-32.

Для более качественного выполнения данного вида работы потребовалась длительная, настойчивая работа по формированию различных видов мышления - латерального, радиантного, критического, комбинаторно-логического и креативного. Усердная работа и преподавателей, и студентов увенчались успехом. Логически выстраивая рассуждения с применением переменных видов мышления, обучаемые убедительно доказывали истинность или ложность какого-либо вывода, проявляли глубину, гибкость, последовательность, широту деятельностных и интеллектуальных качеств.

Для достижения указанной цели данной группой молодых конструкторов сделано следующее:

1. Разработана полностью новая ходовая часть с полным отказом от применения танковых узлов. В новой ходовой части приводная звезда опущена практически на почву, в раму тележки встроены простой редуктор с прямыми зубьями цилиндрическими передаточными. Такое решение позволило не только уменьшить высоту ходовой тележки, но и увеличить ширину траков с 550 до 740 мм. Аналогичный редуктор и подобные траки применяются на тяжелом 75-тонном комбайне КСП-42. Проблемы с редуктором и траками там не зафиксированы. Это совершенно надежный узел. За счет ширины траков удельные давления на почву комбайна КСП-34(35) снизятся с 0,15 МПа до 0,13 МПа и это при том, что массу комбайна мы сознательно увеличим с 45 до 50 тонн. Рост массы положительно скажется на устойчивости машины и на эффективности разрушения крепких пород.

2. На 200 мм опустится исполнительный орган вместе со своей подвеской, на эти же 200 мм снизится высота всего комбайна. При этом очевидно, что исполнительным органом зажимается место для погрузочного органа - питателя. Как ни странно, но за счет правильного выбора геометрии в корпус питателя удалось вкомпоновать ту же проверенную начинку редуктора питателя КСП-42 с минимальными изменениями, и сделать погрузочные звезды. Зазор под стрелой исполнительного органа в нижнем положении составил 200 мм (то же, что и было на КСП-32).

3. Став конвейера пришлось сделать вогнутым для возможности прохода негабаритов под подшипниковым узлом подвески исполнительного органа. Соответственно, скребковая цепь на этом участке проходит в направляющих, исключая ее «всплывание». Решение достаточно традиционное для большинства проходческих комбайнов из дальнего зарубежья. Кроме того, ширина става скребкового конвейера увеличена с 534 до 670 мм и скорость движения цепи с 0,9 до 1,1 м/с. Таким образом, производительность конвейера и в целом погрузки с учетом применения погрузочных звезд вырастет почти в 1,5 раза по сравнению с КСП-32. Вместе с тем, увеличение ширины става снизит время простоев, связанных с пропуском негабаритов через проходное окно конвейера.

4. Неприятным местом в компоновке комбайна КСП-32 в исполнении с подъемно-поворотным конвейером является узел подъема, возвышающийся над уровнем почвы на 2310 мм. Конечно, это недопустимая высота. Это место удалось существенно понизить до приемлемой величины 1990 мм, то есть на 320 мм ниже.

5. Для обеспечения возможности проведения выработок высотой 5 м более низкой машиной, пришлось удлинить горловину редуктора исполнительного органа на 200 мм.

Кроме большого размаха стрелы, это решение позволило отодвинуть от режущей коронки выступающую часть редуктора исполнительного органа и, тем самым, улучшить вписываемость исполнительного органа в низкой выработке.

Результаты данной работы высоко оценены специалистами Ясиноватского машиностроительного завода и проектно-конструкторского института Донуглемаш. Полученные профессиональные знания и компетенции потребуются будущим горным инженерам-конструкторам в дальнейшем, при изучении таких курсов, как: «Эксплуатация горных машин и оборудования», «Техническая диагностика горных машин», «Моделирование рабочих процессов горных машин», «Системы автоматизированного проектирования горных машин», «Аппаратура и методы экспериментальных исследований горных машин и оборудования», выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации.

Заключение.

Таким образом, полученные знания и опыт конструкторских работ в результате изучения курса «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования», являются основой для будущего горного инженера-конструктора и крайне необходимы ему для дальнейшего трудового развития и профессионального роста. Последующие исследования нацелены на совершенствование учебного процесса и качественную подготовку молодых специалистов.

Список литературы: 1. Мешкова, О.Б. Аспекты развития преподавания специальных технических дисциплин при использовании метода двумерной дидактики [Текст] / О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук. – Новые исследования в разработке техники и технологий. – Сочи: Из-во Международного инновационного ун-та, 2017. №1. – С. 49-55. 2. Приходченко, Е.И. Организация интегративной среды процесса обучения при подготовке специалистов инженерного профиля [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль: Ярославский филиал ПГУПС, 2018. № 1. – С. 138-142. 3. Приходченко, Е.И. Применение инновационного подхода к повышению эффективности проведения лабораторно-практических занятий [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль: Ярославский филиал ПГУПС, 2017. Т. 1. № 1-1. – С. 181-185. 4. Фунтиков, М.Н. Анализ использования средств информационно-коммуникационных технологий в формировании современной доктрины инженерного образования [Текст] / М.Н. Фунтиков. – Вестник Института гражданской защиты Донбасса: научный журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – Вып. 4(4). – С. 59-65. 5. Хуторской, А. В. Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования / А. В. Хуторской // Ученик в обновляющейся школе. – М.: ИОСО РАО, 2002. – С. 135 – 157.

**ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ КУРСА «ГОРНЫЕ
МАШИНЫ»**

Зинченко П.П. (асп. каф. ГМ, ДонНТУ, г. Донецк)

Приходченко Е.И. (д. пед. наук, проф. каф. СиП, ДонНТУ, г. Донецк)

***Аннотация.** В статье указаны основные вопросы при изучении курса «Горные машины» студентами инженерных специальностей. Приведены цели, задачи, а также получаемые компетенции.*

***Ключевые слова:** подготовка кадров, профессиональные знания, усвоение знаний, высококвалифицированные кадры, профессиональные компетенции.*

Постановка проблемы.

Главным аспектом в социально-экономическом развитии любого государства является подготовка высококвалифицированных инженерных кадров. Для донецкого региона наиболее остро стоит вопрос подготовки высококвалифицированных горных инженеров-механиков. Это связано с наличием значительного количества действующих шахт на территории Донбасса, а также научно-исследовательских институтов и машиностроительных заводов, занимающихся разработкой и созданием современного горного оборудования. Более того, перед высшими учебными заведениями стоит задача не просто подготовить высококлассных горных инженеров-механиков, а обучить специалистов для ведения инновационной деятельности в эпоху индустриализации 4.0. Следовательно, получение высшего технического образования является не просто усвоением некоторого количества профессиональных знаний по узкоспециализированным предметам, а направлено на развитие способности мыслить, действовать и совершенствоваться или же создавать новое более совершенное горное оборудование. Поэтому, подготовка высококвалифицированных кадров не может быть осуществлена без одной из основополагающих дисциплин, а именно «Горные машины».

Для решения поставленной проблемы должны быть выполнены следующие задачи: изучить литературу по данной проблеме; провести сравнительный анализ взглядов ученых отечественной и зарубежной науки на рассматриваемую проблему.

Научные исследования проблемы.

Проблемой совершенствования учебного процесса занималось большое количество ученых-педагогов, таких как О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук, М.Н. Фунтиков, А.В. Хуторской и др. [1-5]. Результаты их трудов направлены на организацию учебного процесса таким образом, чтобы материал, получаемый студентами от преподавателей, усваивался максимально эффективно и в полном объеме. Для этого следует использовать интерактивные методы обучения, которые подразумевают использование натурные и/или мультимедийные источники информации.

Основное содержание и результаты работы.

Будущие горные инженеры-механики при изучении курса «Горные машины» опираются на познания и опыт, полученные ранее при изучении таких базовых дисциплин, как: «Высшая математика», «Физика», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Материаловедение», «Основы горного дела», «Теоретическая механика», «Сопrotивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Электротехника», «Гидромеханика», «Гидро и пневмопривод горных машин и комплексов», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения» и т.д. В процессе изучения ука-

занных дисциплин, решаемые студентами задачи должны быть максимально приближены к будущим направлениям работы. Это необходимо для более полного усвоения полученных знаний и успешного использования их в дальнейшем.

Изучение дисциплины «Горные машины», предполагает рассмотрение основных вопросов, а именно: основы механизации очистных и подготовительных работ; эксплуатационные и технические характеристики, а также принцип действия горных машин и комплексов; технологические схемы и теоретические основы работы горных машин и комплексов; порядок и особенности технической эксплуатации горных машин и комплексов. При получении профессиональных знаний, студентам следует заострить внимание на классификации и конструкции горных машин и комплексов для различных горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации, более глубоко изучить принятые технические решения для тех или иных машин. В процессе получения знаний преподаватели широко используют интерактивный материал в виде плакатов, презентаций и специализированных видеороликов, что способствует более полному усвоению материала, а при проведении лабораторных работ – парк реальных образцов горной техники, работающей в условиях шахт. Так в качестве примера на рис. 1 представлен фрагмент лабораторной работы на тему «Очистные механизированные комплексы» проведенной на кафедре «Горные машины» ДонНТУ, с использованием действующего образца очистного механизированного комплекса 2МКД90.



Рис. 1. Фрагмент ведения лабораторной работы с использованием серийной техники

Главной целью при изучении дисциплины «Горные машины» является получение профессиональных знаний в области назначения горных машин, изучение предъявляемых к ним требований, классификации, особенностей построения, функционирования и перспективных путей развития горных машин и комплексов нового технического уровня. Более того при получении профессиональных знаний по курсу «Горные машины» у студентов формируется навык к самостоятельной работе, который должен иметь каждый высококвалифицированный горный инженер механик. Данный навык пригодится будущему инженеру механику при эксплуатации и обслуживании горных машин и комплексов в его дальнейшей профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины будущий горный инженер-механик должен знать особенности проектно-конструкторских решений и принципов действия горных машин и комплексов нового технического уровня, а также уметь обосновать выбор рациональных типов машин под конкретные горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации; определять основные параметры (силовые, кинематические, механические, электрические, гидравлические) горных машин и комплексов; формировать предложения по совершенствованию имеющихся серийных образцов машин.

Все выше перечисленное является базисом при формировании таких компетенций, как:

- способности к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;
- готовности использовать технические средства опытно-промышленных испытаний оборудования и технологий при эксплуатационной разведке, добыче, переработке твердых полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации подземных объектов;
- готовности принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством.

Полученные профессиональные знания и умения, будущим горным инженером-механиком, в результате усвоения дисциплины «Горные машины», потребуются в дальнейшем при изучении таких курсов, как: «Конструирование горных машин и оборудования», «Проектирование и конструирование горных машин и оборудования», «Эксплуатация горных машин и оборудования», «Техническая диагностика горных машин», «Моделирование рабочих процессов горных машин», «Системы автоматизированного проектирования горных машин», «Аппаратура и методы экспериментальных исследований горных машин и оборудования», выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации.

Заключение.

Таким образом, полученные знания в результате изучения курса «Горные машины», являются базисом для будущего горного инженера-механика и жизненно необходимы ему для дальнейшего успешного трудового развития. Последующие исследования нацелены на совершенствование учебного процесса.

Список литературы: 1 Мешкова, О.Б. Аспекты развития преподавания специальных технических дисциплин при использовании метода двумерной дидактики [Текст] / О.Б. Мешкова, И.Ю. Ткачук. – Новые исследования в разработке техники и технологий. – Сочи : Из-во Международного инновационного ун-та, 2017. №1. – С. 49-55. 2. Приходченко, Е.И. Организация интегративной среды процесса обучения при подготовке специалистов инженерного профиля [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль: Ярославский филиал ПГУПС, 2018. № 1. – С. 138-142. 3. Приходченко, Е.И. Применение инновационного подхода к повышению эффективности проведения лабораторно-практических занятий [Текст] / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков. – История и перспективы развития транспорта на севере России. – Ярославль : Ярославский филиал ПГУПС, 2017. Т. 1. № 1-1. – С. 181-185. 4. Фунтиков, М.Н. Анализ использования средств информационно коммуникационных технологий в формировании современной доктрины инженерного образования [Текст] / М.Н. Фунтиков. – Вестник Института гражданской защиты Донбасса: научный журнал. – Донецк : ДонНТУ, 2015. – Вып. 4(4). – С. 59-65. 5. Хуторской, А. В. Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования / А. В. Хуторской // Ученик в обновляющейся школе. – М.: ИОСО РАО, 2002. – С. 135 – 157.

ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

Пилипенко В.В. (каф. ОМД, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Приходченко Е.И. (каф. Социологии и политологии, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье приведены наиболее популярные системы управления обучением. Разобраны их основные особенности, рассмотрены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: педагогика, системы управления обучением, Blackboard Learn, Canvas, Moodle.

Введение. Дистанционная форма обучения прочно закрепилась как самостоятельная форма обучения со своими методами и технологиями обучения, которая для своей реализации активно использует средства сети Интернет и достижения в области развития цифровых технологий. Повышенный интерес со стороны образовательных учреждений и коммерческих организаций к дистанционной форме обучения привел к бурному развитию систем управления обучением (от англ. Learning management system – LMS). В связи с этим остро стоит проблема выбора той или иной системы с учетом качества предоставляемых услуг и ценовой политики.

Целью работы является рассмотрение наиболее популярных в мировой практике представителей систем управления обучения, анализ их возможностей, выявление преимуществ и недостатков.

Основное содержание статьи. Как отмечается, развитие цифровых технологий подталкивает сферу образования к внедрению инноваций [1]. Дефицит свободного времени, необходимость повышения квалификации, желание получения дополнительного образования рождает спрос у обучающихся на дистанционную форму обучения.

Развитие рынка цифрового образования поддерживается инвестициями в образовательные проекты университетов и коммерческих организаций. Отмечается рост спроса в онлайн репетиторах и моделях повышения квалификации персонала [2].

Системы дистанционного обучения можно разделить на три типа по сегментам рынка электронного обучения: образовательные (академические), корпоративные (направлены на обучение персонала компаний), тренинговые (направлены на предоставление индивидуального образования). Активными пользователями технологий дистанционного обучения являются высшие учебные заведения, которые активно внедряют системы управления обучением [3].

Под системой управления обучения следует понимать программное приложение либо набор программных продуктов, с помощью которых осуществляется разработка учебных курсов, их размещение, управление учебным процессом, мониторинг знаний и автоматизация учебного процесса при дистанционной форме обучения.

Одними из мировых лидеров среди систем управления обучением являются Blackboard Learn, Canvas и Moodle. Причем система Moodle нашла наиболее широкое применение в университетах Европы, а системы Blackboard Learn и Canvas активно используются образовательными учреждениями Северной Америки, Австралии и Великобритании [4, 5].

Blackboard Learn – платная коммерческая система, созданная компанией Blackboard Inc. в 1998 году. Является интерактивной платформой взаимодействия препода-

вателя и студентов между собой. В системе осуществляется создание электронных учебных курсов, редактирование их содержания, предоставление доступа студентам к разработанным курсам, а также управление и контроль учебного процесса. Работа с системой осуществляется через браузер, а сама система представлена в виде веб-страницы. В систему интегрирован видеопроигрыватель для работы с видео файлами, а также специализированный текстовый редактор, который позволяет работать с загружаемыми текстовыми файлами и форматированием содержимого. В связи с ограничением на размер размещаемых видеоматериалов система предусматривает послания на открытые видеохостинги. Достоинством системы является поддержка групповых видеоконференций онлайн, чатов и форумов [6].

Система обладает разнообразными инструментами оценивания знаний, а также сбором статистики прохождения учебного материала и результатов выполнения заданий. Задания могут быть сформированы в каталоги в зависимости от темы и сложности вопросов, с помощью которых у преподавателя имеется возможность быстро составить индивидуальное задание для каждого студента. В системе также реализована возможность составления групповых текстовых заданий [7]. Причем реализована гибкая настройка условий прохождения заданий студентами. Для активизации их познавательной деятельности можно создать тренировочные задания, доступные для прохождения неограниченное количество раз с возможностью их прерывания для более углубленного изучения вопросов, вызывающих затруднения. Для итоговой оценки знаний можно создать условия единоразового, ограниченного во времени выполнения задания без возможности его прерывания [8]. Система позволяет автоматизировать деятельность учебного заведения в образовательном процессе, и больше ориентирована на совместную деятельность участников образовательного процесса, что способствует поддержанию благоприятной творческой среды.[9]

Так, на базе платформы Blackboard Learn Запорожской государственной инженерной академии выполнена разработка структурированного курса «Компьютерные биомедицинские системы», содержание которого было разделено на четыре модуля. Изучение курса предусматривает ознакомление с теоретической частью, выполнение теоретических и практических заданий по каждому из модулей, прохождение контрольных мероприятий в виде тестов и участия в форуме. Апробация разработанного курса позволила повысить качество обучения и эффективность учебного процесса. С положительной стороны отмечается наличие интегрированного интерактивного графического редактора, имитирующего работу классной доски [10]. До весны 2019 года занимала лидирующую позицию в США, но высокая стоимость, проблемы со стабильностью работы, низкая сопротивляемость взлому подталкивают пользователей к выбору более стабильных и дешёвых аналогов.

Canvas – система, разработанная компанией Instructure в 2011 году в качестве замены системы Blackboard. Является второй по популярности платной системой управления обучением после Blackboard [5]. Позволяет разрабатывать и размещать электронные курсы самим преподавателям, создавать вики-страницы, тесты и задания. Благодаря открытому API (Интерфейс прикладного программирования) обладает гибкой настройкой и позволяет работать со сторонними приложениями. Система выполняет сбор статистики успеваемости каждого студента, поддерживает проведение видеоконференций и обсуждений, совместное редактирование документов. Canvas позволяет выполнить структурированную разбивку курса на модули, причем внутри модуля можно организовать дискуссионный форум, что стимулирует активное общение и развитие критического мышления. Система позволяет настроить условия выполнения за-

дания по окончанию модуля, регламентировать время выполнения задания и его сдачи [11, 12]. Стоимость Canvas несколько меньше Blackboard, а также компания Instructure проводит регулярные внутренние аудиты для выявления проблем с безопасностью [11]. К недостаткам системы следует отнести проблемы, связанные с размещением файлов в системе. Отсутствуют предупреждающие уведомления при возникновении ошибок при загрузке файлов, а также при превышении ими ограничений размера файла. Отмечается низкая скорость загрузки файлов [13].

Moodle – это бесплатная система управления учебным процессом, разработанная в 2001 году и предназначенная для разработки дистанционных курсов. Работа системы осуществляется с использованием сети Интернет. В Moodle возможна реализация дистанционной формы обучения, проведение курсов повышения квалификации и переподготовки кадров. Широкое применение объясняется её универсальностью. Moodle распространяется с открытым исходным кодом, что предоставляет возможность пользователям настроить систему под их нужды. Обеспечивает взаимодействие между участниками учебного процесса и при должной настройке не уступает по функционалу платным системам [4].

С 2010 года в Татарском государственном гуманитарно-педагогическом университете планомерно внедрялась система дистанционного обучения на базе платформы Moodle. Первая апробация разработанных преподавателями учебных курсов дистанционного обучения показала чрезвычайную важность проблемы освоения преподавателями работы с системой дистанционного обучения. В этой связи был разработан учебно-методический комплекс, призванный помочь преподавателям ознакомиться с возможностями системы, и помочь в составлении и переводе учебных курсов в формат дистанционного обучения. Анализ результатов показал, что у слушателей, посетивших 50-80% занятий, сложилось понимание создания курсов дистанционного обучения, а посетившие более 80% занятий были готовы к самостоятельной разработке курсов дистанционного обучения [14].

Среди недостатков системы следует отметить её непривлекательный для пользователя интерфейс и перегруженность информацией, что может снижать скорость работы в системе [4]. К тому же, работа в системе требует четкого понимания её функционирования и технических особенностей размещения материалов [15]. Основная проблема системы состоит в её настройке. В случае её внедрения силами образовательного учреждения на настройку может понадобиться от одного года до двух лет. Расходы, связанные с привлечением сторонних компаний для настройки системы могут составить внушительную сумму, которая сопоставима со стоимостью покупки платных систем управления обучением, настраиваемых и поддерживаемых производителем [16].

Заключение.

Рассмотренные системы являются лидерами в области электронного образования. Во избежание непредвиденных затрат следует сразу оценить готовность учебного заведения к внедрению системы управления обучением. В случае неготовности преподавательского состава к работе с такой системой, решение видится в их переподготовке. В случае неготовности настройки системы силами учебного заведения под требуемые нужды решение видится в приобретении системы, настраиваемой и поддерживаемой компанией-производителем. Системы позволяют обойти дефицит профессорско-преподавательского состава, компенсировать пропущенные студентами занятия при смешанной форме обучения.

Список литературы: 1. Манукян, Л.А. Сравнительный анализ платформ для дистанционного обучения / Л.А. Манукян // Ученые записки Тамбовского отделения РосМУ. – 2018. - №12. – С. 212 – 217. 2. J'son&PartnersConsulting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-onlayn-obrazovaniya-v-rossii-i-mire-20161206051155. 3. Батаев, А.Б. Обзор рынка систем дистанционного обучения в России и мире / А.Б. Батаев // Молодой учёный. – 2015. - №17 (97). – С. 433 – 436. 4. Зенина, Л.В. Применение автоматизированных систем управления обучением в вузе (на примере преподавания английского языка) / Л.В. Зенина // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2018. - №11 (89). – Ч.1. – С. 199-204. 5. Edutechnica. EdTech Talk and Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edutechnica.com/2020/02/02/lms-data-spring-2020-updates/>. 6. Неупокоев, А.С. Системы дистанционного обучения: обзор и перспективы развития / А.С. Неупокоев // Экономика. Право. Менеджмент. Сборник трудов молодых исследователей БГУЭП. – 2014. –Т.1. – №1. – С. 41-45.. 7. VP GROUP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vpgroup.ru/blackboard_learn.aspx. 8. Косырев, С.В. Эффективное использование ресурсов и инструментов системы «Blackboard Learn» при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в Санкт-Петербургском государственном университете / С.В. Косырев, И.В. Свитнев, В.Е.Хмелев, И.А. Матысик // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. – 2015. -№1. – С. 130-137. 9. Приходченко, Е.И. Интерактивное обучение как способ формирования творческой среды / Е.И. Приходченко, Н.Н. Капацина, Н.И. Мозутенко // Вестник Донецкого педагогического института. – 2017. – №2. – С. 107 - 112. 10. Киселев, Е.Н. Разработка электронного курса «Компьютерные биомедицинские системы на основе платформы Blackboard» / Е.Н. Киселев // Збірник доповідей учасників конференції «Впровадження нових інформаційних технологій навчання». – Запоріжжя, 2004. – С. 204 – 206. 11. Instructure [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.instructure.com/canvas/higher-education/platform/products/canvas-lms> 12. Баданова, Н.М. Использование СДО (LMS) в электронном обучении / Н.М. Баданова, А.Г. Баданов // Школьные технологии. – 2016. – №2. – С. 102 – 108. 13. Canvas Stanford University [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://canvas.stanford.edu/courses/73606/pages/canvas-limitations>. 14. Устюгова, В.Н. Особенности внедрения и эксплуатации системы дистанционного обучения в татарском государственном гуманитарно-педагогическом университете / В.Н. Устюгова, Р.А. Валитов, И.С. Ермолаев // Образовательные технологии и общество. – 2011. – Том 14. – №3. – С. 311 – 336. 15. Валитов, Р.А. Технические вопросы и проблемы, возникающие при создании и эксплуатации системы дистанционного обучения на базе Moodle / Р.А. Валитов, Устюгова В.Н. // Образовательные технологии и общество. – 2011. – Том 14. - №4. – С. 342 – 347. 16. iSpring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ispringsolutions.com/blog/moodle-vs-blackboard>

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ У БУДУЩИХ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ

Троицкая Р.А. (каф. УП, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Приходченко Е. И. (каф. Социологии и политологии, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье приводится статистический анализ основных причин травматизма на шахтах. Рассматриваются активные инновационные методы обучения. Обосновывается необходимость их использования для формирования профессиональной компетентности молодых специалистов в процессе обучения.

Ключевые слова: педагогика, горный инженер, профессиональная компетентность.

Введение. Происходящие изменения в социально-экономической жизни современного общества на пути к здоровым рыночным отношениям привели к необходимости формирования у будущих горных инженеров высокой профессиональной компетентности.

Целью данной статьи является анализ активных инновационных методов обучения и влияние их применения на формирование профессиональной компетентности будущих горных инженеров.

Анализ научных исследований проблемы. Анализ теоретических исследований показывает, что проблема формирования профессиональной компетентности рассматривалась в работах: Е.В. Бондаревской, Е.В. Деревянко, Н.И. Запрудского, Б.Н. Заровняева, Н.О. Калединой, Н.В. Матяш, А.К. Маркова, С.Н. Подображина, Ю.В. Сенько, В.А. Слостенинина, Е.Н. Шиянова и др. [1-6].

Однако результаты анализа научной литературы свидетельствуют, что проблема формирования профессиональной компетентности молодых горных инженеров изложена недостаточно и требует дополнительных исследований по использованию активных инновационных методов обучения.

Основное содержание статьи. По условиям труда горнодобывающая промышленность является одной из самых опасных и занимает ведущее место по уровню производственного травматизма. Несмотря на правила техники безопасности, технологические и организационные правила, анализ аварий и несчастных случаев показывает, что влияние человеческого фактора во многих случаях является определяющим. На рисунке 1 представлены основные причины аварий и травматизма на шахтах [1].

Из статистических данных видно, что основными негативными факторами выступают не столько сложные горно-геологические условия, сколько нарушения производственной дисциплины, недостатки в организации технологического процесса, основу которых составляет некомпетентность работников на всех уровнях управления производством.

Для улучшения состояния производственной безопасности необходимо улучшить профессиональную подготовку специалистов горного дела на этапе обучения в вузах. Во время обучения студентам необходимо готовиться к инженерной деятельности весь период, достигая высшей степени подготовки по специальности на основе знаний и умений, которые сформированы в курсовых проектах и производственных практиках, в том числе по вопросам устойчивого развития предприятия и безопасности труда.



Рис. 1. Основные причины травматизма и аварий на шахтах

Согласно образовательному стандарту 21.05.04 «Горное дело», студенты должны овладеть такими компетенциями, как:

- готовность совершать техническое руководство взрывными работами при разведке и добыче полезных ископаемых, строительстве подземных объектов, управлять технологическими процессами на производственных объектах;
- возможность определять пространственное положение объектов, проводить необходимые геодезические измерения и интерпретировать их результаты;
- умение разрабатывать инновационные проектные решения по разведке, добыче и переработке полезных ископаемых;
- готовность к работе с программными продуктами для моделирования месторождений полезных ископаемых, технологий разведки, добычи и переработки полезных ископаемых, а также при оценке экономической эффективности горных работ, производственных, технологических, финансовых и организационных рисков.

До настоящего времени горные факультеты выпускают горных инженеров, которые не имеют достаточных знаний в горном деле. Основным недостатком подготовки горных специалистов является несоответствие учебного процесса и условий современного производства:

- содержание большинства дисциплин не взаимосвязано с реальными условиями труда горных предприятий;
- производственная практика часто проходит формально, студентов не обеспечивают рабочими местами.

Формирование хорошо подготовленного штата инженерно-технических сотрудников для каждого угледобывающего предприятия является приоритетной задачей. По мнению ученых, современные инновационные методы обучения являются основным фактором развития профессиональной компетентности будущих горных инженеров.

Уровень сформированности профессиональных компетенций будущих горных инженеров зависит от методов организации и построения учебной деятельности. Комплекс грамотно подобранного учебно-методического обеспечения позволит создать

возможности для эффективного достижения поставленных образовательных целей с помощью выбора методов обучения, вида организации занятий и учета специфики преподавания технических дисциплин [2].

Для формирования когнитивно-рефлексивного элемента профессиональной компетентности рекомендуется использовать следующие методы и виды организации занятий: подготовка горно-инженерных проектов, использование компьютерных методов обучения, деловые игры, тренинги, мозговой штурм, научные конференции и использование методов самостоятельной работы с профессиональной литературой.

Для формирования практико-деятельностного элемента профессиональной компетентности рекомендуется использовать ситуационный метод обучения, метод учебных дискуссий, занятия-брифинги по горной тематике, проблемно-поисковые задания по горно-геологической тематике, тестовые задания, методы устного и письменного контроля.

В процессе обучения широко используются тренинги, направленные на развитие определенных навыков и умений, необходимых для более профессионального выполнения поставленных задач. В процессе проведения тренинга используются современные методики и технические средства, позволяющие сформировать у студентов положительное отношение к профессиональной деятельности и повысить уровень компетентности.

Одним из полезных методов подготовки горных инженеров является метод ситуационного моделирования, с помощью которого студенты моделируют определенную ситуацию на производстве и определяют ее последствия.

Для развития компонентов профессиональной компетентности горных инженеров можно выделить также использование метода «мозговой штурм», в процессе которого члены группы высказывают спонтанные идеи по заданной теме, после чего все варианты обсуждаются, отвергаются или развиваются дальше. При этом формируются когнитивно-рефлексивные и практически-деятельностные компоненты профессиональной компетентности, стимулируется процесс активизации творческой, умственной и коммуникативной деятельности у будущих специалистов [3].

Выводы. Проанализировав инновационные методы обучения, можно отметить их позитивное влияние на умение будущих горных инженеров генерировать и структурировать идеи, анализировать информацию, находить альтернативные решения, успешно завершать поставленные задачи и эффективно работать в коллективе. Иными словами, можно сделать вывод, что рассмотренные методы обучения являются факторами развития элементов профессиональной компетентности будущих горных инженеров.

Список литературы: 1. Причины аварий на горных предприятиях [Электронный ресурс]/ Учебные материалы онлайн [Сайт]. – URL: https://studwood.ru/681440/bzhd/prichiny_aviy_gornyh_predpriyatiyah (дата обращения 22.03.2020). 2. Приходченко, Е. И., Проблемные аспекты преподавания специальных технических дисциплин / Е.И. Приходченко, М.Н. Фунтиков // Педагогика и психология: теория и практика. – 2019. - № 1 (13). – С. 114-118. 3. Деревянко, Е. В. Активные методы обучения в формировании профессиональной компетентности будущих горных инженеров / Е.В. Деревянко // Личность, семья и общество: вопросы педагогики и психологии. – 2014. - № 36. -С. 69-74.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рыжков А.И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ КОНЕЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ 3

Арутюнян М.Г., Казарян С.Д., Закарян Н.Б., Саргсян Ю.Л., Верлинский С.В.

СОЗДАНИЕ НОВОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕКОНФИГУРАЦИИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ ОПОРНОДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ 7

ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бахадиров К.Г., Сайдахмедов Р.Х.

АСИММЕТРИЧНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АА1050 12

Гордисов А.В., Хозяев И.А., Яценко О.В

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 16

Шайдунова Г.И., Бульбович Р.В., Ознобишин А.Б., Рогожникова Е.Н

ВЛИЯНИЕ РАССЛОЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МНОГОСЛОЙНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ 19

Шайдунова Г.И., Модорский В.Я., Рябинин С.Б., Шайдунов А.А., Орос Д.М.
ОСОБЕННОСТИ НЕНЬЮТОНОВСКОГО ТЕЧЕНИЯ НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРЕССФОРМ С ЛИТНИКОВЫМИ КАНАЛАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 25

Шайдунова Г. И., Васильев И. Л., Лобковский Д. С.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТОВ И ЭЛАСТОМЕРОВ В ИЗДЕЛИЯХ РКТ 31

Лысенко Н.М., Фоменко Д.С.

К ВОПРОСУ ВОЗМОЖНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СЕРИЙНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ТИПА ДТ В УСЛОВИЯХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ С ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КАТЕГОРИЕЙ ПОРОД ОСНОВНОЙ КРОВЛИ 42

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Бондарь Д.В., Бондарь Е.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРКИ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММЫ КОМПАС 3D 47

Гайдарь О.Г., Кравченко С. О.
РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО РИСУНКА В СОВРЕМЕННОМ ИНЖЕНЕРНОМ
ДЕЛЕ 50

ПРОЦЕССЫ РЕЗАНИЯ

Бутенко В.И., Демешкин А.С., Гусакова Л.В.
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ МА-
ТЕРИАЛА НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ
110Г13Л 54

Toca A., Stroncea A., Rushica I., Nitulenco T.
DIMENSIONAL ACCURACY OF MACHINING TECHNOLOGIES 59

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Ломаковский К.Б., Приходченко Е.И.
ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУ-
ДЕНТОВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В ПРО-
ЦЕССЕ КУРСА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ГОРНЫХ
МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ» 65

Зинченко П.П., Приходченко Е.И.
ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАЧЕСТВ У СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ КУРСА «ГОРНЫЕ МА-
ШИНЫ» 68

Пилипенко В.В., Приходченко Е.И.
ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ 71

Троицкая Р.А., Приходченко Е. И.
ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
КОМПЕТЕНТНОСТИ У БУДУЩИХ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ 75

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи до 3 страниц формата А4 (210x297 мм) с полями: **верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм.** Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord шрифтом Times New Roman размером 12ю распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати

2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название кафедры и организации, города, страны, основной текст, выводы, список литературы. Название печатать прописными (жирными) буквами, без переносов, центрировать. Через 1 пустую строку строчными буквами – фамилии и инициалы авторов (жирными), рядом в круглых скобках курсивом – сокращенное название кафедры и организации, города, страны (строку центрировать). Через 1 пустую строку – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов), межстрочный интервал 1, **с переносом слов.** См. образец оформления материалов.

3. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля) только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер Формул Для Microsoft Equation

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	12 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	10 pt

4. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять размерами не менее 60x60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: «Рис. 3. Схема устройства.» Рисунки отделяются от основного текста интервалом.

5. Таблицы должны иметь названия и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: «Таблица 2. Классификация муфт.» Таблицы отделяются от основного текста интервалом.

6. Список литературы должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

Образец оформления материалов:

УДК 621.01(06)

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

(пустая строка)

Иванов И.И., Петров П.П. (гр. ИТМ-14, кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

(пустая строка)

Аннотация. В статье приведены данные по структурному синтезу сборочных уравнений описывающих процесс сборки изделий. (курсив, 6 ...8 строк)

Ключевые слова: структура технологии, синтез, процесс, сборка. (курсив, 5 слов)

(пустая строка)

1. Введение

Во введении необходимо представить литературный обзор современного состояния вопроса исследования, показать актуальность работы, поставить цель и определить задачи исследований (0,5 страницы).

(пустая строка)

2. Основное содержание и результаты работы

Для сборки изделий широко применяются технологические системы [1]

.....
..... информационные и другие потоки (рис. 5) могут быть описаны

(пустая строка)

3. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили реализовать следующее:

..... отличительной особенностью данной методики.

(пустая строка)

Список литературы: 1. Ким И. П. Исследование эффективности роторных машин / И.П. Ким. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А. В. Надежность технологических машин / А. В. Устюгов. – Донецк: ДонНТУ, 1998. – 425 с.

АДРЕС РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Редакционная коллегия журнала «Инженер», кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, ДНР.

Тел. (+38 062) 305-01-04, (+38 062) 301-08-05; факс - (+38 062) 305-01-04;

E-mail: tm@fimm.donntu.org или mntk21@mail.ru http: // <http://tm.donntu.org>

Председатель редакционной коллегии – А. Н. Михайлов, тел. (+38 062) 305-01-04.

Зам. председателя – Т.Г.Ивченко, тел. (+38 062) 301-08-05.

Ученый секретарь – А.М. Лахин , тел. (+38 062) 301-08-05.