

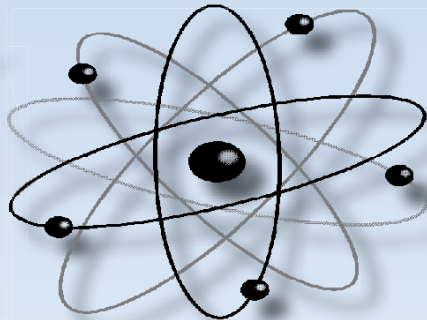
Учёные записки

ISSN 2076-4359

№ 1 (49)

2021

Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета



Науки о природе и технике

16+



Рукописи проходят обязательное рецензирование.
Редакция не возвращает рукописи авторам.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых периодических изданий ВАК РФ

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций России. Свидетельство ПИ № ФС7738212 от 30.11.2009.

ISSN 2076-4359 = Učēnye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta

Уважаемые авторы, пожалуйста, присылайте свои материалы на адрес электронной почты: journal@knastu.ru

Правила оформления материалов размещены на странице журнала «Учёные записки КНАГУ», находящейся на сайте <http://www.knastu.ru>

Материалы, оформленные с нарушением данных правил, к рассмотрению не принимаются.

Адрес учредителя и издателя:
681013, г. Комсомольск-на-Амуре,
пр. Ленина, д. 27
Телефон для справок:
+7 (4217) 24-13-48

Адрес редакции: 681013,
г. Комсомольск-на-Амуре,
ул. Комсомольская, д. 50, ауд.508
Телефон для справок:
+7 (4217) 24-13-48
Индекс журнала
в каталоге Роспечать: 66090.
Цена свободная.
© Все права на опубликованные материалы принадлежат учредителю журнала – ФГБОУ ВО «КНАГУ», при их цитировании ссылка на журнал обязательна.

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Журнал основан в 2010 году

Редакционная коллегия:

Главный редактор журнала:	Алексей Иванович Евстигнеев , д-р техн. наук, проф.
Заместитель главного редактора, ответственный секретарь серии «Науки о природе и технике»:	Сергей Николаевич Иванов , д-р техн. наук, доц.
Заместитель главного редактора, ответственный секретарь серии «Науки о человеке, обществе и культуре»:	Галина Алексеевна Шушарина , канд. филол. наук, доц.
Технический редактор:	Татьяна Николаевна Карпова
Дизайн и верстка:	Оксана Вадимовна Приходченко , канд. техн. наук
Менеджер информационных ресурсов:	Иван Константинович Андрианов , канд. техн. наук

Серия: «Науки о природе и технике»

Отделы:

1. Авиационная и ракетно-космическая техника (**Сергей Иванович Феоктистов**, д-р техн. наук, проф.);
2. Энергетика (**Вячеслав Алексеевич Соловьев**, д-р техн. наук, проф.);
3. Управление, вычислительная техника и информатика (**Вячеслав Алексеевич Соловьев**, д-р техн. наук, проф., **Сергей Иванович Феоктистов**, д-р техн. наук, проф., **Сергей Николаевич Иванов**, д-р техн. наук, доц., **Николай Алексеевич Тарануха**, д-р техн. наук, проф., **Анатолий Александрович Буренин**, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
4. Математика и механика (**Анатолий Александрович Буренин**, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
5. Машиностроение (**Михаил Юрьевич Сарилов**, д-р техн. наук, доц., **Борис Николаевич Марьин**, д-р техн. наук, проф., **Борис Яковлевич Мокрицкий**, д-р техн. наук, доц., **Сергей Иванович Феоктистов**, д-р техн. наук, проф., **Анатолий Александрович Буренин**, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
6. Металлургия и металловедение (**Владимир Алексеевич Ким**, д-р техн. наук, проф., **Олег Викторович Башков**, д-р техн. наук, доц.);
7. Флот и кораблестроение (**Николай Алексеевич Тарануха**, д-р техн. наук, проф., **Виктор Михалович Козин**, д-р техн. наук, проф.);
8. Науки о земле и безопасности жизнедеятельности человека (**Ирина Павловна Степанова**, д-р техн. наук, проф.);
9. Строительство и архитектура (**Николай Петрович Крадин**, д-р архитектуры, проф., член-корреспондент РААСН, **Олег Евгеньевич Сысоев**, д-р техн. наук, доц.).

Серия: «Науки о человеке, обществе и культуре»

Отделы:

1. Философия, социология и культурология (**Татьяна Алексеевна Чабанюк**, д-р культурологии, проф., **Виктория Юрьевна Прокофьева**, д-р филол. наук, проф., **Вера Ивановна Юдина**, д-р культурологии, доц., **Надежда Юрьевна Костюрина**, д-р культурологии, доц., **Илья Игоревич Докучаев**, д-р филос. наук, проф., **Александр Георгиевич Никитин**, д-р филос. наук, проф.);
2. Филология и искусствознание (**Олег Александрович Бузуев**, д-р филос. наук, проф.);
3. Психология и педагогика (**Татьяна Евгеньевна Наливайко**, д-р пед. наук, проф.);
4. Политология и право (**Владимир Александрович Смоляков**, д-р полит. наук);
5. История (**Жанна Валерьяновна Петрунина**, д-р ист. наук, проф.);
6. Экономика (**Геннадий Иванович Усанов**, д-р экон. наук, проф., **Елена Витальевна Кизиль**, д-р экон. наук, доц.).

Периодичность: два раза в квартал (один номер каждой серии в квартал)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

«УЧЁНЫЕ ЗАПИСКИ КОМСОМОЛЬСКОГО-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»

СЕРИЯ: «НАУКИ О ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ»

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ВЯЧЕСЛАВ ИВАНОВИЧ ШПОРТ, доктор технических наук

ЦУЙ СЮЙ, профессор Шеньянского аэрокосмического университета (КНР)

ЭНЕРГЕТИКА

АЛЕКСАНДР ЛООС, доктор философии, профессор Академии Грюндига в Нюрнберге (Германия)

ИШТВАН ВАЙДА, доктор технических наук, профессор, директор Института автоматизации Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия)

ШАНДОР ХАЛАС, доктор технических наук, профессор Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия)

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ КУЛЬНИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, директор Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН

ТАКАО ИТО, доктор технических наук, профессор факультета бизнес-управления Университета Мияки (Япония)

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

НИКИТА ФЁДОРОВИЧ МОРОЗОВ, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теории упругости Санкт-Петербургского государственного университета

ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ ЛЕВИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом математического моделирования, механики и мониторинга природных процессов Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН

БОРИС ДМИТРИЕВИЧ АННИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом механики деформируемого твёрдого тела Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЭДУАРД СТЕПАНОВИЧ ГОРКУНОВ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института машиноведения УрО РАН

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ХОЛЬКИН, академик РАН, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ГРИГОРЬЕВ, доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного технологического университета «Станкин»

МЕТАЛЛУРГИЯ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ КАБЛОВ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Всероссийского института авиационных материалов

КОНСТАНТИН ВСЕВОЛОДОВИЧ ГРИГОРОВИЧ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией диагностики материалов Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

ФЛОТ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ НАУМОВ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института проблем морских технологий ДВО РАН

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ КИСЕЛЕВ, академик РАСХН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник Дальневосточного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института сельского хозяйства РАСХН

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ШИ ТИЕМАО, доктор философии, профессор, проректор Шеньянского архитектурно-строительного университета (КНР)

СЕРИЯ: «НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ, ОБЩЕСТВЕ И КУЛЬТУРЕ»

ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

ДАВИД ИЗРАИЛЕВИЧ ДУБРОВСКИЙ, доктор философских наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института философии РАН

КИРИЛЛ ЭМИЛЬЕВИЧ РАЗЛОГОВ, доктор искусствоведения, профессор, президент АНО «Новый институт культурологии»

ФИЛОЛОГИЯ И ИСКУССТВОВЕДЕНИЕ

СВЕТЛАНА ГРИГОРЬЕВНА ТЕР-МИНАСОВА, доктор филологических наук, профессор, президент факультета иностранных языков и регионоведения Московского государственного университета

ВАН ЦЗИНЬЛИН, доктор философии, профессор, директор Института международного образования Чанчуньского университета (КНР)

ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА

ЕКАТЕРИНА ИОСИФОВНА АРТАМОНОВА, доктор педагогических наук, профессор кафедры педагогики высшей школы Московского педагогического государственного университета им. В. И. Ленина

ПОЛИТОЛОГИЯ И ПРАВО

НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ МЕРЕЦКИЙ, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовно-правовых дисциплин Дальневосточного государственного университета путей сообщения

ИСТОРИЯ

АЛЕКСАНДР МАНУЭЛЬЕВИЧ РОДРИГЕС-ФЕРНАНДЕС, доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой новой и новейшей истории Московского педагогического государственного университета им. В. И. Ленина

ЭКОНОМИКА

АЛЕКСАНДР ЕВСТРАТЬЕВИЧ ЗУБАРЕВ, доктор экономических наук, профессор, первый проректор по стратегическому развитию и международному сотрудничеству Тихоокеанского государственного университета

Андрианов И. К.
I. K. Andrianov

ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЁННОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНКУРИРУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО И СИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

CONSTRUCTING A GENERALIZED CRITERION FOR OPTIMIZING COMPETING PARAMETERS OF THERMAL PROTECTION OF SHELL ELEMENTS UNDER THERMAL AND POWER LOADING

Андрианов Иван Константинович – кандидат технических наук, доцент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ivan_andrianov_90@mail.ru.

Ivan K. Andrianov – PhD in Engineering, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Avenue, 27. E-mail: ivan_andrianov_90@mail.ru.

Аннотация. В работе представлена модель многокритериальной оптимизации параметров тепловой защиты оболочек, находящихся в условиях теплового нагружения со стороны омывающего высокотемпературного газового потока и напряжённого состояния. В качестве локальных критериев оптимизации рассмотрены параметры тепловой наружной и внутренней защиты: тепловое состояние оболочки, массовый расход охладителя, толщина теплозащитного покрытия, скорость и теплоотдача хладагента. На основании конкурирующих параметров тепловой защиты построен обобщённый критерий оптимизации, для которого определяются эффективные значения частных критериев, доставляющие минимум целевой функции. Ввиду конфликта параметров тепловой защиты для поиска наилучших решений используется оптимальность по Парето.

Summary. The paper presents a model of multicriteria optimization of the parameters of thermal protection of shells under thermal loading from the side of a washing high-temperature gas flow and a stressed state. The parameters of external and internal thermal protection are considered as local optimization criteria: thermal state of the shell, mass flow rate of the cooler, thickness of the heat-protective coating, speed and heat transfer of the coolant. On the basis of competing parameters of thermal protection, a generalized optimization criterion is built, for which the effective values of particular criteria are determined, which provide a minimum of the objective function. In view of the conflict of thermal protection parameters, Pareto optimality is used to find the best solutions.

Ключевые слова: теплообмен, математическая модель, многокритериальная оптимизация, оболочки турбомашин, покрытие, охлаждение, массовый расход.

Key words: heat transfer, mathematical model, multi-criteria optimization, turbomachine shells, coating, cooling, mass flow rate.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Хабаровского края, грант № 72с/2020 от 24.08.2020 «Разработка модели многокритериальной оптимизации конкурирующих параметров тепловой защиты оболочечных элементов в условиях теплового и силового нагружения».

УДК 51-74

Современное развитие производства и технологий требует решения большого класса оптимизационных задач. В то же время достаточно большое количество оптимизируемых параметров представляют собой монотонные функции, не достигающие максимума или минимума в пределах рассматриваемой области значений. В результате возникает сложность выбора наилучших значений параметров, особенно в случае многомерной оптимизации конкурирующих параметров, что требует разработки критерия получения эффективного значения с учётом особенностей рассматриваемого процесса.

Вопросы разработки моделей многокритериальной оптимизации на сегодня являются актуальными для отечественных и зарубежных научных школ, в частности в области оптимизации технологических процессов и теплообменных аппаратов [6; 12; 14; 17-21]. Особенности данного направления прежде всего являются необходимость учитывать вид оптимизируемого процесса и необходимость применения методов диалогового решения, позволяющего пользователю в процессе поиска оптимального решения менять способ выбора наилучшего значения оптимизируемого параметра.

Данное исследование относится к области изучения теплообменных процессов, в частности в газотурбинных двигателях, что имеет практическую значимость для авиа- и судостроения. Исследования теплообменных процессов в турбомашинах достаточно обширны, в то же время вопросы оптимизации и фундаментального описания протекаемых процессов остаются открытыми для обсуждения. В частности, в работах [1; 2] рассмотрены решения обратной теплообменной задачи для многослойных оболочек, вопросы неравномерности теплообмена представлены в исследовании [15]. Влияние распространения тепла на прочностные характеристики, деформированное состояние элемента является комплексной задачей и исследовано в трудах [1; 4]. Стоит отметить значительное количество прикладных исследований в области турбомашиностроения, а именно изучение вопросов динамики работы аппаратов, течения газа, оптимизации конструкций и технологий энергосбережения [7-11]. Поскольку задачи многокритериальной оптимизации могут описываться сложной системой нелинейных уравнений, важным представляется вопрос применения численной методики расчёта. Данные вопросы исследованы в работах [3; 5; 16].

В рамках исследования рассматривается оболочка, находящаяся в условиях силового воздействия и омываемая с двух сторон нагревающим и охлаждающим газовыми потоками (см. рис. 1). Примером такой оболочки могут являться турбинные лопатки, испытывающие действие растягивающих и центробежных сил. Со стороны воздействия высокотемпературного газового потока оболочка испытывает тепловое нагружение. Напряжённое состояние σ_i оболочки считаем известным. Поскольку напряжённое состояние считается заданным, оптимизацию теплового состояния оболочки для обеспечения равномерного распределения теплонапряжённого состояния будем строить на основании ограничений согласно условию длительной прочности, которое зависит от уровня напряжений и температур.

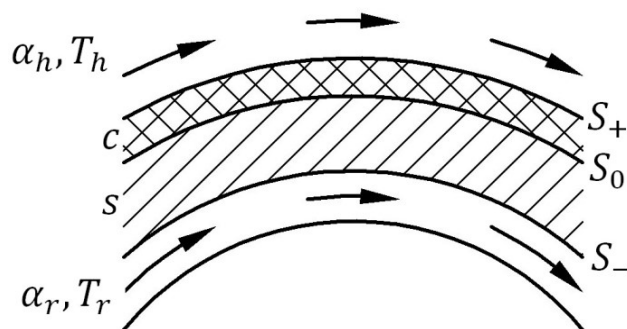


Рис. 1. Оболочка с теплозащитным слоем, омываемая охлаждающим и нагревающим газовыми потоками

Оболочка защищена слоем теплозащитного покрытия с низким значением коэффициента теплопроводности, в большинстве случаев из керамики, уменьшающим тепловой поток со стороны нагревающей газовой среды. Толщина слоя из керамической составляющей рассматривается как частный оптимизационный критерий. С практической точки зрения целесообразно уменьшение толщины для исключения отслаивания покрытия.

Цель данной работы заключалась в разработке математической многокритериальной модели, позволяющей оптимизировать параметры тепловой защиты оболочечных элементов, испытывающих силовое и тепловое воздействие. Задача исследования заключалась в построении целевой

функции тепловой защиты оболочки как обобщённого критерия, выборе частных критериев оптимизации и определении системы ограничений с учётом особенностей теплообмена, газодинамики и теплонапряжённого состояния оболочки. Новизна исследования обусловлена построением нового обобщённого критерия оптимизации тепловой защиты, для которого при построении локальных критериев учтены ограничения при обеспечении тепловой защиты оболочечных элементов, испытывающих тепловое и силовое нагружение.

Представленная задача является нелинейной задачей условной оптимизации. В качестве локальных критериев оптимизации предлагается рассмотреть температуру оболочки, расход охладителя, толщину теплоизолирующего слоя, скорость и теплоотдачу в канале. Оптимизация локальных критериев обусловлена практическими целями: снижение расхода охладителя позволяет уменьшить затраты на охлаждение оболочки, повышение теплоотдачи – снизить тепловую нагрузку на оболочку и уменьшить толщину теплоизолирующего покрытия. Проблема построения обобщённого критерия заключается в том, что некоторые из локальных критериев являются конкурирующими параметрами: при оптимизации одного из локальных критериев значения некоторых из других параметров ухудшаются. В частности, снижение расхода охладителя может сопровождаться повышением температуры оболочки и необходимым увеличением толщины теплозащитного слоя, чтобы компенсировать данное изменение.

Поскольку локальные критерии, определяющие тепловую защиту с помощью теплозащитного покрытия и охлаждения, являются конфликтующими, задача оптимизации может не иметь единственного решения, поэтому построенная модель может удовлетворять множеству альтернативных решений. Соответственно, обозначим k – текущую альтернативу, при которой достигается оптимальное по Парето значение локального критерия, улучшение которого невозможно без ухудшения хотя бы одного из оставшихся критериев. При этом каждый из параметров имеет априорные границы:

$$\begin{aligned} T_{s0}^{(k)} &= \min_{T_{s0*} < T_{s0} < T_{s0}^*} T_{s0}, \\ G^{(k)} &= \min_{0 < G < G^*} G, \\ \delta_c^{(k)} &= \min_{0 < \delta_c < \delta_c^*} \delta_c, \\ v^{(k)} &= \min_{0 < v < v^*} v, \\ (\alpha_r^{-1})^{(k)} &= \min_{0 < \alpha_r < \alpha_r^*} (\alpha_r^{-1}). \end{aligned}$$

Определим обобщённый критерий оптимизации тепловой защиты Δ как функцию локальных критериев: теплового состояния оболочки на контактной поверхности T_{s0} , массового расхода охладителя G , толщины теплозащитного слоя δ_c , скорости хладагента v и коэффициента теплоотдачи α_r в канале:

$$\Delta = \Delta(T_{s0}, G, \delta_c, v, \alpha_r) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Постановка задачи теплообменного процесса (1) описывается системой ограничений, определяющих теплопроводность процесса, газодинамику и теплонапряжённое состояние:

– дифференциальные уравнения теплопроводности для теплозащитного слоя и оболочки:

$$\text{div}(\lambda_c \text{grad} T_c) = 0, \quad (2)$$

$$\text{div}(\lambda_s \text{grad} T_s) = 0; \quad (3)$$

– граничные условия на поверхности нагрева и охлаждения:

$$\alpha_h (T_h - T_c|_{s_+}) = \lambda_c \left(\frac{\partial T_c}{\partial n} \right)_{s_+}, \quad (4)$$

$$\alpha_r(T_s|_{s_-} - T_r) = \lambda_s \left(\frac{\partial T_s}{\partial n} \right)_{s_-}; \quad (5)$$

– граничные условия на поверхности контакта слоёв:

$$\lambda_c \left(\frac{\partial T_c}{\partial n} \right)_{s_0} = \lambda_s \left(\frac{\partial T_s}{\partial n} \right)_{s_0}, \quad (6)$$

$$T_c|_{s_0} = T_s|_{s_0}; \quad (7)$$

– уравнение теплообмена в канале, учитывающее режим течения, теплоотдачу в канале, скорость и температуру охладителя, диаметр канала:

$$f(\alpha_r, v, T_r, \delta_r) = 0; \quad (8)$$

– уравнение постоянства расхода охладителя в канале:

$$G = \text{const}; \quad (9)$$

– уравнение состояния в канале:

$$p = \rho R T_r; \quad (10)$$

– условие длительной прочности при тепловом и напряжённом состояниях:

$$f_{\text{дл}}(T_s, \sigma_i) \leq 0, \quad (11)$$

где λ_s – теплопроводность слоя оболочки; λ_c – теплопроводность теплоизоляционного керметного слоя; p – давление в канале; T_r – температура хладагента; R – газовая постоянная; T_s – тепловое состояние оболочки; T_c – тепловое состояние теплоизоляционного слоя; δ_r – ширина канала охлаждения; α_r – коэффициент теплоотдачи на поверхности нагрева.

Параметры оптимизации тепловой защиты представляют собой точку в 5-мерном пространстве $x = \{T_{s0}, G, \delta_c, v, \alpha_r^{-1}\}$. В качестве начальных приближений будем рассматривать желаемые значения частных критериев $x^{(0)} = \{T_{s0}^{(0)}, G^{(0)}, \delta_c^{(0)}, v^{(0)}, (\alpha_r^{-1})^{(0)}\}$, которые могут не удовлетворять системе ограничений (2) – (11). Для минимизации отклонений локальных критериев $x = \{T_{s0}, G, \delta_c, v, \alpha_r\}$ от начальных приближений модель обобщённого критерия будем строить на основании минимизации суммы квадратов разностей частных критериев $(x_i - x_i^{(0)})/x_i^{(0)}$. Каждый из локальных критериев имеет ограничения, обусловленные условиями работы теплообменной системы, прочностными характеристиками оболочки, а именно:

$$x_* < x_i < x^*,$$

где $x_* < x < x^*$ – минимальное и максимальное граничные значения локальных критериев.

Тогда составляющие обобщённого целевого критерия $\Delta = \beta_i \sum \Delta_i$ представим в виде

$$\Delta_i = \theta(x_i - x_*) \left(\frac{x_i - x_i^{(0)}}{x_i^{(0)}} \right)^{2[1+\theta(x_i-x^*)p]}, \quad (12)$$

где $\theta(x)$ – функция Хевисайда, p – штрафной коэффициент.

Вид локального критерия (12) выбран с целью минимизации отклонения от начального приближения при ограничениях (2) – (11). Минимизируемые локальные критерии имеют ограничения сверху, однако в процессе поиска эффективного решения текущие приближения критериев могут превысить максимально допустимые значения. С этой целью в локальный критерий введены штрафной коэффициент p , где p – положительное целое число, и функция Хевисайда $\theta(x)$:

$$\theta(x - x^*) = \begin{cases} 1, & x \geq x^* \\ 0, & x < x^* \end{cases}. \quad (13)$$

При нарушении верхнего ограничения локальный критерий штрафуются возведением в степень $(1 + p)$, что увеличивает значение целевой функции. Если один из минимизируемых критериев меньше начального приближения, то вводится коэффициент поощрения, обращающий в ноль локальный критерий с помощью функции Хевисайда:

$$\theta(x - x_*) = \begin{cases} 1, & x \geq x_* \\ 0, & x < x_* \end{cases} \quad (14)$$

Для определения значимости частных критериев и исключения нулевого решения задачи введём весовые коэффициенты β_i для каждого из критериев, и с учётом (13), (14) обобщённый критерий примет вид

$$\Delta(x_i) = \sum_{i=1}^5 \beta_i \theta(x_i - x_i^{(0)}) \left(\frac{x_i - x_i^{(0)}}{x_i^{(0)}} \right)^{2[1+p\theta(x_i - x^*)]} \quad (15)$$

$$0 < \beta_i < 1, i = \overline{1,5}.$$

В качестве нормировки используется условие

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 = 1.$$

С учётом ограничений частных критериев математическая модель обобщённого критерия тепловой защиты оболочки в условиях теплового и силового нагружения (15) будет определяться соотношением

$$\begin{aligned} \Delta = & \beta_1 \theta(T_{s0} - T_{s0}^{(0)}) \left(\frac{T_{s0} - T_{s0}^{(0)}}{T_{s0}^{(0)}} \right)^{2[1+p\theta(T_{s0} - T_{s0}^*)]} + \beta_2 \theta(G - G^{(0)}) \left(\frac{G - G^{(0)}}{G^{(0)}} \right)^{2[1+p\theta(G - G^*)]} + \\ & + \beta_3 \theta(\delta_c - \delta_c^{(0)}) \left(\frac{\delta_c - \delta_c^{(0)}}{\delta_c^{(0)}} \right)^{2[1+p\theta(\delta_c - \delta_c^*)p]} + \beta_4 \theta(v - v^{(0)}) \left(\frac{v - v^{(0)}}{v^{(0)}} \right)^{2[1+p\theta(v - v^*)]} + \\ & + \beta_5 \left(\frac{\alpha_r^{(0)}}{\alpha_r - \alpha_r^{(0)}} \right)^2 \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, построенная модель (16) позволяет найти оптимальные по Парето значения параметров тепловой защиты оболочки в зависимости от выбранной значимости каждого критерия. Практическая значимость исследования обусловлена возможностью поиска оптимального сочетания внешней тепловой защиты с помощью покрытия и внутреннего теплоотвода при течении охлаждающего агента. Представленная модель позволяет ранжировать частные критерии: температуру оболочки, расход охладителя, толщину покрытия, скорость и теплоотдачу охладителя – и найти при заданных ограничениях множество эффективных значений. Применение модели позволит исключить нецелесообразное охлаждение оболочек, учесть в процессе тепловой защиты напряжённое и тепловое состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов, И. К. Численная модель оптимального теплоотвода в многослойных оболочковых элементах турбомашин / И. К. Андрианов // Перспективы науки. – 2019. – № 1 (112). – С. 25-28.
2. Андрианов, И. К. Кинематическая модель течения охладителя при минимальном расходе в оболочечных многослойных элементах турбомашин / И. К. Андрианов // Перспективы науки. – 2020. – № 1 (124). – С. 33-37.
3. Бормотин, К. С. Метод динамического программирования в задачах оптимального деформирования панели в режиме ползучести / К. С. Бормотин, Вин Аунг // Вычислительные методы и программирование. – 2018. – Т. 19. – № 4. – С. 470-478.

4. Буренин, А. А. К построению теории термоупругости при конечной скорости распространения тепла / А. А. Буренин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № IV-1 (36). – С. 47-53.
5. Гудим, А. С. Нечёткие алгоритмы компенсации нелинейностей САУ / А. С. Гудим, И. В. Зайченко, В. А. Соловьев // Информатика и системы управления. – 2005. – № 2 (10). – С. 89-101.
6. Многокритериальная оптимизация технологических параметров процесса сушки окрашенного проката / Е. В. Ершов, И. А. Варфоломеев, Л. Н. Виноградова, Е. В. Трифанова, А. А. Анисимов // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 4. – С. 26-30.
7. Козин, В. М. Энергосберегающие системы кондиционирования и вентиляции пассажирских вагонов / А. Л. Емельянов, В. М. Козин, В. В. Царь // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 4 (29). – С. 54-57.
8. Космынин, А. В. Описание динамики высокоскоростного ротора / А. В. Космынин, А. А. Ваньков, В. С. Щетинин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № I-1 (33). – С. 76-79.
9. Космынин, А. В. Моделирование течения газа в зазоре частично пористых подшипников с внешним наддувом газа / А. В. Космынин, С. В. Виноградов // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12-2. – С. 251.
10. Космынин, А. В. Оптимальные конструкции упорных газостатических подшипников с прямоточными лабиринтными уплотнениями // А. В. Космынин, О. А. Красильникова, Н. С. Гуменюк // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № II-1 (6). – С. 18-23.
11. Мелехин, А. А. Оптимизация параметров теплообменных аппаратов транспортных средств / А. А. Мелехин // Transport Problems. – 2014. – Т. 9. – № 3. – С. 107-115.
12. Мелехин, А. А. Совершенствование систем оборотного водоснабжения методом многокритериальной оптимизации / А. А. Мелехин // Водоочистка. – 2010. – № 8. – С. 42-45.
13. Износостойкость и жаростойкость электроискровых покрытий на основе Ti_3Al с добавкой карбида бора / С. А. Пячин, А. А. Бурков, Н. М. Власова, Е. А. Кириченко, Б. Я. Мокрицкий, Е. Р. Зайкова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № I-1 (29). – С. 49-55.
14. Панов, Д. О. Многокритериальная оптимизация течения и теплообмена в канале с резким поворотом на 180 градусов / Д. О. Панов, В. В. Рис, Е. М. Смирнов // Семинар вузов по теплофизике и энергетике: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 300-301.
15. Пилюгин, Н. Н. Исследование сверхзвукового обтекания и тепломассообмена тел в неравномерных потоках / Н. Н. Пилюгин // Сборник рефератов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Серия 16: 29. Физика. 30. Механика. 41. Астрономия. 89. Космические исследования. – 2006. – № 5. – С. 30.
16. Построение аппроксимирующих математических моделей по результатам численных экспериментов / В. А. Тененев, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов, М. А. Ермолаев, Д. Г. Нефедов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 76-87.
17. Якимченко, В. Г. Применение методики многокритериальной оптимизации процессов теплообмена в решении задач по снижению энергопотребления в системах кондиционирования вагонов / В. Г. Якимченко // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель: БелГУТ, 2018. – С. 222-223.
18. Aghezzaf, B., Hachimi, M. On a gap between multiobjective optimization and scalar optimization // Journal of Optimization Theory and Applications. 2001. Т. 109. № 2. P. 431-435.
19. Castellani, M., Pappalardo, M. About a gap between multiobjective optimization and scalar optimization // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2001. – Т. 109. – № 2. – P. 437-439.
20. Li, X. A non-dominated sorting particle swarm optimizer for multiobjective optimization // Lecture Notes in Computer Science. – 2003. – Т. 2723. – P. 37-48.
21. Liu X.-F., Zhou Y.-R., Yu X. Cooperative particle swarm optimization with reference-point-based prediction strategy for dynamic multiobjective optimization // Applied Soft Computing. 2020. Т. 87. P. 105988.



Попова О. В., Григорьев Я. Ю., Жарикова Е. П., Григорьева А. Л.
O. V. Popova, Ya. Yu. Grigoriev, E. P. Zharikova, A. L. Grigorieva

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОСВЕЩЁННОСТИ

LIGHTING CONTROL SYSTEM SIMULATION

Попова Ольга Владимировна – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: olia.kms@mail.ru.

Olga V. Popova – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: olia.kms@mail.ru.

Григорьев Ян Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета компьютерных технологий Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: jan198282@mail.ru.

Yan Yu. Grigoryev – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: jan198282@mail.ru.

Жарикова Евгения Павловна – ведущий программист, ассистент кафедры Прикладной математики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: evgenia131094@mail.ru

Evgeniya P. Zharikova – Assistant, Department of Applied Mathematics, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: evgenia131094@mail.ru.

Григорьева Анна Леонидовна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой «Прикладная математика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: naj198282@mail.ru.

Anna L. Grigoryeva – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: naj198282@mail.ru.

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к созданию систем автоматического регулирования освещённости. Целью является разработка автоматизированного комплекса, в основе работы которого лежит использование аналитических зависимостей. Такой подход позволяет минимизировать количество компонент системы. Для достижения поставленной цели решается ряд задач: исследование требований к нормам освещённости в помещениях различного назначения; определение параметров рассматриваемого помещения; разработка модели системы; разработка программного обеспечения; реализация макета системы.

Summary. The paper discusses approaches to creating systems for automatic control of illumination. The goal is to develop an automated complex based on the use of analytical dependencies. This approach allows you to minimize the number of system components. To achieve this goal, a number of tasks are being solved: study of the requirements for illumination standards in rooms for various purposes; determination of the parameters of the room under consideration; system model development; software development; implementation of the system layout.

Ключевые слова: освещённость, регулировка, система.

Key words: illumination, regulation, system.

УДК 007:62-5

У человека пять основных органов чувств, но основным считается зрение. Через глаза человек получает 80 % информации об окружающем мире [1]. Число производственных несчастных случаев, связанных с недостаточной освещённостью рабочих мест, может достигать 50 % от их общего количества. При грубых работах порядка 1,5 % тяжёлых травм со смертельным исходом

связано с низкой освещённостью рабочих мест. Причём травмы глаз при этом составляют 30 %. Поддержание необходимого уровня освещённости в помещениях обеспечивает положительное психофизиологическое действие на организм работника, способствует повышению безопасности и эффективности труда, сохраняет высокую работоспособность, при этом снижается утомляемость и уровень травматизма [8].

В работе рассматривается подход к созданию систем освещённости. В качестве требуемых параметров используются нормы, принятые в рамках правовых актов, определяющих безопасные и безвредные для человека количественные параметры, обеспечивающие сохранение здоровья и нормальной жизнедеятельности. В работе используются акты, действующие на территории Российской Федерации. Предлагается управление системой автоматического регулирования освещённости за счёт сокращения технических элементов и уменьшения вычислительных мощностей автоматизированной системы. В основу выбора проектной элементной базы системы закладываются параметры помещения с учётом его географической ориентации.

Система предполагает сокращение количества датчиков освещённости за счёт выявленных аналитических зависимостей, которые позволяют оценить освещённость в точках рабочего пространства на основе экспериментальных данных:

$$d \rightarrow \min,$$

где d – это количество датчиков.

Общая схема работы системы представлена на рис. 1.

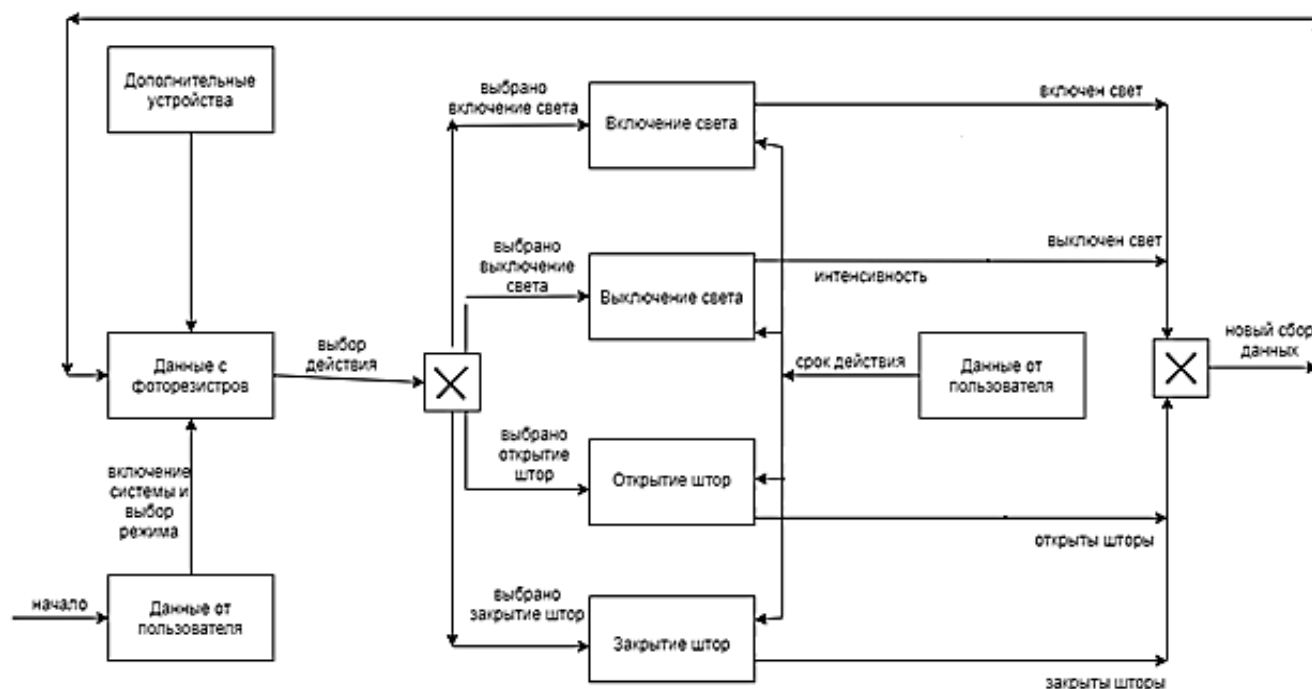


Рис. 1. Общая схема работы системы

Управление системой осуществляется в автоматическом режиме, когда данные поступают от датчиков света и пользователь не участвует в регулировке интенсивности света. Система включает в себя искусственные источники света и механизмы, регулирующие естественное освещение. На основе данных, полученных от датчиков или пользователя, формируется сигнал о состоянии освещения. Если уровень освещённости не соответствует требуемым значениям, то интенсивность света будет постепенно изменяться до необходимого уровня посредством управления источниками искусственного освещения и регулирования естественного освещения. Схема алгоритма управления системой в автоматическом режиме представлена на рис. 2.

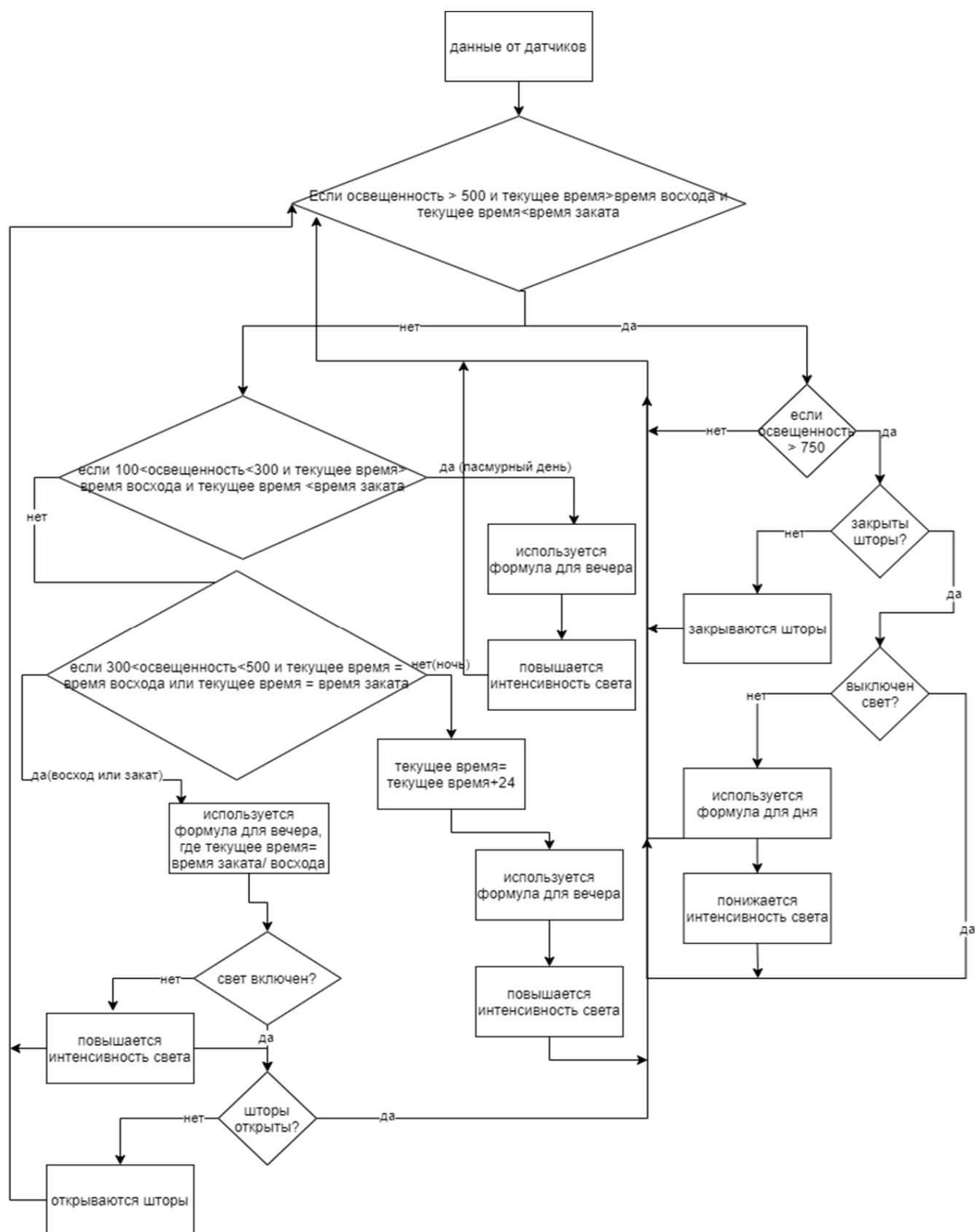


Рис. 2. Блок-схема системы при автоматическом режиме

Схема, реализующая возможность ручного управления с помощью команд, представлена на рис. 3.

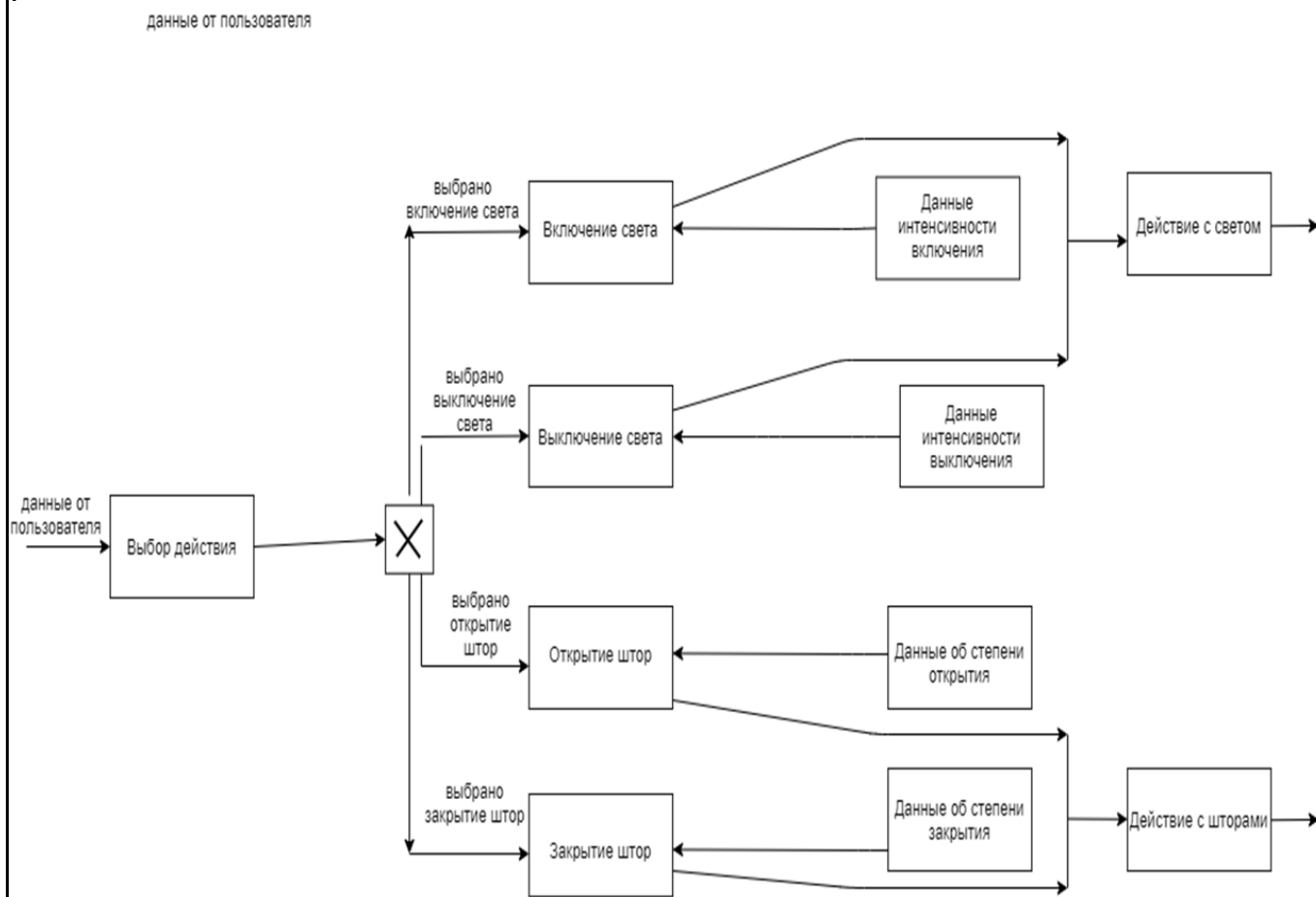


Рис. 3. Схема работы системы с данными от пользователя

При пользовательском режиме предусмотрен голосовой ввод информации.

В качестве примера базового варианта реализации рассматривается система контроля и управления освещённостью учебного помещения с использованием 2 датчиков света. Естественный свет проходит через два оконных проёма размером $2 \times 2,1$ м, которые располагаются на северо-восточной стороне. Высота помещения – 3,25 м, длина стены от оконных проёмов до противоположной стены – 5,89 м, размер стены, где располагаются оконные проёмы – 6,91 м. План исследуемого помещения представлен на рис. 4, параметры оконных проёмов – на рис. 5.

Заданные параметры являются начальными для построения зависимостей освещённости рабочей поверхности в помещении от данных, формируемых датчиками освещённости. Аналитические зависимости определяются на основе полученных значений.

Уровень освещённости и ослепительности в помещениях различных назначений нормируется. Рассматриваемое помещение в данной работе относится к категории учебных. В соответствии с нормами для России выбраны параметры освещённости. Минимальная освещённость рабочего места составляет 500 лк при работах высокой точности. Максимальная освещённость составляет 750 лк [3]. Базовыми источниками света считаются только те, что присутствуют в помещении всегда: источники естественного света (окна) и светильники, расположенные на потолке. Вид датчиков света не влияет на результативность используемого подхода.

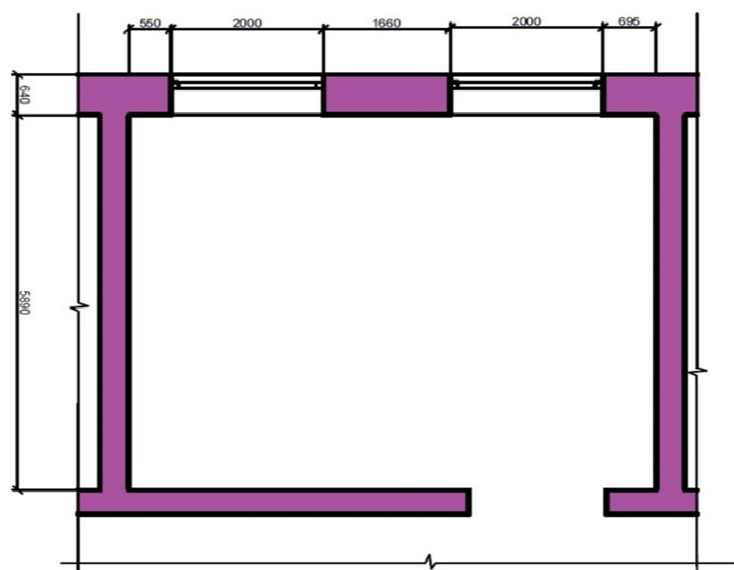


Рис. 4. План исследуемого помещения

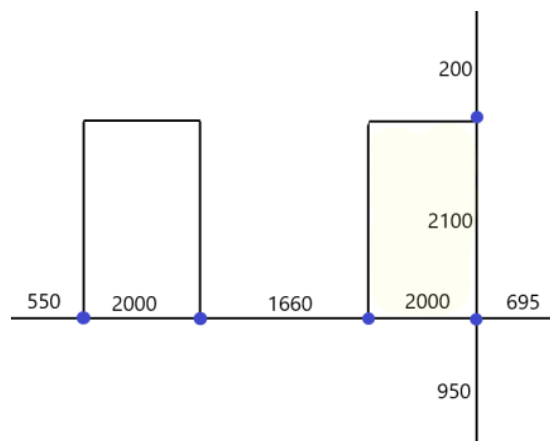


Рис. 5. Параметры проёма для естественного освещения

Данные, полученные экспериментальным путём, представлены на рис. 6, 7, где показано измерение света без искусственного освещения с 14:00 до 19:30 и измерение света с искусственным освещением с 18:00 до 19:30 в исследуемом помещении. Здесь k – освещённость, лк; x – расстояние от датчика D до контрольной точки $D2$, м (см. рис. 8); y – время сбора данных, ч.

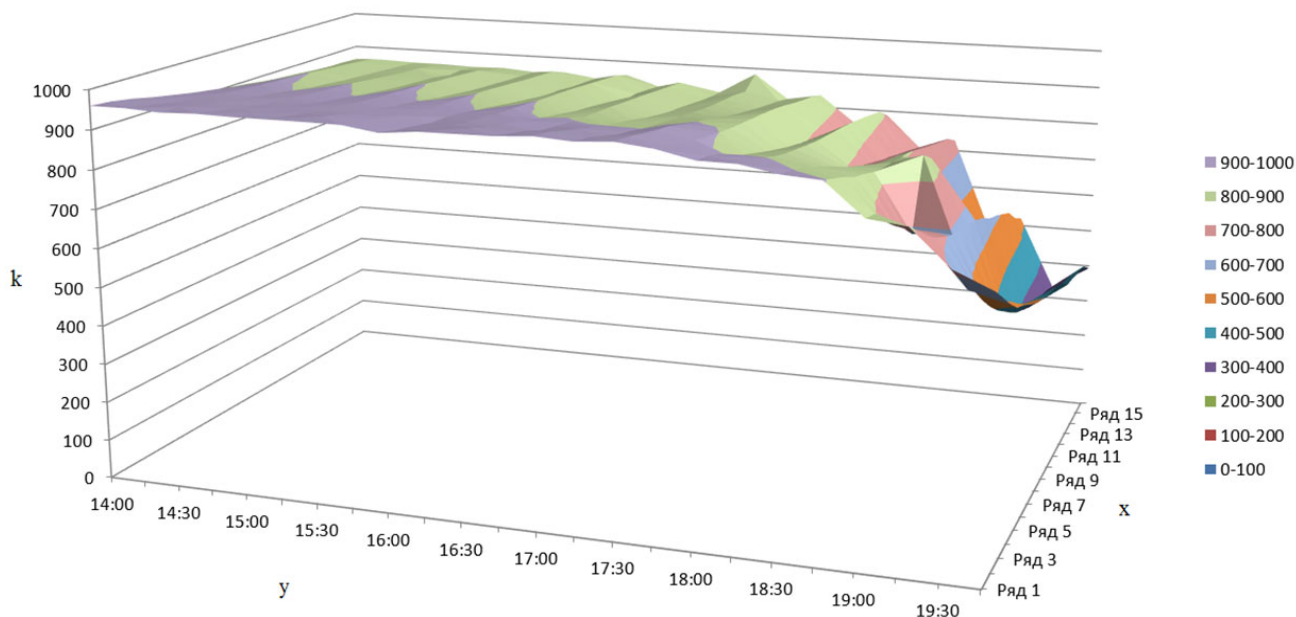


Рис. 6. Измерение света без искусственного освещения с 14:00 до 19:30

Данные собраны в помещении в 15 точках сетки с расстоянием между узлами 0,3 м на уровне высоты 1 м. Этот уровень выбран как основная рабочая зона при работе за партой или компьютером. Для исследования освещённости рабочего места учтено основное расположение уровня глаз.

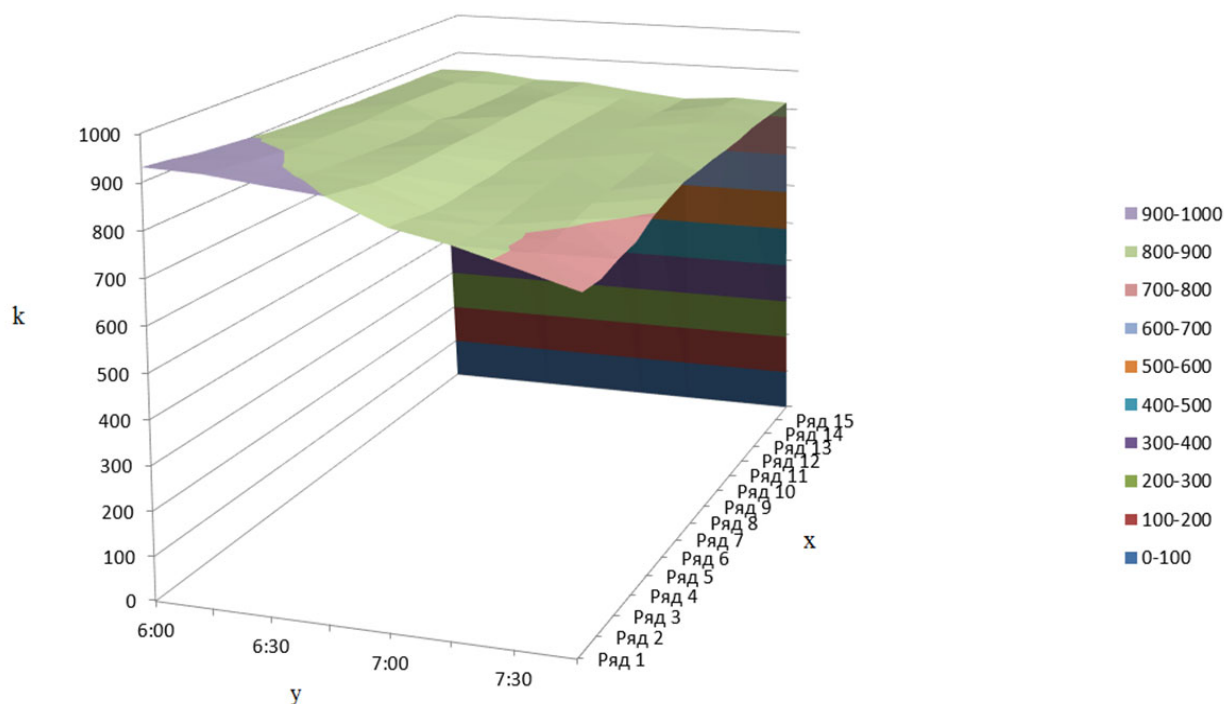


Рис. 7. Измерение света с искусственным освещением с 18:00 до 19:30

Для собранных экспериментальным путём данных выявлены следующие аналитические зависимости, определяющие освещённость в дневной и вечерний периоды:

$$F_{dnev} = k + k2 + \frac{3}{2} \cdot (b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + l \cdot x^5) + \left(\frac{a}{2}\right) + g \cdot \ln y - (b \cdot 5,89 + c \cdot 5,89^2 + d \cdot 5,89^3 + e \cdot 5,89^4 + l \cdot 5,89^5), \quad (1)$$

$$F_{vecher} = k + k2 + \frac{3}{2} \cdot (b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4 + l \cdot x^5) + \frac{l}{y} + \left(\frac{a}{2}\right) - (b \cdot 5,89 + c \cdot 5,89^2 + d \cdot 5,89^3 + e \cdot 5,89^4), \quad (2)$$

где a, b, c, d, e, l, g – коэффициенты функций; x – координата исследуемой на освещённость точки, м; y – текущее время, ч; k – данные с датчика у окна, лк; $k2$ – данные с датчика у стены, лк.

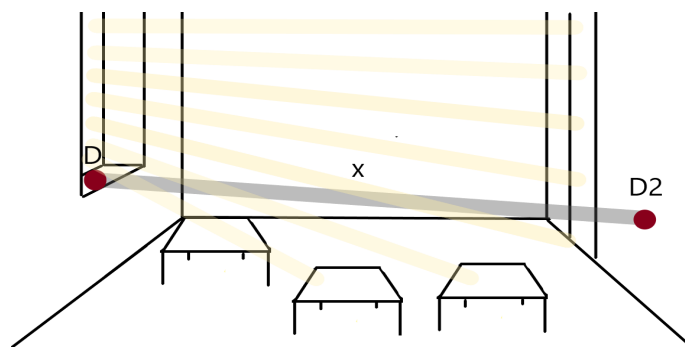


Рис. 8. Изображение расстановки датчика D до контрольной точки $D2$

Графики аппроксимации относящихся к формулам зависимостей от экспериментальных данных показаны на рис. 9-10.

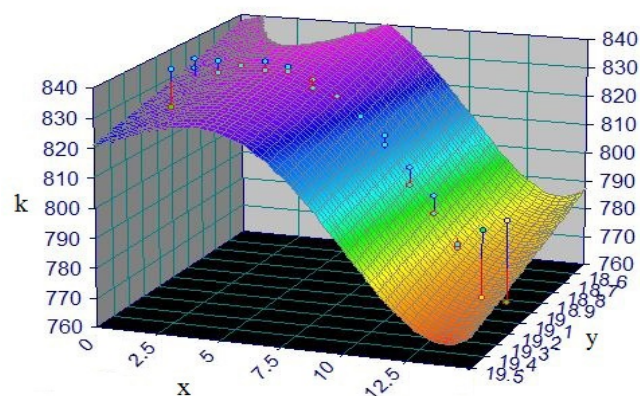
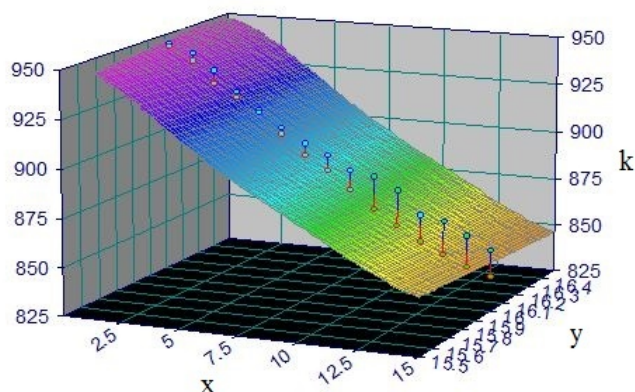


Рис. 9. График аппроксимации для функции (1) Рис. 10. График аппроксимации для функции (2)

Выявлены функциональные связи, определяющие временные диапазоны восхода и заката с учётом географического местоположения:

$$T_1(x) = \begin{cases} 0,0474 \cdot x^3 - 0,5338 \cdot x^2 + 0,873 \cdot x + 8,5133, & x \in [1; 6]; \\ -0,024 \cdot x^3 + 0,6421 \cdot x^2 - 5,5403 \cdot x + 19,484829, & x \in (6; 12]; \end{cases} \quad (3)$$

$$T_2(x) = \begin{cases} -0,0084 \cdot x^3 + 0,0819 \cdot x^2 + 0,5831 \cdot x + 16,2933, & x \in [1; 6]; \\ 0,0472 \cdot x^3 - 1,3519 \cdot x^2 + 11,9027 \cdot x - 11,7433, & x \in (6; 12], \end{cases} \quad (4)$$

где функция $T_1(x)$ – зависимость времени заката от полугодий; $T_2(x)$ – зависимость времени восхода от полугодий; x – диапазон от 1 до 12 месяца.

Параметр времени для формул (3) и (4) рассчитывается по формуле, учитывающей месяц и день:

$$x = \text{месяц} + \frac{\text{число(дата)}}{32}.$$

Для разработки программного обеспечения применяются такие инструменты, как «Pocketsphinx», «PyTTSx», «PyAudio», «RHVoice», «ROS melodic», «Arduino» и язык программирования «Python». Для наглядности создан макет помещения, также на рис. 11 показана работа системы. Для имитации освещения использована светодиодная лента, которая разделена на отрезки по 9 светодиодов. Количество диодов подобрано под параметры помещения. Для имитации механизма штор подключён шаговый двигатель. Для измерения освещённости подключены 2 датчика освещённости.



Рис. 11. Работающая система в макете

Вывод

Разработан подход к созданию системы автоматизированного контроля освещённости помещения. В основу подхода заложен принцип определения состояния освещённости по полученным на основе экспериментальных данных связям. Проведены исследования по получению результатов для выбранного типа помещения. Дальнейший анализ различных типов помещений может позволить выявить зависимости вычислительных схем от характеристик помещений. Предлагаемая модель позволила упростить техническую схему, результаты работы автоматической системы были апробированы с помощью созданного макета.

Целью дальнейшего исследования ставится определение универсальной функциональной связи, содержащей n параметров, которые зависят от характеристик помещения, географической ориентации естественных источников освещения и состояния датчиков. При этом только два параметра будут меняться в зависимости от потока данных от сенсоров, остальные параметры будут фиксированными и определяются в соответствии с характеристиками помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валов, С. Л. Влияние освещённости на работоспособность человека / С. Л. Валов, Р. Р. Саляхутдинов, С. Б. Петров // Кировский государственный медицинский университет Минздрава России. – 2019. – № 52. – С. 12-14.
2. Выборнов, П. В. Использование датчиков освещённости в помещениях для соблюдения норм освещённости / П. В. Выборнов // Актуальные направления научных исследований 21 века. Теория и практика. – 2015. – № 7. – С. 236-240.
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий: утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06 апреля 2003 г.: введ. в действие с 15.06.2003. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 28 с.
4. Детектирование состояния поверхности / Е. П. Жарикова, И. А. Трещев, Я. Ю. Григорьев, А. Л. Григорьева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № III-1 (39). – С. 58-63.
5. Попова, О. В. Разработка системы контроля и регулировки освещённости / О. В. Попова, Е. П. Жарикова, Я. Ю. Григорьев // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3 ч. / редколлегия: Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – С. 367-370.
6. Нгуен Тхи Хань Фыонг. Оценка естественного освещения зданий с учётом солнцезащитных конструкций при реальных состояниях облачности / Нгуен Тхи Хань Фыонг, А. К. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2020. – № 15 (2). – С. 180-200.
7. Карпова, Т. В. Сравнительный анализ ламп освещения: энергосберегающий, здоровьесберегающий аспекты / Т. В. Карпова // Наука, техника и образование. – 2019. – № 3. – С. 89-93.
8. Лагутина, Н. В. Проблемы освещённости учебных аудиторий в вузах / Н. В. Лагутина, А. В. Новиков, О. В. Сумарукова // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. – 2013. – № 5 (5). – С. 228-230.
9. Мареева, А. С. Организация и автоматический контроль систем освещения в помещениях с низким уровнем освещённости / А. С. Мареева, Т. А. Метлина // Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2019. – № 2. – С. 18-21.
10. Шеметова, Е. Г. Исследование освещённости рабочих мест студентов университета / Е. Г. Шеметова // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 118-121.
11. Ali M Baniyounes, Yazeed Yasin Ghadi, Mazen Alnabulsi «Exergy analysis of day light using fuzzy logic controllers of Jordanian commercial buildings», Vol. 11, No. 4, 2020, pp. 1686-1692.
12. Alonso, J (Alonso, Javier); Godoy, J (Godoy, Jorge); Sanz, R (Sanz, Roberto); Onieva, E (Onieva, Enrique); Milanes, V (Milanes, Vicente); Villagra, J (Villagra, Jorge); Gonzalez, C (Gonzalez, Carlos); de Pedro, T (de Pedro, Teresa); Garcia, R (Garcia, Ricardo) «Computer Aided Systems Theory – Eurocast 2011, PT II», Vol. 6928, 2012, pp. 398-403.
13. Britz, D (Britz, Dieter); Strutwolf, J (Strutwolf, Joerg) «Programming», Digital Simulation in Electrochemistry, 4th Edition, 2016, pp. 421-425.



14. Chen, Y (Chen, Ya); Li, YJ (Li, Yongjun); Wu, HQ (Wu, Huaqing); Liang, L (Liang, Liang) "Data Envelopment Analysis with Missing Data: a Multiple Linear Regression Analysis Approach" International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol. 13, № 1, 2014, pp. 137-153.
15. Cheng, Y (Cheng, Yi) «Forward approximation and backward approximation in fuzzy rough sets» Neurocomputing, Vol. 148, 2015, pp. 340-353.
16. D'Ausilio, A (D'Ausilio, Alessandro) «Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment» Behavior Research Methods, Vol. 44, № 2, 2012, pp. 305-313.
17. Karachalias, G (Karachalias, Georgios); Schrijvers, T (Schrijvers, Tom) «Elaboration on Functional Dependencies: Functional Dependencies Are Dead, Long Live Functional Dependencies!» ACM Sigplan Notices, Vol. 52, № 10, 2017, pp. 133-147.
18. Lv, HC (Lv, Huichao); Feng, LH (Feng, Lihui); Yang, AY (Yang, Aiyang); Lin, B (Lin, Bo); Huang, HQ (Huang, Heqing); Chen, SF (Chen, Shufen) «Light emitting diode positioning system based on a lamp stripe» Optical Engineering, Vol. 58, № 4, 2019.
19. Marowka, A (Marowka, Ami); Stpiczynski, P (Stpiczynski, Przemyslaw) «Special section on parallel programming», Journal of Supercomputing, Vol. 74, № 4, 2018, pp. 1419-1421.
20. Song, SX (Song, Shaoxu); Chen, L (Chen, Lei) «Differential Dependencies: Reasoning and Discovery», ACM Transactions on Database Systems, Vol. 36, № 3, 2011.
21. Zharikova E. P, Grigoryev J. U., Grigoryeva A. L. «Surface State Detection» International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon, 2019, p. 8934205.
22. Wojcicki, P (Wojcicki, P.); Skulimowski, S (Skulimowski, S.); Koziel, G (Koziel, G.); Szymczyk, T (Szymczyk, T.) «Application of Arduino in Programming Learn» 12th International Technology, Education and Development Conference, 2018, pp. 7436-7441.

Григорьева А. Л., Григорьев Я. Ю., Ломакина Н. С., Хряпенко К. Д., Альхименко И. Н., Чепурных М. А.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
И СУДАХ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

**Григорьева А. Л., Григорьев Я. Ю., Ломакина Н. С., Хряпенко К. Д., Альхименко И. Н.,
Чепурных М. А.**

**A. L. Grigorieva, Yu. Ya. Grigoriev, N. S. Lomakina, K. D. Khryapenko, I. N. Alhimenko,
M. A. Chepurnykh**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И СУДАХ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF THE PROCESS MANAGEMENT
SYSTEM AT ENTERPRISES AND VESSELS OF ICE NAVIGATION ON THE BASIS
OF THE NETWORK PLANNING MODEL**

Григорьева Анна Леонидовна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой
«Прикладная математика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсо-
мольск-на-Амуре). E-mail: naj198282@mail.ru.

Anna L. Grigorieva – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department
of Applied Mathematics, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail:
naj198282@mail.ru.

Григорьев Ян Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета компьютер-
ных технологий Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-
Амуре). E-mail: jan198282@mail.ru.

Yan Yu. Grigoriev – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of
Computer Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).
E-mail: jan198282@mail.ru.

Ломакина Наталья Сергеевна – заведующая кафедрой «Общепрофессиональные и специальные дисци-
плины» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
E-mail: naj198282@mail.ru.

Natalia S. Lomakina – Head of the General Professional and Special Disciplines Department, Komsomolsk-na-
Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: naj198282@mail.ru.

Хряпенко Ксения Дмитриевна – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета
(Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Ksenia D. Khryapenko – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Komsomolsk-on-Amur, Russia).

Альхименко Игорь Николаевич – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета
(Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Igor N. Alkhimenko – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Komsomolsk-on-Amur, Russia).

Чепурных Максим Алексеевич – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета
(Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Maxim A. Chepurnykh – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Komsomolsk-on-Amur, Russia).

Аннотация. Данная работа посвящена разработке математической модели, написанию программного ком-
плекса, позволяющего оптимизировать процессы совместного функционирования различных подразде-
лений на производстве и на распределении ресурсов управления потоками судов ледового плавания.

Summary. This work is devoted to the development of a mathematical model, writing a software package that al-
lows you to optimize the processes of joint functioning of various departments in the production and distribution of
resources for managing the flow of ice navigation vessels.



Ключевые слова: сетевое планирование, сетевая модель, процессы оптимизации, управление производством, программный комплекс, морское судно, ледовое плавание.

Key words: network planning, network model, optimization processes, production management, software package, sea vessel, ice swimming.

УДК 004.021:004.93'11

Основные цели данной работы: рассмотреть теоретические основы сетевого планирования; исследовать специфику предметной области; провести сбор данных, описывающих строительно-монтажные работы; создать математическую модель и разработать программный комплекс, способный оптимизировать работу ООО «РН-Комсомольский НПЗ», а также применить данную работу для оптимизации распределения ресурсов при планировании путей перемещения судов ледового плавания.

Создание проекта всегда начинается с планирования задач, лиц, непосредственно отвечающих за исполнение данных задач, количества ресурсов и времени, которым мы можем располагать. Чем сложнее и объёмнее предполагаемая работа, тем сложнее координировать процесс и отслеживать нарушение сроков исполнения работы на определённых этапах определёнными подразделениями. Простой календарный график не способен отвечать всем нуждам, т.к. остаётся проблема принятия срочных решений на его основе, корректировка графика в ходе исполнения проекта, также он не даёт возможности увидеть резервы времени и ресурсов. Составление календарного графика при больших объёмах задач не имеет смысла. Приведённым выше задачам отвечают модели сетевого планирования.

Постановка задачи оптимизации

Сетевая модель, в сущности, основана на теории графов – это схема, состоящая из установленных точек (вершин), объединённых отрезками (рёбрами). Если их направления обозначены стрелками, схема именуется ориентированным графом.

Основное понятие, на котором базируется теоретическое изучение сетевой модели:

Сетевой график – экономико-математическая модель, содержащая взаимосвязь комплекса работ и событий, которые входят в реализацию проекта, связи между ними, хронологические, логические и технические. Представляет собой ориентированный граф без контуров с рёбрами, отмеченными соответствующими числами.

Анализ сетевого графика, представленного либо в графической, либо в табличной форме, позволяет более чётко выявлять взаимосвязи этапов реализации проектов и определять наиболее оптимальный способ выполнения работ. Таким образом, метод сетевого моделирования относится к методам принятия оптимальных решений.

Сетевая модель состоит из следующих элементов:

Событие – некий результат выполненной работы. Событие не имеет временных промежутков, оно совершается в тот момент, когда в него входит последнее действие. Каждый сетевой график имеет начальное событие, из которого работы только выходят, и конечное, в которое работы только входят.

Путь является очередностью работ, соединяющих начальное и конечное событие. Продолжительность пути можно определить, суммировав продолжительность всех входящих в него работ.

Критический путь – самый длительный по времени путь в сетевом графике. Его протяжённость во времени соответствует времени, которое необходимо на выполнение всех операций проекта, включая параллельные. Очень часто критический путь принимают за наикратчайший; это неверно. Путаница происходит из-за того, что длина критического пути не включает в себя резервы времени (временные лаги), таким образом, каждая последующая операция начинается после окончания предыдущей, вследствие чего задержка выполнения любой критической операции приводит к отсрочке всего финиша проекта.

При каждой возможности руководитель проекта пытается сократить длину критического пути, оптимизируя сетевой график. Управляющие проектом часто прибегают к искусственному созданию буферных зон для критического пути.

Актуальность метода сетевого планирования заключается в применении строго математического аппарата, что позволяет привлекать вычислительную технику и соответствующие программы, которые упрощают процесс создания и оптимизации сетевых моделей. Эффективность создания и оптимизации сетевой модели и преимущество её перед методами календарного планирования очевидны и заключаются в многозадачности сетевой модели и унимодальности.

Таким образом, рассмотренная задача может эффективно применяться при управлении проектами на ООО «РН-Комсомольский НПЗ». С помощью сетевой модели можно упростить работу с проектами для сотрудников, а также оптимизировать сроки выполнения проектов.

Также очень актуальной задачей для оптимального распределения перемещения судов по судоходным путям является задача перемещения судов ледового плавания. Главным критерием данного перемещения является определение ответственных лиц за своевременную поставку самого судна и ресурсов, товаров, которое обеспечивается при функционировании системы.

Невозможно представить себе современную науку без широкого применения математического моделирования. Сущность этой методологии состоит в замене исходного объекта его «образом» – математической моделью – и дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Этот «третий метод» познания, конструирования, проектирования сочетает в себе многие достоинства как теории, так и эксперимента.

В данный момент на рынке ПО существуют разные программы для оптимизации производства. Среди прочих можно выделить Advanta 3 и Oracle Primavera P6 (см. рис. 1).

Преимущества и недостатки представленных аналогов

Название программы	Преимущества	Недостатки
Advanta 3	1) Хранение данных на сервере 2) Единый корпоративный портал для всех участников проектной деятельности в режиме онлайн 3) Красивый и удобный интерфейс	1) Стоимость более 400 т.р на 10 ПК в год 2) Требуется дополнительное обучение персонала 3) Добавление баз данных возможно только через EMS SQL Manager
Oracle Primavera P6	1) Эффективная работа с большим объемом информации 2) Надежные средства защиты информации	1) Сложность в освоении, необходимость длительного обучения 2) цена от 37 до 150 т.р на 1 ПК

Рис. 1. Сравнительный анализ существующих аналогов

В данной работе был использован метод оптимизации производства на основе математического моделирования, в частности для оптимизации производства на ООО «РН-Комсомольский НПЗ».

Создание математической модели

Задача, рассматриваемая в данной работе, представляет собой процесс оптимизации управления строительно-монтажными работами, а также оптимальное распределение поставок оборудования на предприятие. Данная задача вызывает сложности в связи с большим количеством проектов, осуществляемых на предприятии, с большими объёмами работ, охватывающих данные проекты. В связи с чем возникла необходимость оптимизации СМР на ООО «РН-Комсомольский НПЗ» по множественным факторам, влияющим на производительность процессов, что должно привести к значительному сокращению расходов на многие виды затрачиваемых ресурсов.

Сформирована математическая задача (см. рис. 2), разработана математическая модель, позволяющая оптимизировать процессы [1-3] на производстве. В связи с этим возникла необходимость разработки программного комплекса, позволяющего вышестоящему звену (ответственному за производство на предприятии) оптимальным образом управлять различными видами ресурсов (человеческими, материальными и т.д.). Схема процесса оптимизации поставленной задачи представлена на рис. 3.

$T_{кр}$ – продолжительность критического пути;

$b_{i,j}$ – выделенные ресурсы для выполнения работы (i, j) ;

$t_{i,j}$ – длительность выполнения работы (i, j) ;

r_{ij}^{CB} – свободный резерв времени работы (i, j) ;

$x_{i,j}$ – искомая величина.????

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{i,j} = f(x_{i,j}) > t_{i,j} \\ t_{h,k} = f(x_{h,k}) < t_{h,k} \\ t = \lim t_0 \left(1 \pm \frac{x}{n}\right)^n = t_0 \exp \frac{x}{b} \\ t_{i,j} = t_{i,j} (1 + x_{i,j}) = t_{i,j} + t_{i,j} \frac{x_{i,j}}{b_{i,j}} \\ t_{h,k} = t_{h,k} (1 + x_{h,k}) = t_{h,k} + t_{h,k} \frac{x_{h,k}}{b_{h,k}} \\ \sum_{CH.}^M x_{i,j} = \sum_{ПЕР.}^N x_{h,k} \\ t_{i,j} + r_{ij}^{CB} \geq t_{i,j} (1 - x_{i,j}). \end{array} \right.$$

$$z = T_{кр} = \sum_{КР} t_{l,m} = \sum_{КР}^N f(x_{hk}) \rightarrow \min$$

Рис. 2. Постановка математической задачи

Для построения сетевого графика (см. рис. 4) воспользуемся данными табл. 1.



Рис. 3. Схема оптимизации поставленной задачи

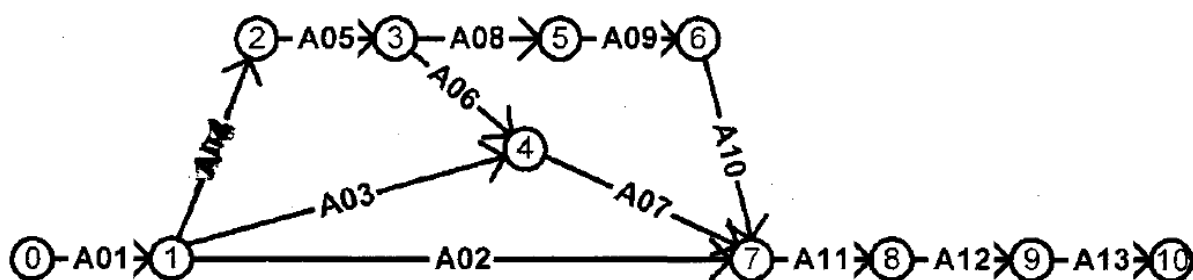


Рис. 4. Сетевой график



Таблица 1

Данные для построения сетевого графика

Содержание работы	Обозначение A_i	Предшествующие работы	Продолжительность работы, мес.
Расчёт теплообмена	A_1	-	3
Разработка и согласование ТЗ на выполнение ПИР	A_2	A_1	4
Формирование расчёта стоимости проекта	A_3	A_1	1
Защита проекта на ИпК	A_4	A_1	2
Корректировка расширенного плана закупок	A_5	A_5	1
Проведение закупочных процедур по выбору подрядчика	A_6	A_5	4
Формирование и направление заявки на поставку оборудования	A_7	A_3, A_6	1
Заключение договора на выполнение СМР	A_8	A_5	2
Заключение ДС на выполнение работ	A_9	A_8	3
Выполнение работ, этап № 1	A_{10}	A_9	9
Изготовление и доставка внутренних устройств на склад	A_{11}	A_2, A_7, A_{10}	2
Выполнение строительно-монтажных работ	A_{12}	A_{11}	6
Демонтаж/монтаж внутренних устройств	A_{13}	A_{12}	5

С помощью имеющихся данных и анализа работы были получены 4 этапа оптимизации на сетевых графиках (см. рис. 5).

Разработка программного комплекса

В процессе оптимизации была разработана математическая модель, позволяющая оптимизировать процессы на производстве. С помощью полученной математической модели был разработан программный комплекс, который позволяет руководящему звену предприятия или любого отдела вести контроль как за процессом функционирования отдела, так и за оптимальным распределением различного вида ресурсов (человеческих, временных, денежных и т.д.). Данный программный комплекс позволяет определять звено, при работе которого произошёл сбой в функционировании всей системы управления [4-5].

Интерфейс разработанной программы выглядит следующим образом (см. рис. 6).

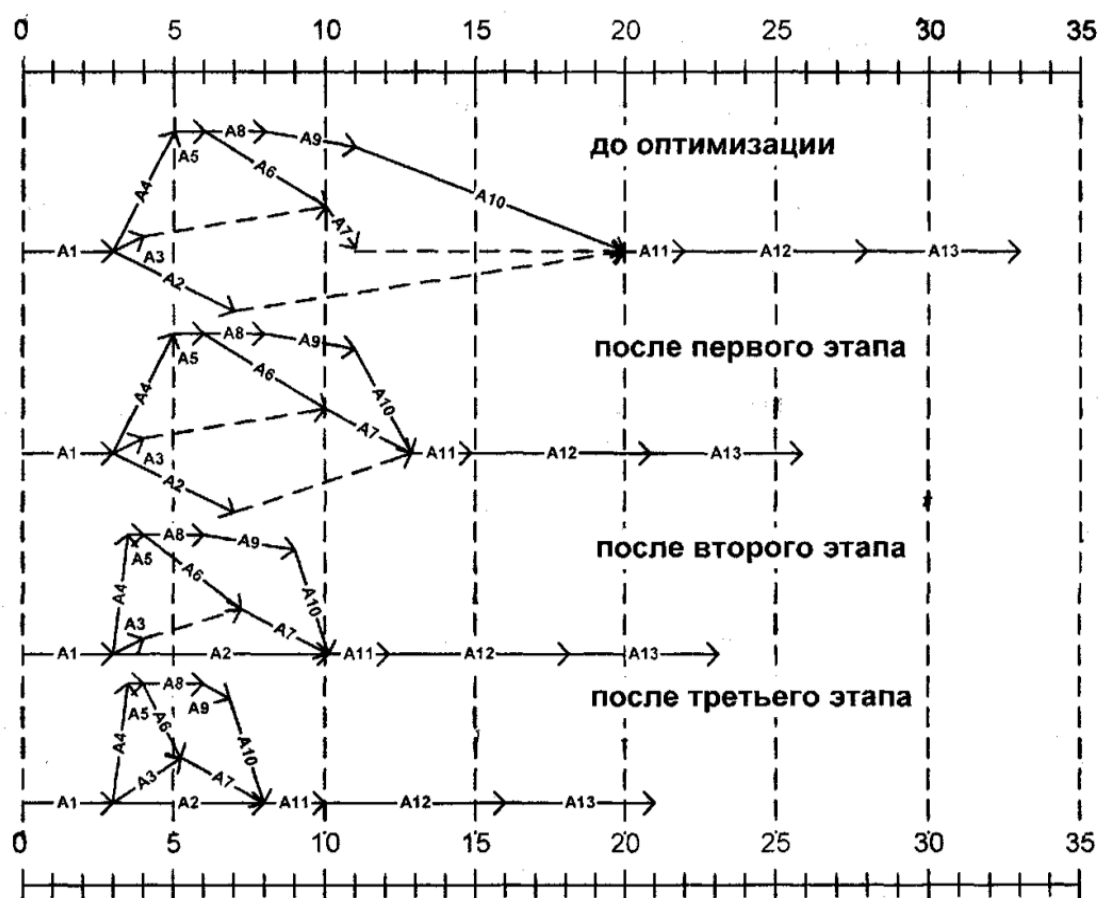


Рис. 5. Сетевой график оптимизации

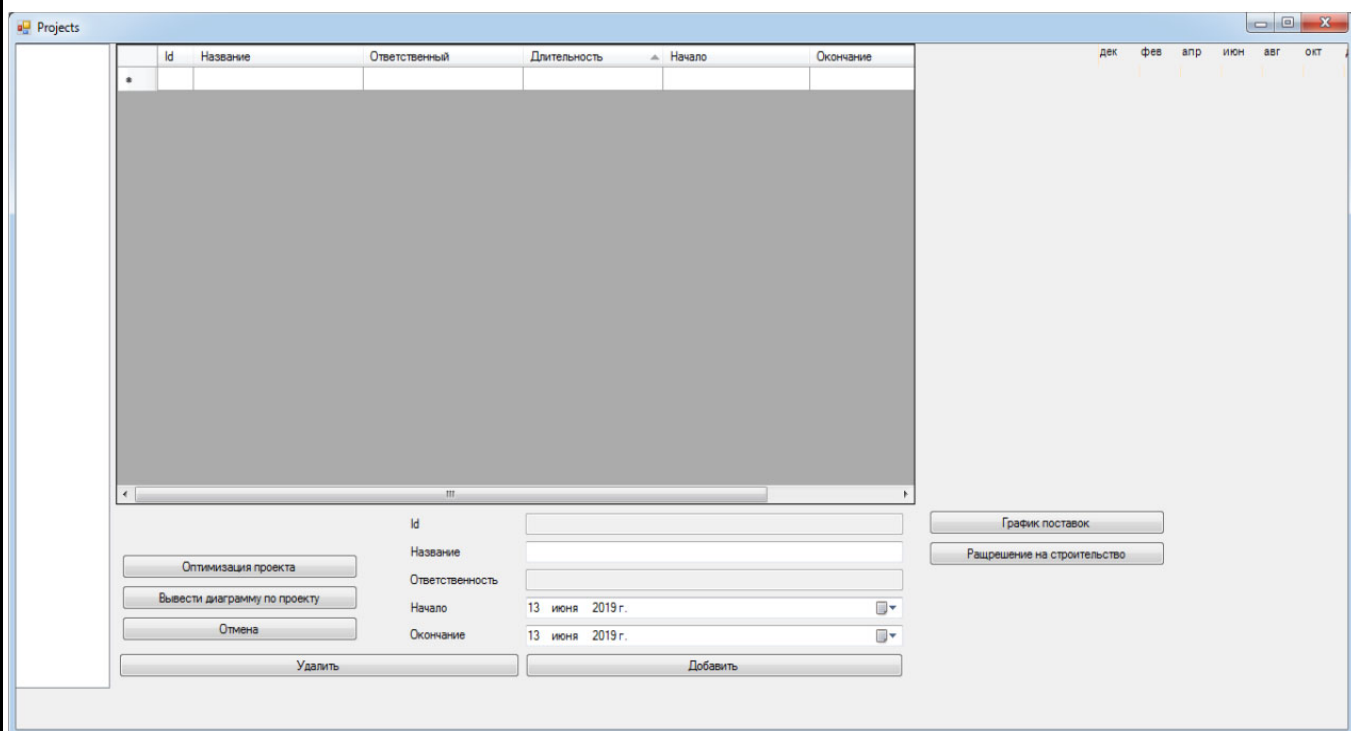


Рис. 6. Интерфейс разработанной программы

В программе пользователь может добавлять проекты, этапы и работы, а также указывать в них следующие параметры: название, дату начала, дату окончания, ответственного.

Для добавления нового проекта необходимо заполнить поля «Начало», «Окончание», «Название» и нажать кнопку «Добавить» (см. рис. 7).

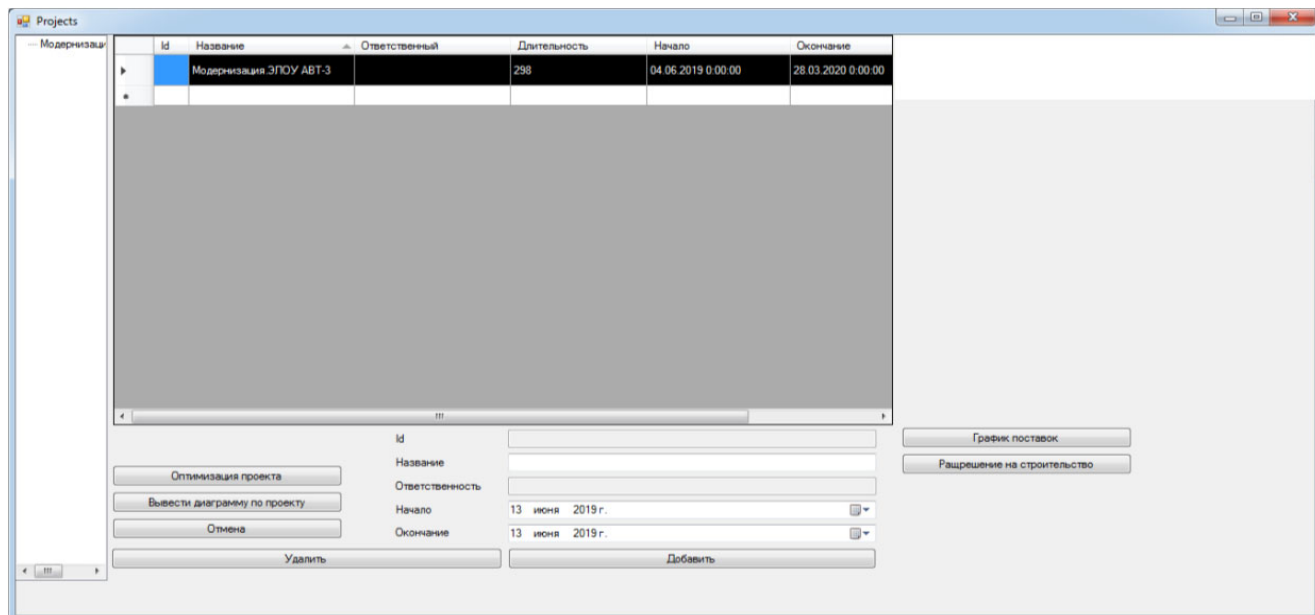


Рис. 7. Добавление проекта

Если до окончания проекта остаётся менее 30 дней, то название данного проекта в списке проектов окрашивается в красный цвет.

В случае некорректного ввода данных любой проект, этап или работу можно удалить, для этого нужно нажать на требуемый объект, а после нажать на кнопку «Удалить».

Чтобы оптимизировать необходимый нам проект, нужно выбрать проект и нажать на кнопку «Оптимизация проекта» – на экран будет выведена диаграмма Ганта для оптимизированного проекта (см. рис. 8).

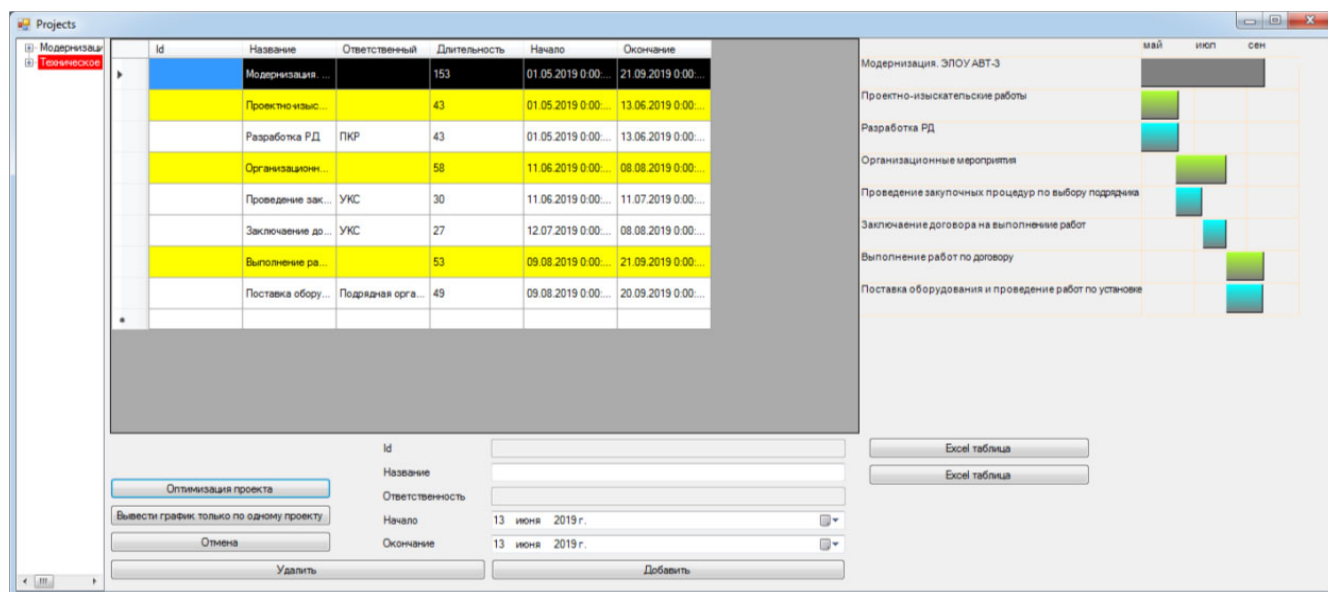


Рис. 8. Оптимизированный проект

Выводы и результаты

1. Была разработана математическая модель оптимизации задачи, создан программный комплекс оптимизации сетевого планирования строительно-монтажных работ и поставок оборудования на ООО «РН-Комсомольский НПЗ» [6-10].
2. Данная работа имеет практическую значимость для производства: математическая модель позволяет оценить сроки выполнения поставленной задачи и возможность её оптимизации, а программный комплекс реализует математическую модель в простой форме, позволяющей наглядно отслеживать процессы производства.
3. Полученный комплекс решений прекрасно подходит для строительно-монтажных работ и позволяет тратить меньше времени на строительство для различных предприятий различного уровня. Также этот программный комплекс можно использовать на производстве не только в области строительных услуг, но и для оптимизации работы предприятий в области торговли, оказания различных видов услуг и т.д. [11-15].
4. Дальнейшие исследования будут предполагать применение математических расчётов в оптимизации различных видов работ. Также планируются доработка написанного программного комплекса с введением различных вспомогательных модулей (модуль оповещения специальным сигналом с выводом текстового сообщения, модуль чата общения между начальниками подразделений различного уровня, модуль передачи графических файлов, требующихся для выполнения различных заданий и т.д.), исследование эффективности разных применяемых программных комплексов по оптимизации конкретных задач и внедрение данного комплекса для управления процессом функционирования производства и оптимизации распределения человеческих ресурсов на различных подвижных объектах, включая судовые и авиаобъекты [16-20].

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие техники и технологии испытания баллистических шлемов / Е. А. Чернышов, И. Д. Романов, А. Д. Романов, Р. О. Горбатов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № I-1(37). – С. 100-107.
2. Амосов, О. С. Создание интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы безопасности вуза нового поколения: о новом проекте Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета / О. С. Амосов, С. Г. Баена, Я. С. Иващенко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № I-1 (29). – С. 119-120.
3. Амосов, О. С. Сетевая классификация атак в задачах информационной безопасности на основе интеллектуальных технологий, фрактального и вейвлет-анализа / О. С. Амосов, Д. С. Магола, С. Г. Баена // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № IV-1 (32). – С. 19-29.
4. Жарикова, Е. П. Модели компьютерного зрения в задачах дистанционного зондирования / Е. П. Жарикова, Я. Ю. Григорьев, А. Л. Григорьева // Постулат. Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема (Биробиджан). – 2018. – № 4 (30). – С. 73.
5. Намоконов, А. Н. Разработка программного комплекса получения параметров, характеризующих поведение быстротсхватывающихся бетонов высокопрочных марок / А. Н. Намоконов, А. Л. Григорьева // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3 ч. / Редколлегия: Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – С. 330-333.
6. Атюков, Н. В. Математическое моделирование образа объекта с помощью лазерного дальномера / Н. В. Атюков, А. Л. Григорьева // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. В 2 ч. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – С. 129-131.
7. Архипова, Н. И. Теория системного анализа и управления: учеб. пособие для вузов / Н. И. Архипова, В. В. Кульба, С. А. Косяченко. – М.: Изд-во «ПРИОР», 2008. – 384 с.
8. Аттетков, А. В. Введение в методы оптимизации / А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 272 с.
9. Сухарев, А. Г. Методы оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. – М.: Юрайт, 2014. – 368 с.



10. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов: учеб. пособие / Н. В. Голубева. – СПб.: Лань, 2013. – 192 с.
11. Тимченко, Т. Н. Системный анализ в управлении / Т. Н. Тимченко. – М.: ПРИОР, 2011. – 162 с.
12. Сарилова, О. А. Факторная модель как метод оценки вклада нематериальных активов в стоимость организации / О. А. Сарилова, А. Л. Григорьева, Я. Ю. Григорьев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2012. – № III-2 (11). – С. 107-112.
13. Федосенко, В. Б. Задача оптимизации технологического процесса строительства в климатических условиях Хабаровского края / В. Б. Федосенко, Я. Ю. Григорьев, А. Л. Григорьева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № III-1 (3). – С. 122-126.
14. Zharikova E. P., Grigoryev J. U., Grigoryeva A. L. Methods of remote sensing in forest fund assessment problems / 2019 International Science and Technology Conference «EastConf», EastConf 2019. 2019. – P. 8725343.
15. Рыбкина, П. Р. Анализ деятельности современного рынка образовательных услуг в рамках регрессионных математических моделей / П. Р. Рыбкина, А. Л. Григорьева // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / отв. ред. Э. А. Дмитриев. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2017. – С. 927-933.
16. Григорьев, Я. Ю. Разработка универсальной модели оптимизации ИТ-инфраструктуры предприятий с децентрализованными сервисными системами в филиалах / Я. Ю. Григорьев, А. Л. Григорьева, С. А. Батурин // Молодой учёный. – 2017. – № 25 (159). – С. 35-38.
17. Телегин А. Н., Сарилов М. Ю. Повышение эффективности массообменных аппаратов за счёт обоснованного выбора контактных устройств на примере прямоточной клапанно-ситчатой тарелки / А. Н. Телегин, М. Ю. Сарилов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1 (34). – С. 63-68.
18. Астафьева, Н. А. Герметизация корпусов электронных модулей / Н. А. Астафьева, Е. П. Николаева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1 (34). – С. 83-90.
19. Стельмашук, С. В. Согласованное управление устройством транспортировки ленты с модальными регуляторами / С. В. Стельмашук, Д. В. Капустенко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № II-1 (38). – С. 28-40.
20. Стельмашук, С. В. Синтез гибкой обратной связи рулевого привода судна / С. В. Стельмашук, Й. Х. Чжо // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1 (34). – С. 4-15.

Иванов С. Н., Колесник М. Б., Колошенко Ю. Б., Просолович А. А., Ким К. К.
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С УЧЁТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Иванов С. Н., Колесник М. Б., Колошенко Ю. Б., Просолович А. А., Ким К. К.
S. N. Ivanov, M. B. Kolesnik, Yu. B. Koloshenko, A. A. Prosolovich, K. K. Kim

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
С УЧЁТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**STATEMENT OF THE PROBLEM OF SELECTION AND ALGORITHM FOR DETERMINING
THE PARAMETERS OF THE TRANSFER ELEMENTS OF ELECTROMECHANICAL
CONVERTERS TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATING VOLTAGES**

Иванов Сергей Николаевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Ivanov.sn@email.knastu.ru.

Sergey N. Ivanov – Doctor of Engineering, Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: Ivanov.sn@email.knastu.ru.

Колесник Максим Борисович – студент кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kolmax2001@mail.ru.

Maxim B. Kolesnik – Student, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: kolmax2001@mail.ru.

Колошенко Юлия Борисовна – старший преподаватель кафедры «Авиастроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 8(4217)241-118. E-mail: koloschenko2011@yandex.ru.

Yulya B. Koloshenko – Senior Lecturer, Aircraft Construction Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.; tel. 8(4217)241-118. E-mail: koloschenko2011@yandex.ru.

Просолович Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 8(914)185-93-59. E-mail: office@knastu.ru.

Alexey A. Prosolovich – PhD in Engineering, Associate Professor, Computer-Aided Design System Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.; tel. 8(914)185-93-59. E-mail: office@knastu.ru.

Ким Константин Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехники и теплоэнергетики» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (Россия, Санкт-Петербург); Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский проспект, 9; тел. 8(903)096-57-70. E-mail: kimkk@inbox.ru.

Konstantin K. Kim – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering Department, Sankt-Petersburg State Transport University Emperor Alexander I (Russia, Sankt-Petersburg); house 9, Moskovsky Av. Sankt-Petersburg, Russia; tel. 8(903)096-57-70. E-mail: kimkk@inbox.ru.

Аннотация. Рассмотрена задача определения минимально допустимого диаметра исполнительного элемента, являющегося валом электромеханического преобразователя. Приведён алгоритм выбора диаметра ротора приводного механизма по заданной осевой нагрузке. Установлены критерии устойчивости резьбового соединения, обеспечивающего линейное перемещение тяги, с учётом напряжений сжатия/растяжения и изгиба.

Summary. The problem of determining the minimum allowable diameter of the actuator, which is the shaft of an Electromechanical Converter, is considered. An algorithm for selecting the rotor diameter of the drive mechanism

for a given axial load is presented. The stability criteria of a threaded connection providing linear traction movement, taking into account compression, tension and bending stresses, are established.

Ключевые слова: электропривод, исполнительный элемент, передача винт-гайка, алгоритм.

Key words: electric drive, executive element, screw-nut transmission, algorithm.

УДК 621.31:621.25

Введение. Автоматизация процессов проектирования и интеграция полученных результатов обеспечивают возможность создания простых и надёжных электроприводов на основе асинхронных короткозамкнутых двигателей с линейным перемещением исполнительного элемента, конструктивное исполнение которых описано в [1-3]. Анализ конструкции передаточного механизма показывает, что используемое в нём сопряжение типа «винт-гайка» является наиболее слабым звеном привода. Поэтому разработка методики выбора размерных соотношений передаточных элементов на основе технических и эксплуатационных характеристик электромеханических преобразователей представляет сложную вариационную задачу, требующую использования современных программных средств.

Выбор проектных параметров. Начальный этап проектирования требует установления номенклатуры проектных параметров, включающей следующие величины:

1. определение типа резьбы;
2. осевое усилие, приложенное к винту P ;
3. допустимую из условия износа удельную нагрузку на виток q ;
4. относительную высоту витка ψ_h . Для трапецеидальной резьбы $\psi_h = 0,5$;
5. относительную высоту гайки ψ_H . Рекомендуется принимать $\psi_H = 1,2 \dots 2,5$;
6. средний диаметр наружной резьбы d_2 ;
7. число витков в гайке z (не более 15);
8. шаг резьбы p ;
9. допустимое напряжение на срез $[\tau_{ср}]$;
10. прочность витков ψ_a . Для трапецеидальной резьбы $\psi_a = 0,67$;
11. допустимое напряжение на изгиб $[\sigma_{изг}]$;
12. коэффициент приведения длины, зависящий от способа закрепления концов винта μ .

При закреплении верхнего и нижнего концов $\mu = 0,5$;

13. допускаемое напряжение при смятии $[\sigma_{см}]$;
14. коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе φ ;
15. гибкость стержня λ , рассчитываемую по формуле

$$\lambda = \frac{\mu L}{i_{\min}},$$

где i_{\min} – минимальный радиус инерции;

16. внутренний диаметр наружной резьбы d_3 ;
17. длину винта между закреплениями L .

В принятых условиях применения выбирается способ закрепления концов винта, приведённый на рис. 1.

Определение размерных соотношений. Учитывая характер нагрузки, действующей на передаточный элемент электромеханического привода, можем определить внутренний диаметр наружной резьбы винта, выполнив расчёт на устойчивость.

Исходные данные для расчёта в программе Mathcad приведены в табл. 1.



Рис. 1. Способ закрепления концов винта

Таблица 1

Исходные данные для расчёта в программе Mathcad

Критическая сила P , Н	L , мм	μ	$[\sigma_{\text{см}}]$, МПа	φ
10 000	1000	0,5	190	0,5

Внутренний диаметр наружной резьбы равен

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi\varphi[\sigma_{\text{см}}]}},$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 10\,000}{\pi \cdot 0,5 \cdot 190 \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 11,576 \text{ мм.}$$

Гибкость винта

$$\lambda = \frac{4\mu L}{d},$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 1000}{11,576} = 172,757.$$

Коэффициент продольного изгиба равен

$$\psi = \varphi_2 + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda - \lambda_2),$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2$ берутся из [5]: $\varphi_1 = 0,26, \varphi_2 = 0,23, \lambda_1 = 170, \lambda_2 = 180$.

$$\psi = 0,23 + \frac{0,26 - 0,23}{170 - 180} (172 - 180) = 0,251.$$

Относительная погрешность полученного результата

$$\gamma_1 = \frac{|\psi - \varphi|}{\varphi} \cdot 100 \%,$$

$$\gamma_1 = \frac{|0,251 - 0,5|}{0,5} \cdot 100 \% = 49,654 \, \%.$$

Пересчитывается коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = \frac{\varphi + \psi}{2},$$

$$\varphi = \frac{0,5 + 0,251}{2} = 0,375.$$

Расчёт продолжается до получения заданного значения относительной погрешности результата γ_1 .

Определяется критическая сила для полученного диаметра. При этом, если $\lambda > 100$, то критическая сила определится как

$$P_{кр} = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot d^2}{4 \cdot \lambda^2},$$

где E – модуль Юнга,

если $\lambda < 100$, то критическая сила рассчитывается по выражению

$$P_{кр} = (a - b \cdot \lambda) \frac{\pi \cdot d^2}{4}.$$

Относительная погрешность полученного результата равна

$$\gamma_2 = \frac{|P_{кр} - P_0|}{P_0} \cdot 100 \%,$$

где P_0 принимается равным заданному значению критической силы, которое не изменяется в процессе расчётов.

Если относительная погрешность полученного результата γ_2 не удовлетворяет заданным требованиям, то переопределяется исходная сила P :

$$P = \frac{P \cdot P_0}{P_{кр}}.$$

Затем производится пересчёт диаметра по новому циклу. Циклы повторяются, пока конечная относительная погрешность γ_2 не достигает необходимого значения, то есть пока P_0 не становится равной $P_{кр}$.

Расчёты в Mathcad обеспечивают точность $\gamma_2 = 5,96 \cdot 10^{-4} \%$. При заданной исходной критической силе $P = 10\,000$ Н величина критической силы составила $P_{кр} = 9999,4$ Н, этой силе соответствует и критический диаметр $d = 12,673$ мм.

Полученное значение d позволяет перейти к выбору типового электромеханического преобразователя с использованием информационных справочных ресурсов [6].

Алгоритм расчёта представлен на рис. 2.

Построение графика зависимости $d = f(P, L)$. Для ускорения процесса подбора диаметров под требуемые проектные параметры использована программа на языке программирования Java. Для получения максимальной вычислительной точности таблица зависимости коэффициентов понижения ϕ допускаемого напряжения от гибкости λ аппроксимирована полиномом десятой степени, полученным в программе Matlab.

Полином принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \phi(\lambda) = & -9,6776 \cdot 10^{-21} \cdot \lambda^{10} + 8,9196 \cdot 10^{-18} \cdot \lambda^9 - 3,465 \cdot 10^{-15} \cdot \lambda^8 + \\ & + 7,4505 \cdot 10^{-13} \cdot \lambda^7 - 9,8715 \cdot 10^{-11} \cdot \lambda^6 + 8,5518 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda^5 - \\ & - 4,945 \cdot 10^{-7} \cdot \lambda^4 + 1,799 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^3 - 3,6578 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^2 + \\ & + 1,0999 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda - 1,0003. \end{aligned}$$

Фрагмент программы представлен на рис. 3.

Расчёт, произведённый в Mathcad, был повторён в написанной программе. В данном случае была получена величина критического диаметра $d = 12,673$ мм.

Относительная погрешность полученных диаметров составила $\gamma = 1,489 \cdot 10^{-4} \%$. Ввиду существенно малой величины погрешности программа использована для построения зависимости внутреннего диаметра винта от силы, приложенной к нему, и от расстояния между закреплениями. Зависимость $d = f(P, L)$ представлена на рис. 4.

Внешний вид графика наглядно показывает, как изменяется величина требуемого внутреннего диаметра винта при изменении прилагаемой силы или изменении расстояния между закреплениями.

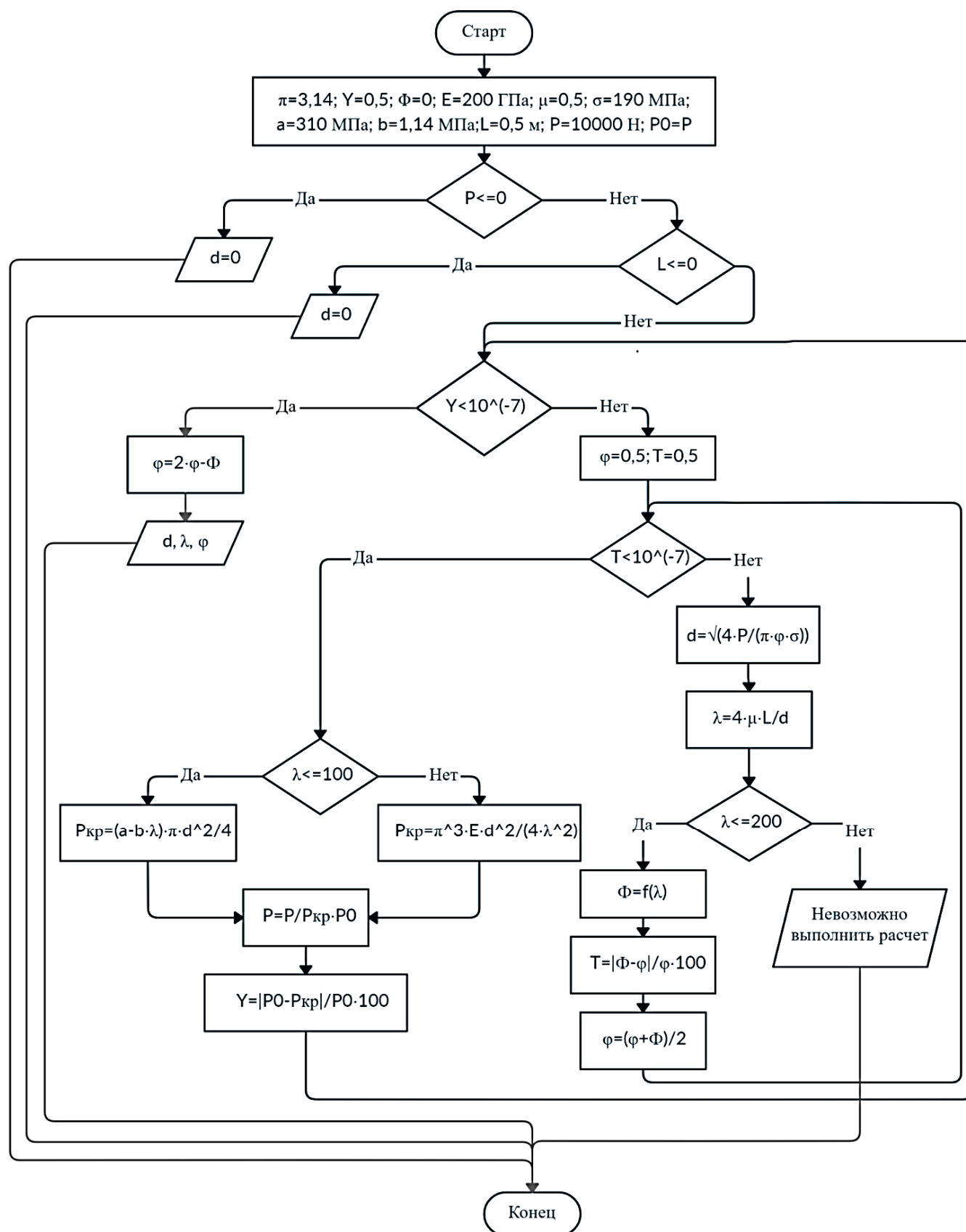


Рис. 2. Алгоритм расчёта внутреннего диаметра наружной резьбы винта

Расчет внутреннего диаметра наружной резьбы винта

Расчитать одно значение
Расчитать диапазон
Графики

Коэффициент приведения длины

Допускаемое напряжение при сжатии, Па

Допускаемое напряжение при растяжении, Па

Критическая сила, Н

Длина, мм

Запас устойчивости 1.368...

Допустимая сила, Н 7305.1172...

Диаметр, мм 12.673...

Гибкость стержня 157.80...

Расчитать

Сохранить в файл

Рис. 3. Фрагмент программы по расчёту внутреннего диаметра наружной резьбы винта

Разработка алгоритма по расчёту сопряжения. Подбор сопряжения осуществляется на основе ГОСТ 24737-81 по алгоритму, представленному на рис. 5 и учитывающему работу сопряжения на износ (проверка витков резьбы на прочность, определение действующего в опасном сечении напряжения среза, определение действующего в опасном сечении напряжения изгиба, расчёт на устойчивость).

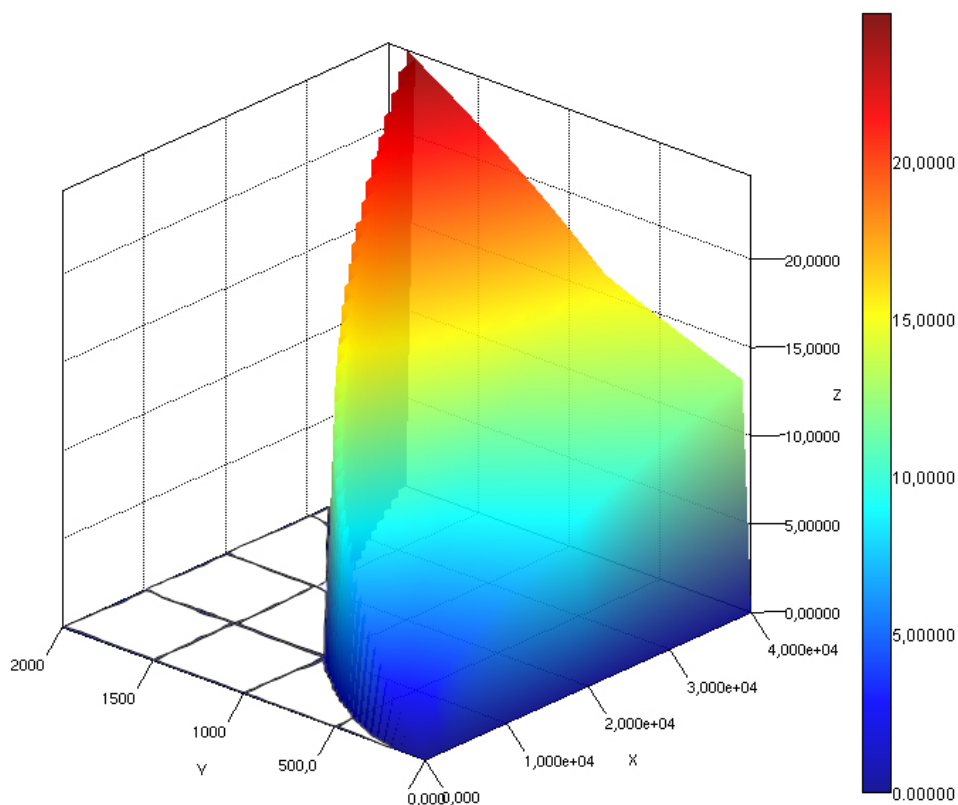


Рис. 4. Зависимость $d = f(P, L)$

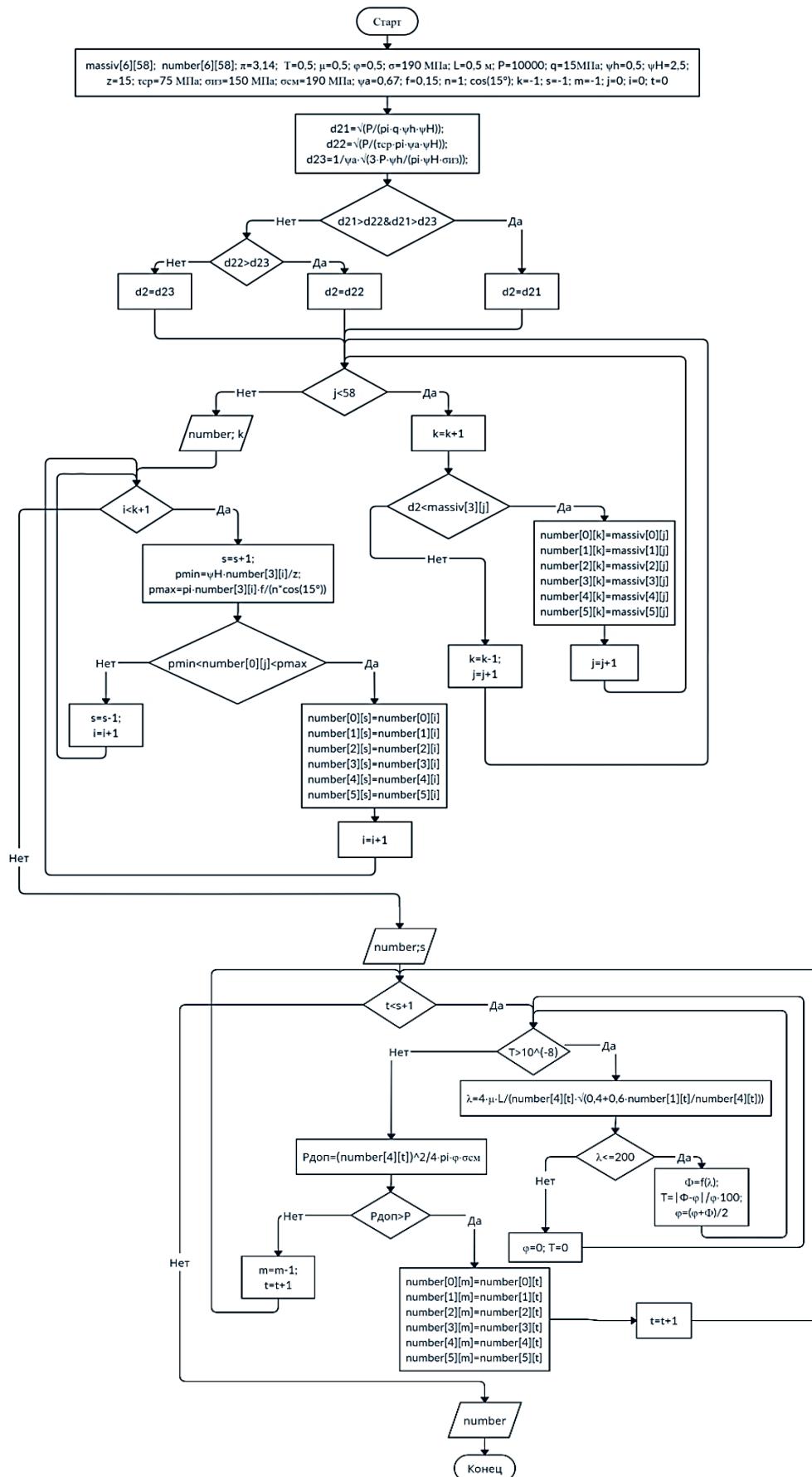


Рис. 5. Алгоритм работы программы

Разработанный алгоритм реализован в программе на языке программирования Java. Файл вывода результатов расчёта представлен на рис. 6.

Подбор параметров резьбы		Шаг	Наружный диаметр		Средний диаметр	Внутренний диаметр	
		P	d	D4	d2=D2	d3	D1
Расчет на износ		2.0	16.0	16.5	15.0	13.5	14.0
Нагрузка на винт, Н <input type="text" value="10000"/>		4.0	16.0	16.5	14.0	11.5	12.0
Удельная нагрузка на винт <input type="text" value="15000000"/>		2.0	18.0	18.5	17.0	15.5	16.0
Относительная высота гайки <input type="text" value="2.5"/>		4.0	18.0	18.5	16.0	13.5	14.0
Выбор шага резьбы		2.0	20.0	20.5	19.0	17.5	18.0
Количество заходов резьбы <input type="text" value="1"/>		4.0	20.0	20.5	18.0	15.5	16.0
Коэффициент трения <input type="text" value="0.15"/>		2.0	22.0	22.5	21.0	19.5	20.0
Расчет витков резьбы на прочность		3.0	22.0	22.5	20.5	18.5	19.0
Расчет на срез		5.0	22.0	22.5	19.5	16.5	17.0
Допускаемое напряжение на срез, Па <input type="text" value="75000000"/>		8.0	22.0	23.0	18.0	13.0	14.0
Расчет на изгиб		2.0	24.0	24.5	23.0	21.5	22.0
Допускаемое напряжение на изгиб, Па <input type="text" value="150000000"/>		3.0	24.0	24.5	22.5	20.5	21.0
Расчет на устойчивость		5.0	24.0	25.0	20.0	15.0	16.0
Длина винта между закреплениями, мм <input type="text" value="400"/>		8.0	24.0	26.5	24.5	22.5	23.0
Кэффициент приведения длины <input type="text" value="0.5"/>		3.0	26.0	26.5	23.5	20.5	21.0
Допускаемое напряжение на сжатие, Па <input type="text" value="190000000"/>		5.0	26.0	27.0	22.0	17.0	18.0
		8.0	26.0	28.5	26.5	24.5	25.0
		3.0	28.0	28.5	25.5	22.5	23.0
		8.0	28.0	29.0	24.0	19.0	20.0
		3.0	30.0	30.5	28.5	26.5	27.0
		6.0	30.0	31.0	27.0	23.0	24.0
		10.0	30.0	31.0	25.0	19.0	20.0
		3.0	32.0	32.5	30.5	28.5	29.0
		6.0	32.0	33.0	29.0	25.0	26.0
		10.0	32.0	33.0	27.0	21.0	22.0
		3.0	34.0	34.5	32.5	30.5	31.0
		6.0	34.0	35.0	31.0	27.0	28.0
		10.0	34.0	35.0	29.0	23.0	24.0
		3.0	36.0	36.5	34.5	32.5	33.0
		6.0	36.0	37.0	33.0	29.0	30.0
		10.0	36.0	37.0	31.0	25.0	26.0
		3.0	38.0	38.5	36.5	34.5	35.0
		6.0	38.0	39.0	35.0	31.0	32.0
		7.0	38.0	39.0	34.5	30.0	31.0
		10.0	38.0	39.0	33.0	27.0	28.0

Рис. 6. Результаты расчёта

Заключение. В результате работы разработан алгоритм и реализована программа определения характеристик сопряжения исполнительного элемента электропривода. Полученные результаты могут быть использованы в системах автоматизированного проектирования и анализа электротехнических комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение потерь в передаточных механизмах специальных электромеханических приводов / С. Н. Иванов, М. Б. Колесник, В. А. Макаренко, Т. К. Фискова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № V-1 (45). – С. 107-114.
2. Ivanov, S. Synthesis of the Control Device of the Electromechanical Drive of the Main Valve / S. N. Ivanov, K. K. Kim, A. V. Gorbunov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 18-22 May. 2020, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.911 2086.
3. Автоматизированный электромеханический привод вагонных дверей / К. К. Ким [и др.] // Электротехника. – 2019. – № 10. – С. 11-16.
4. Колесник, М. Б. Анализ совместимости в задаче управления безредукторным приводом стрелочного перевода / М. Б. Колесник, Ю. Б. Колошенко, А. А. Просолович // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 14-19.
5. Биргер, И. А. Расчёт на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
6. Технический каталог электродвигателей [Электронный ресурс] / ООО ЭДС, 2012-2020. – Режим доступа: https://www.eds-msk.ru/index.php?site_page=motors (дата обращения: 21.12.2020).

Максимова Н. А., Черный С. П., Сухоруков С. И.
N. A. Maksimova, S. P. Cherny, S. I. Sukhorukov

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТЫХ НЕЧЁТКИХ СИСТЕМ
С АЛГОРИТМОМ ВЫВОДА МАМДАНИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**FEATURES OF SIMULATION OF DEVELOPED FUZZY SYSTEMS WITH THE MAMDANI
OUTPUT ALGORITHM FOR CONTROLLING DC ELECTRIC DRIVES**

Максимова Надежда Александровна – магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepapu@knastu.ru.

Nadezhda A. Maksimova – Master's Degree Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: kepapu@knastu.ru.

Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kepapu@knastu.ru.

Sergey P. Cherny – PhD in Engineering, Associate Professor, Electric Drive and Automation of Industrial Installations Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: kepapu@knastu.ru.

Сухоруков Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: sergei.svan@gmail.com.

Sergei I. Sukhorukov – PhD in Engineering, Associate Professor, Electro Drive Engineering and Industrial Automation Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sergei.svan@gmail.com.

Аннотация. В работе представлен многокаскадный нечёткий регулятор для управления электроприводом постоянного тока, ориентированный на использование в следящих системах. Структурное решение включает в себя четыре нечётких регулятора, один из которых находится во внешнем каскаде, выполняя функцию интеллектуального переключающего устройства, формирующего сложный закон управления, и использует алгоритм вывода Мамдани. Во внутреннем каскаде реализованы простейшие нечёткие модули, использующие алгоритмы вывода Мамдани или Сугено. Также был проведён сравнительный анализ моделей представленных многокаскадных систем управления, построенных с использованием различных подходов.

Summary. The paper presents a multi-stage fuzzy controller for controlling a DC electric drive, oriented to use in servo systems. The structural solution includes four fuzzy controllers, one of which is located in an external stage, performing the function of an intelligent switching device that forms a complex control law, and uses the Mamdani inference algorithm. In the internal cascade, the simplest fuzzy modules are implemented using the Mamdani or Sugeno inference algorithms. Besides, a comparative analysis of the models of the presented multistage control systems built using various approaches was carried out.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока, системы слежения, нечёткая логика, нечёткие системы, многокаскадный нечёткий регулятор, алгоритм вывода Мамдани, алгоритм вывода Сугено.

Key words: DC electric drive, tracking systems, fuzzy logic, fuzzy systems, multi-stage fuzzy controller, Mamdani inference algorithm, Sugeno inference algorithm.

УДК 004.896:681.58:681.5.01

Введение

На сегодняшний день во многих сферах человеческой деятельности нашли своё применение системы, основу которых составляют принципы нечёткой логики, направленные на многозадачность, многокритериальность и многокоординатность. Использование методов на основе мягких вычислений позволяет получить качественный процесс, не уступающий по характеристикам системе с классическим методом управления, для которого характерны громоздкие вычислительные процедуры, т.к. повышение интеллектуальности системы допускает некоторые неточности в математическом описании объекта регулирования, что является положительным свойством нечётких систем, помимо увеличения быстродействия [7].

В связи с увеличением сложности математических моделей реальных систем и процессов управления повышается актуальность применения нечёткой логики в системах управления, основанная на желании увеличить их адекватность и учесть всё большее число различных факторов, оказывающих влияние на процессы принятия решений.

Отношение нечётких систем к классу интеллектуальных [3] позволяет решить ряд вопросов, связанных с совершенствованием управленческого процесса, в том числе улучшение характеристик следящих электроприводов.

В данной работе представлена следящая система, выполненная на базе нечёткого многокаскадного регулятора в контуре положения, с алгоритмом вывода Мамдани [5] во внешнем каскаде. В качестве объекта регулирования был взят электропривод постоянного тока с независимым возбуждением [6].

Синтез многокаскадного нечёткого регулятора с алгоритмом вывода Мамдани в первом и во втором каскаде

Модель системы регулирования положения исполнительного механизма электропривода с нечётким многокаскадным регулятором представлена на рис. 1.

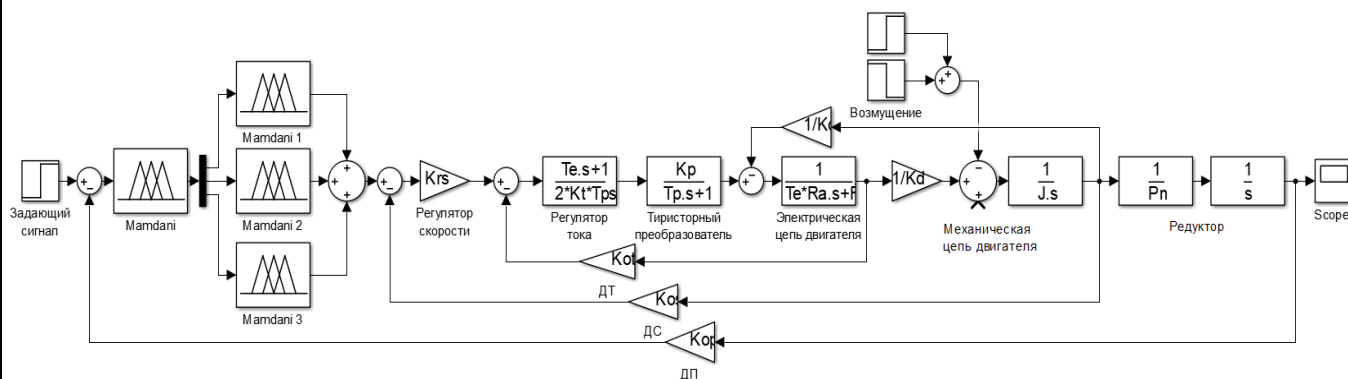


Рис. 1. Модель системы регулирования положения с нечётким многокаскадным регулятором

Данный многокаскадный регулятор представляет собой 1 вход и 3 выхода для первого каскада, а также вход и выход для каждого регулятора второго каскада. Внешний каскад на основе алгоритма вывода Мамдани вырабатывает управляющее воздействие, которое совместно с регуляторами внутреннего каскада обеспечивает требуемое качество динамических характеристик объекта регулирования.

Регулятор Mamdani (см. рис. 2) имеет одну входную лингвистическую переменную input1, которая формализует сигнал ошибки по положению для «больших», «средних» и «малых» перемещений. На выходе регулятора сигналы управления формализуются тремя лингвистическими переменными output1, output2 и output3. В основу данного регулятора положен алгоритм нечёткого логического вывода Мамдани [10]. Таким образом, данный регулятор выполняет интеллектуальную оценку поступающих на вход сигналов и на основе полученных данных вырабатывает управляющее воздействие на регуляторы второго каскада.

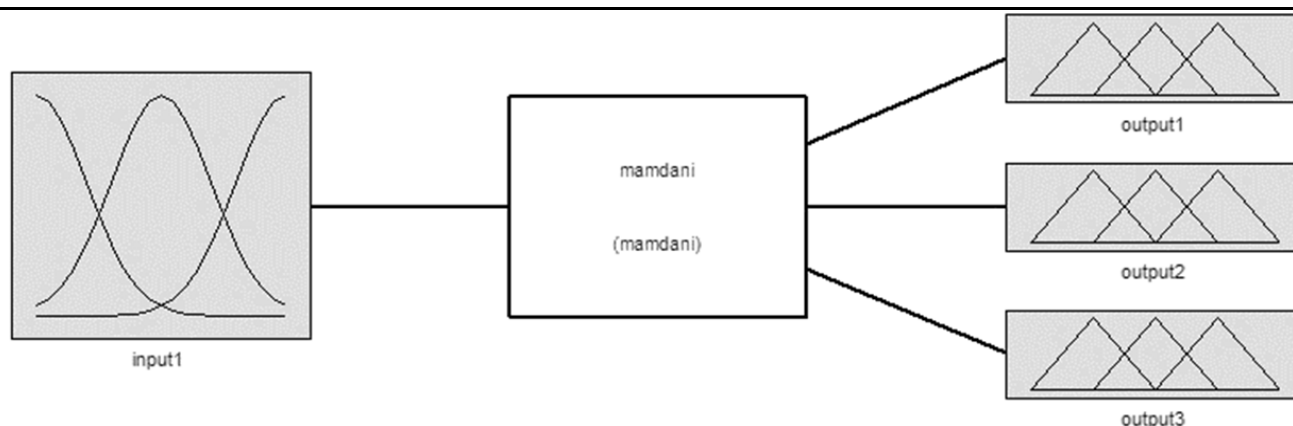


Рис. 2. Функциональная схема нечёткого регулятора Mamdani

Настройка диапазонов входных и выходных сигналов нечёткого регулятора осуществлялась симметрично [1].

Область определения лингвистической переменной $input1$, формализующей сигнал ошибки по положению, представляет собой диапазон $-120...120$, а базовое терм-множество (T) состоит из следующих элементов: $T = \{N, Z, P\}$ (см. табл. 1). Три функции принадлежности треугольного вида распределяются по области определения лингвистической переменной $input1$, как показано на рис. 3.

Таблица 1

Обозначение терм-множеств

Обозначение терм-множества	Англоязычная нотация	Русскоязычная нотация
N	Negative	Отрицательное
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
Z	Zero	Нуль, близкое к нулю
PM	Positive Middle	Положительное среднее
P	Positive	Положительное

Область определения лингвистической переменной, формализующей понятие сигнала ошибки по положению для «больших» перемещений, представляет собой диапазон $-100...100$, для «средних» перемещений – диапазон $-10...10$, для «малых» перемещений – диапазон $-1...1$.

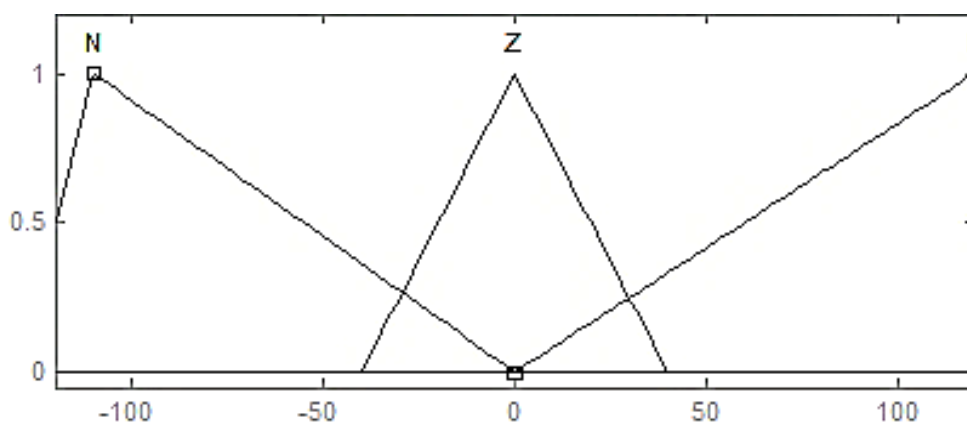


Рис. 3. Распределение нечётких термов лингвистической переменной $input1$

Пять функций принадлежности треугольного вида равномерно распределяются по диапазону областей определения [2] лингвистических переменных $output1$, $output2$ и $output3$.

Полная база знаний регулятора Mamdani имеет достаточно объёмную структуру [11]. Продукционная база знаний включает в себя правила вида:

1. Если «input1» есть Z, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть NM.
2. Если «input1» есть Z, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть PM.
3. Если «input1» есть Z, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть N.
4. Если «input1» есть Z, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть P.
5. Если «input1» есть P, то «output1» есть P, «output2» есть Z, «output3» есть Z.
6. Если «input1» есть P, то «output1» есть PM, «output2» есть Z, «output3» есть Z.
7. Если «input1» есть P, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть P.
8. Если «input1» есть P, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть PM.
9. Если «input1» есть N, то «output1» есть N, «output2» есть N, «output3» есть N.
10. Если «input1» есть N, то «output1» есть Z, «output2» есть Z, «output3» есть NM.

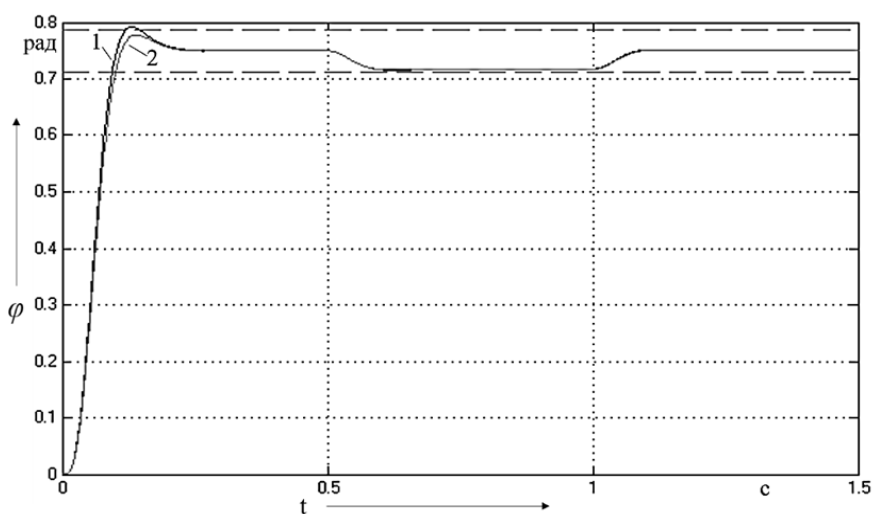
Простейший нечёткий модуль во втором каскаде включает в себя нечёткие регуляторы Mamdani 1, Mamdani 2 и Mamdani 3. Данные регуляторы имеют входные лингвистические переменные input1, формализующие сигнал ошибки по положению, и выходные лингвистические переменные output1, формализующие сигнал управляющего напряжения для контура скорости в случае «малых», «средних» и «больших» перемещений соответственно.

Настройки лингвистической переменной input1 регулятора Mamdani 1 (аналогично Mamdani 2 и Mamdani 3) идентичны настройкам лингвистической переменной output1 (аналогично output2 и output3 соответственно) регулятора Mamdani. Область определения лингвистической переменной output1 регулятора Mamdani 1 представляет собой диапазон -660...660, регулятора Mamdani 2 – диапазон -70...70, регулятора Mamdani 3 – диапазон -6.8...6.8.

Нечёткая продукционная база знаний регуляторов второго каскада:

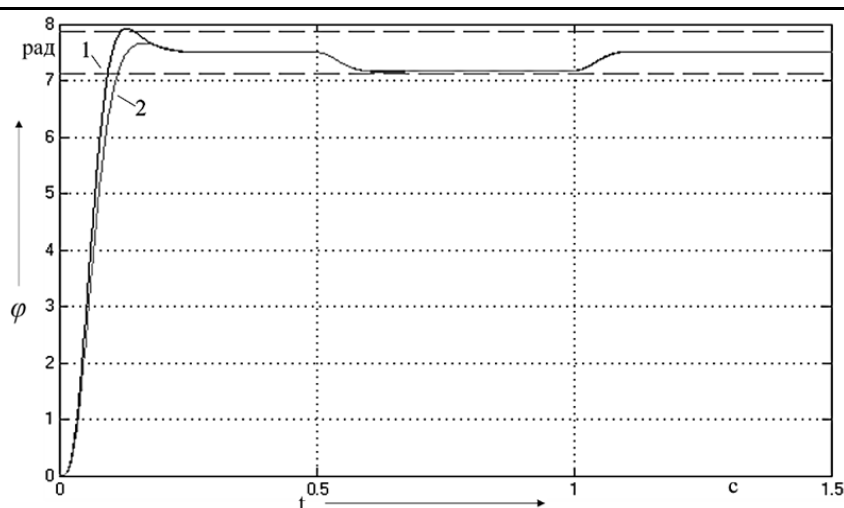
1. Если «input1» есть Z, то «output1» есть Z.
2. Если «input1» есть N, то «output1» есть N.
3. Если «input1» есть NM, то «output1» есть NM.
4. Если «input1» есть P, то «output1» есть P.
5. Если «input1» есть PM, то «output1» есть PM.

Анализ системы с нечётким многокаскадным регулятором производится на основе полученных в результате моделирования графиков. На рис. 4–6 показана реакция систем с нечётким и с классическим регулятором на входной сигнал в малых пределах регулирования – 0.8 В, в средних – 8 В (номинальный сигнал) и в больших – 80 В, с набросом и съёмом нагрузки (0.5...1 с.).



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 4. Реакция систем на входное воздействие $U = 0.8$ В

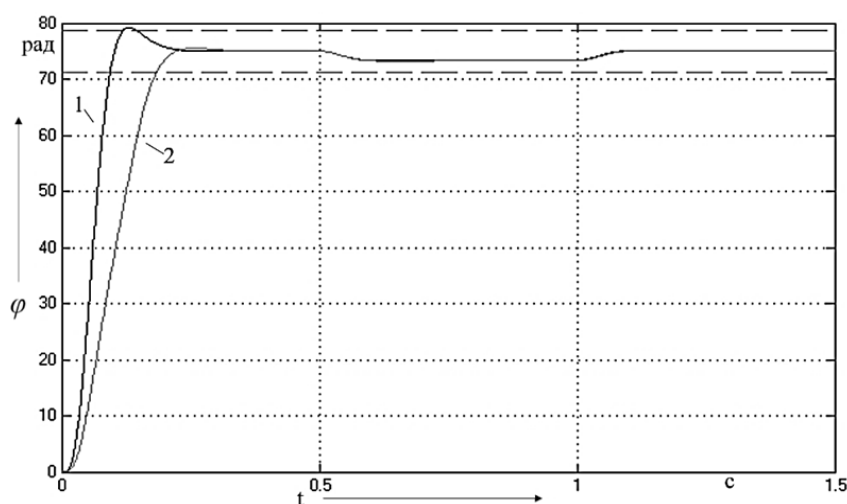


1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 5. Реакция систем на входное воздействие $U = 8$ В

Сводная таблица результатов моделирования (см. табл. 2) наглядно показывает отличие характеристик переходных процессов двух систем управления на базе классического и нечёткого регуляторов.

Многокаскадный регулятор показал лучшие характеристики переходных процессов по сравнению с классическим регулятором в пределах диапазона регулирования $-120 \dots 120$. Отработка возмущений нечётким регулятором происходит на уровне с классическим.



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

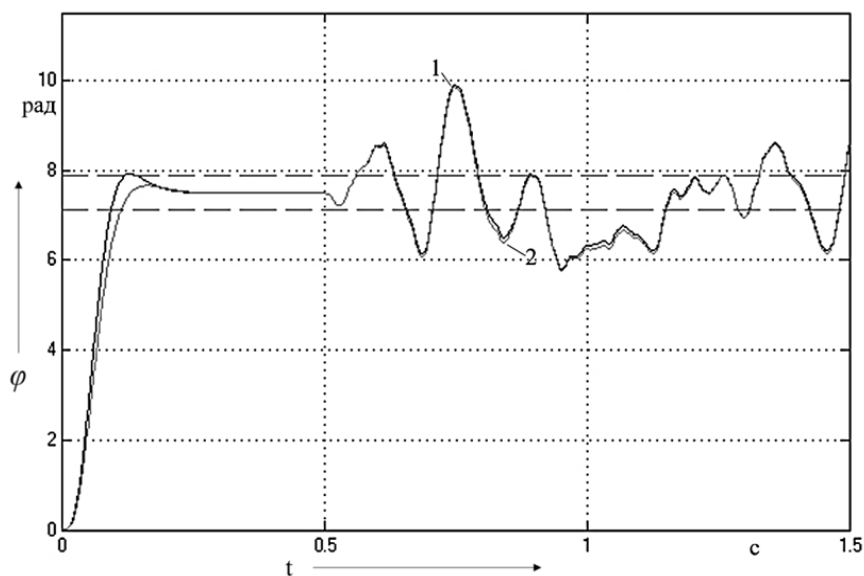
Рис. 6. Реакция систем на входное воздействие $U = 80$ В

Таблица 2

Результаты моделирования

Входное воздействие	Время регулирования, с.		Перерегулирование, %	
	Классический регулятор	Нечёткий регулятор	Классический регулятор	Нечёткий регулятор
0.8 В	0.095	0.1	5.6	3.7
8 В	0.108	0.114	3.5	2.1
80 В	0.21	0.184	0.6	0.7

Реакция систем при подаче случайного сигнала большого номинала в качестве возмущения (0.5 с.) при задающем воздействии уровнем $U = 8$ В представлена на рис. 7.



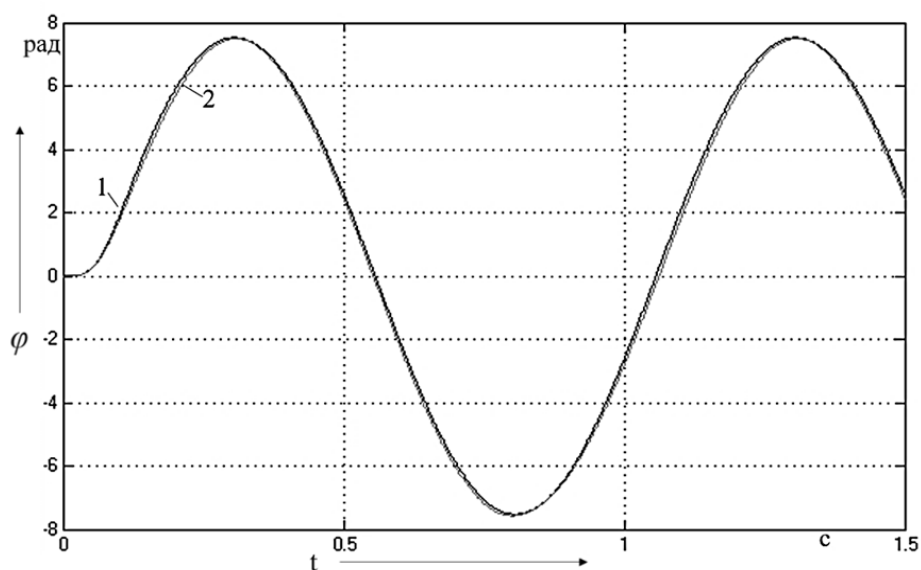
1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 7. Реакция систем при подаче случайного сигнала большого номинала как возмущающего воздействия

Нечёткий регулятор практически так же отрабатывает большое возмущающее воздействие, как и классический, однако имеет расхождение графиков в максимальных значениях возмущений. Такая неточность регулируется количеством и расположением функций принадлежности во внешнем каскаде, что требует более детальной настройки.

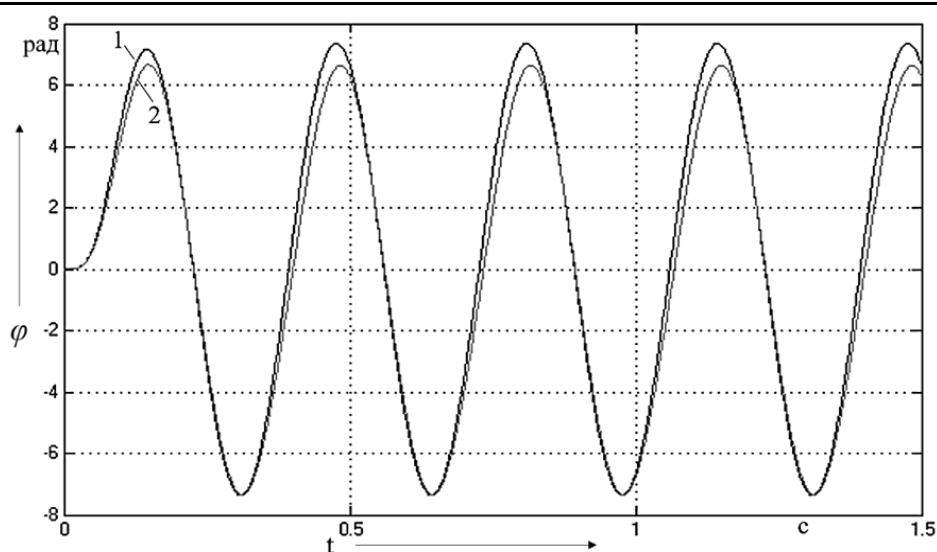
Реакция систем на синусоидальное входное воздействие с амплитудой 8 и частотой 2π рад/с представлена на рис. 8.

Реакция систем на изменение частоты в три раза (6π) представлена на рис. 9.



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 8. Реакция систем на входное синусоидальное воздействие

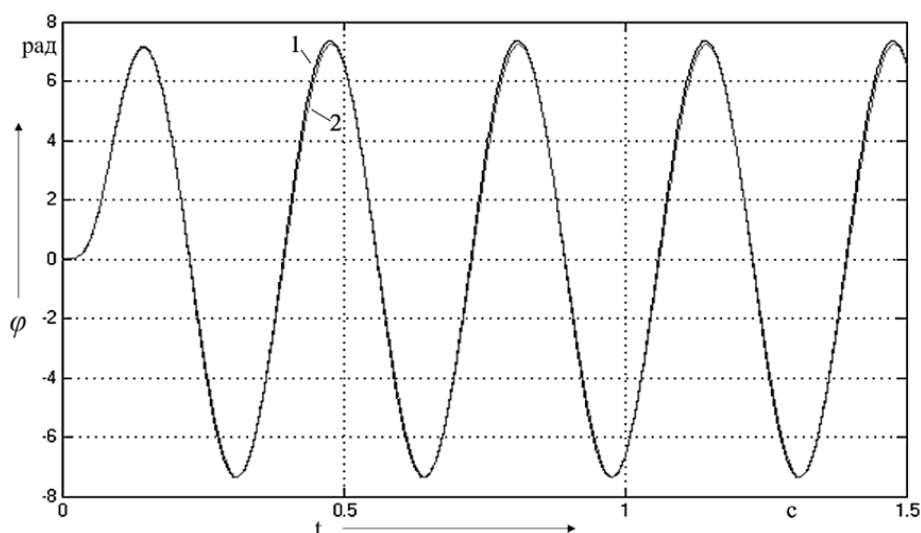


1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 9. Реакция систем на входное воздействие с частотой 6π

Таким образом, при увеличении частоты в 3 раза синусоидальный сигнал нечёткого регулятора отстает по амплитуде в положительных значениях синусоиды. При дополнении базы знаний и добавления правила

Если «input1» есть Р, то «output1» есть Р, «output2» есть Р, «output3» есть Р
реакция нечёткой системы будет совпадать с классической (см. рис. 10).

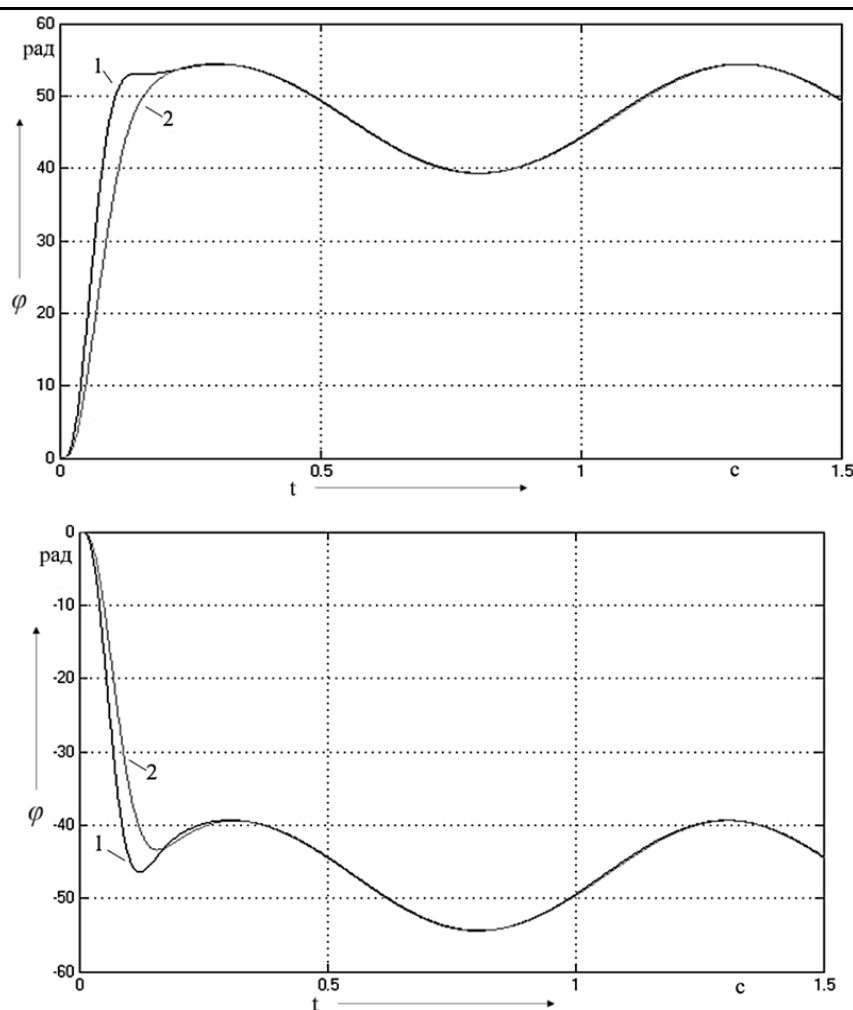


1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 10. Реакция систем на входное воздействие с частотой 6π

Реакция систем на смещение синусоиды на величину 50 и -50 имеет вид графиков на рис. 11.

Нечёткая система, выходя на синусоиду, отрабатывает сигнал более плавно, без лишних колебаний, что наиболее удовлетворяет требованиям следящих систем.



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор
Рис. 11. Реакция систем на входное синусоидальное воздействие со смещением вверх и со смещением вниз

Синтез многокаскадного нечёткого регулятора с алгоритмом вывода Мамдани в первом каскаде и алгоритмом вывода Сугено во втором каскаде

Определённое сочетание алгоритмов нечёткого вывода [9] может заметно влиять на выходные характеристики систем. В таком случае необходимо рассмотреть вариант настройки многокаскадного нечёткого регулятора, где во втором каскаде используется алгоритм вывода Сугено [4].

Модель системы регулирования положения исполнительного механизма электропривода с нечётким многокаскадным регулятором, использующим алгоритм вывода Сугено во втором каскаде, представлена на рис. 12.

При настройке многокаскадного нечёткого регулятора с алгоритмом вывода Сугено во втором каскаде меняются распределение функций принадлежности и содержание базы знаний. Таким образом, распределение функций принадлежности лингвистической переменной *input1* будет осуществляться так, как показано на рис. 13.

Настройки лингвистических переменных *output1*, *output2*, *output3* остаются неизменными, однако нечёткая продукционная база знаний регулятора Mamdani будет включать в себя шесть правил вида:

1. Если «*input1*» есть Z, то «*output1*» есть Z, «*output2*» есть Z, «*output3*» есть NM.
2. Если «*input1*» есть Z, то «*output1*» есть Z, «*output2*» есть Z, «*output3*» есть PM.
3. Если «*input1*» есть Z, то «*output1*» есть Z, «*output2*» есть Z, «*output3*» есть N.
4. Если «*input1*» есть Z, то «*output1*» есть Z, «*output2*» есть Z, «*output3*» есть P.

5. Если «input1» есть P, то «output1» есть PM, «output2» есть Z, «output3» есть Z.
6. Если «input1» есть N, то «output1» есть NM, «output2» есть NM, «output3» есть NM.

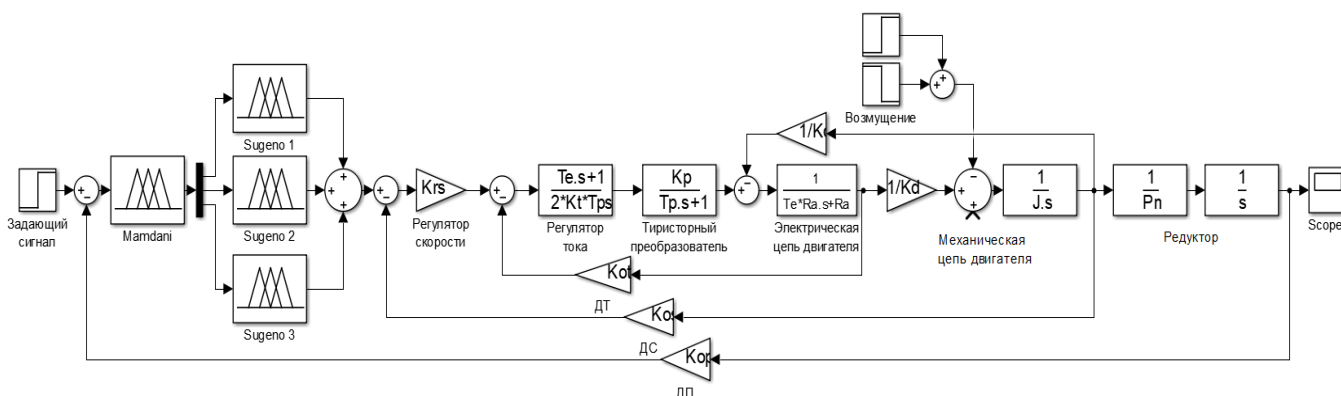


Рис. 12. Модель системы регулирования положения с нечетким многокаскадным регулятором с алгоритмом вывода Сугено во втором каскаде

Настройки лингвистической переменной input1 регулятора Sugeno 1, а впоследствии и Sugeno 2, Sugeno 3, идентичны настройкам лингвистической переменной output1, output2, output3 регулятора Mamdani (см. рис. 2).

Область определения лингвистической переменной output1 регулятора Sugeno 1 представляет собой набор констант: [-660; -300; 0; 300; 660]. Область определения лингвистической переменной output1 регулятора Sugeno 2 – [-66; -10; 0; 10; 66]; регулятора Sugeno 3 – [-6.8; 0.5; 0; -0.5; 6.8].

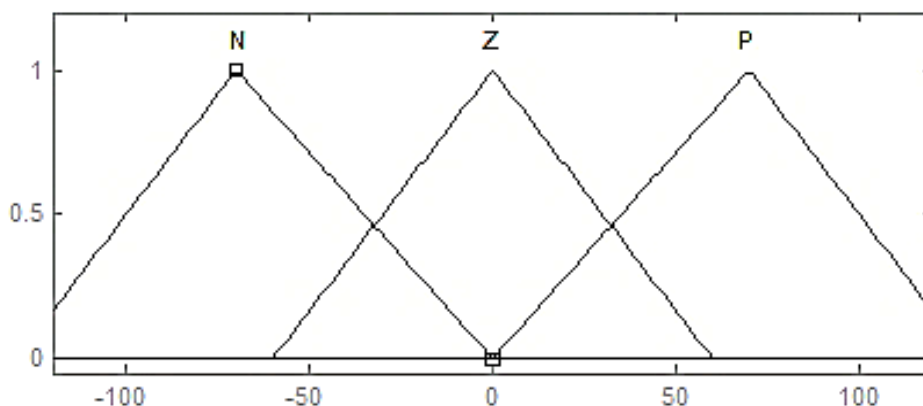


Рис. 13. Распределение нечётких термов лингвистической переменной input1

Нечёткая продукционная база знаний регулятора Sugeno 1 имеет вид:

1. Если «input1» есть Z, то «output1» = 0.
2. Если «input1» есть N, то «output1» = -660.
3. Если «input1» есть NM, то «output1» = -270.
4. Если «input1» есть P, то «output1» = 660.
5. Если «input1» есть PM, то «output1» = 270.

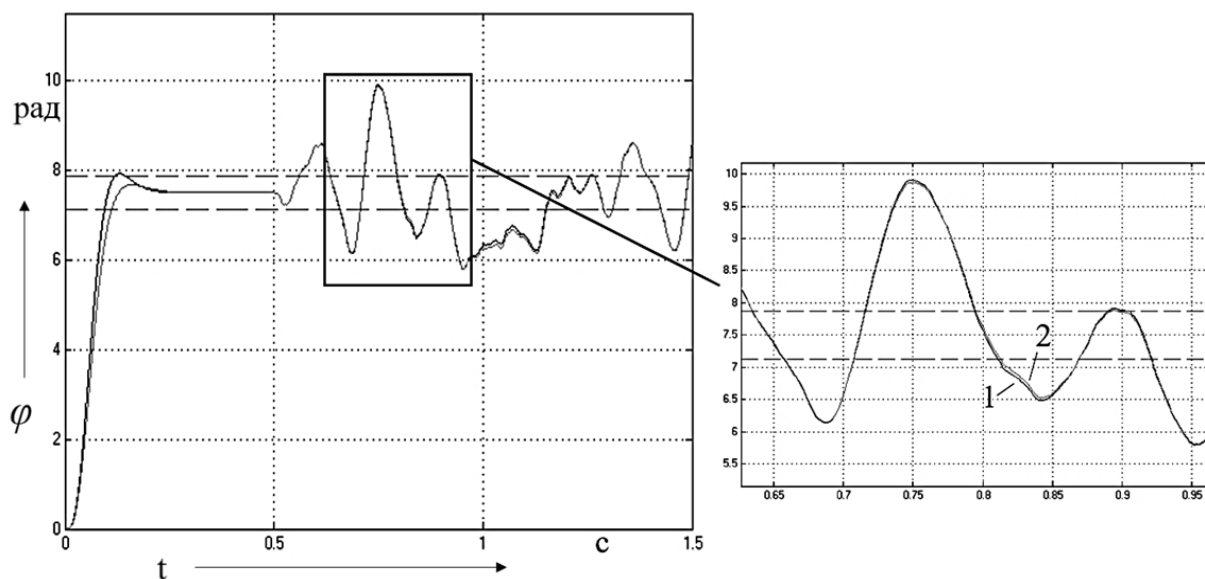
База знаний регуляторов Sugeno 2 и Sugeno 3 составляется аналогично базе знаний регулятора Sugeno 1.

Сводная таблица характеристик переходных процессов системы управления с новыми настройками многокаскадного нечёткого регулятора составляется на основе результатов моделирования (см. табл. 3).

Реакция систем при подаче случайного сигнала большого номинала в качестве возмущения (0.5 с.) при входном сигнале, равном 8 В, представлена на рис. 14.

Результаты моделирования

Входное воздействие	Время регулирования, с.		Перерегулирование, %	
	Классический регулятор	Нечёткий регулятор	Классический регулятор	Нечёткий регулятор
0.8 В	0.095	0.1	5.6	3.8
8 В	0.108	0.12	3.5	2.3
80 В	0.21	0.165	0.6	0.7



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 14. Реакция систем при подаче случайного сигнала как возмущающего воздействия

Таким образом, нечёткий регулятор сглаживает возмущения в максимумах и минимумах, что является преимуществом перед классическим регулятором.

Реакция нечёткой системы на синусоидальное входное воздействие с амплитудой 8 и частотой 2π рад/с не отличается от предыдущей настройки. Реакция систем на изменение частоты в три раза (6π) представлена на рис. 15.

При добавлении правил

Если «input1» есть Р, то «output1» есть Р, «output2» есть Р, «output3» есть Р;

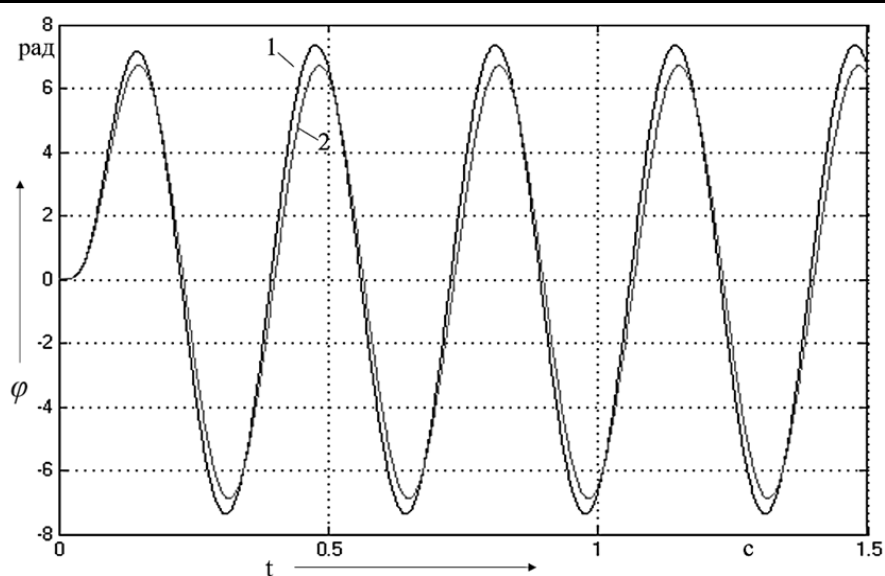
Если «input1» есть N, то «output1» есть N, «output2» есть N, «output3» есть N

реакция нечёткой системы будет совпадать с классической (см. рис. 16).

При смещении синусоидального сигнала на величину 50 и -50 реакция системы имеет вид графиков на рис. 17, что говорит о преимуществе нечётких регуляторов над классическими в обработке сигнала при смещении синусоиды.

Для наглядного представления качества переходного процесса систем классического и нечёткого регулирования на рис. 18-20 приведены графики, которые показывают работу трёх нечётких многокаскадных регуляторов на фоне классического при задающем воздействии уровнем $U = 0.8$ В, $U = 8$ В и $U = 80$ В.

Нечёткий регулятор Сугено-Мамдани, во внешнем каскаде которого используется регулятор на основе алгоритма вывода Сугено, а во внутреннем – регуляторы на основе алгоритма вывода Мамдани, был заимствован из предшествующих работ, развивающих данную тему систем нечёткого регулирования [8].

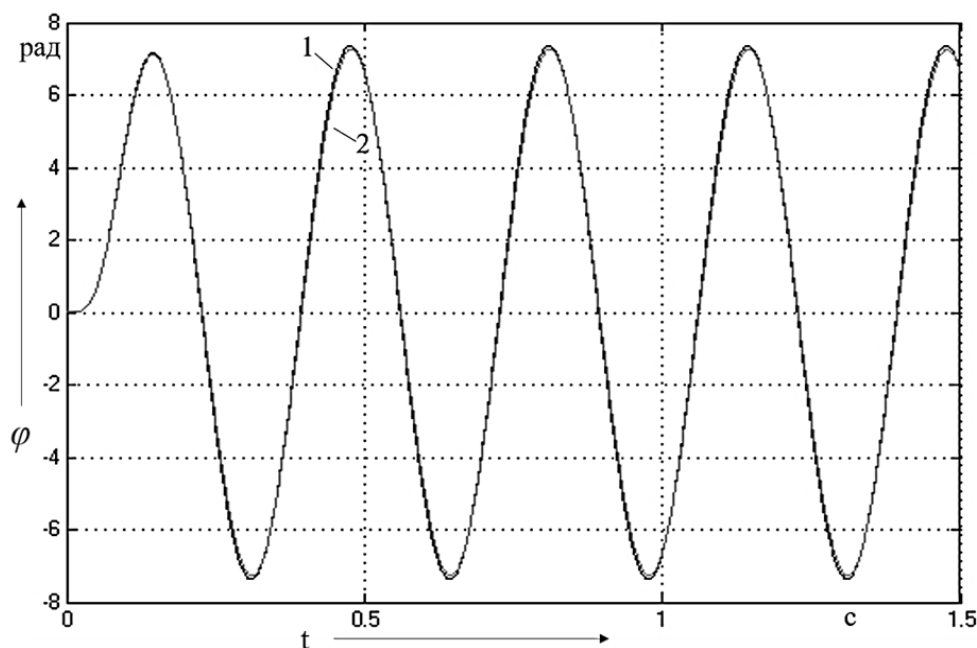


1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

Рис. 15. Реакция систем на входное воздействие с частотой 6л

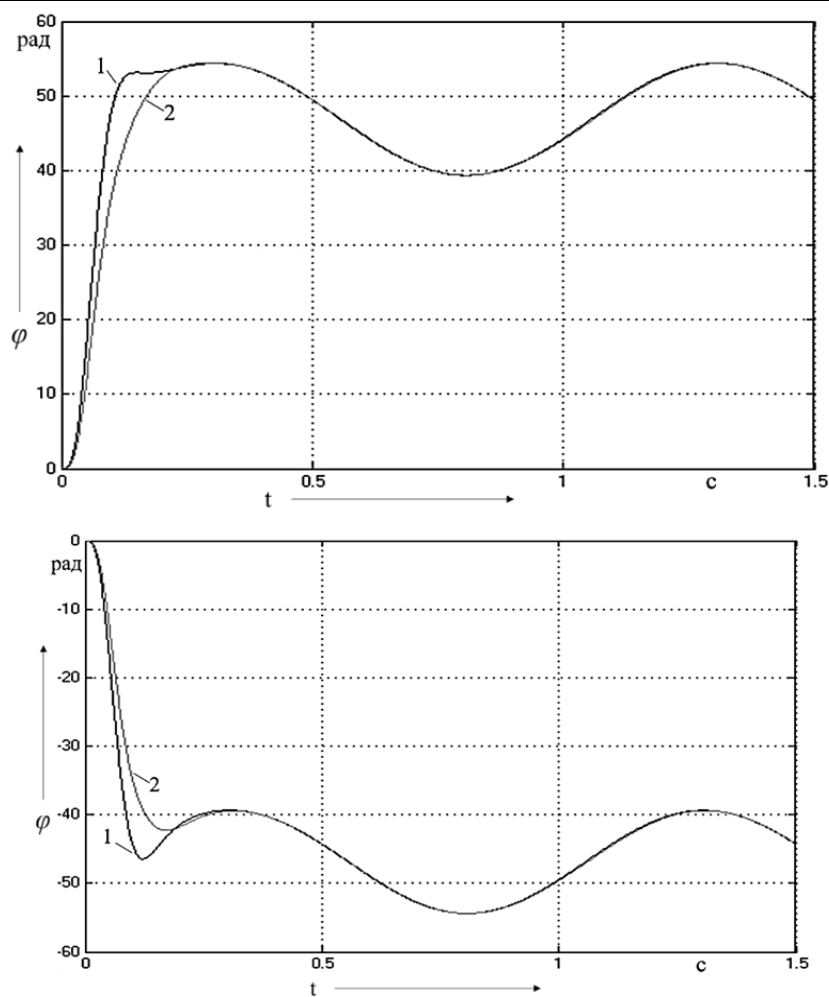
На рис. 18-20 представлен сравнительный анализ систем управления, использующих классический подход и различные сочетания алгоритмов нечёткого логического вывода: Мамдани-Сугено, Мамдани-Мамдани, Сугено-Мамдани.

Как видно из графиков, по показателям качества регулятор Мамдани-Сугено может сравниться с регулятором Мамдани-Мамдани, но первый лучше сглаживает колебания и при «больших» перемещениях обладает бóльшим быстродействием. Регулятор Сугено-Мамдани имеет низкое быстродействие по сравнению с вышеупомянутыми регуляторами и малое перерегулирование для «средних» перемещений, однако показывает высокую колебательность при «малых» и некорректную работу при «больших» перемещениях, что говорит о недостаточной настройке диапазона регулирования такого регулятора.

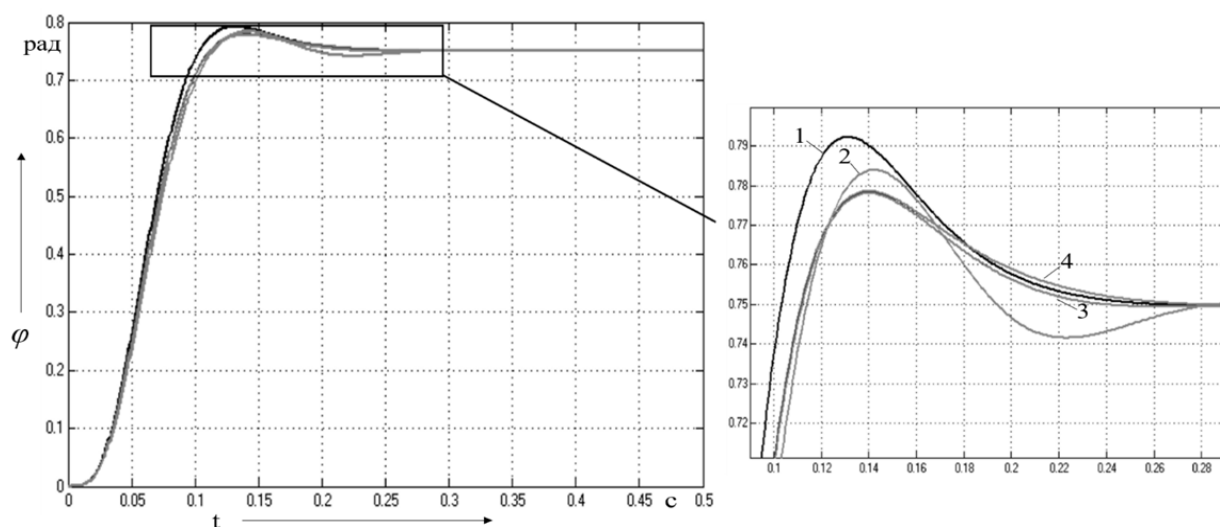


1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор

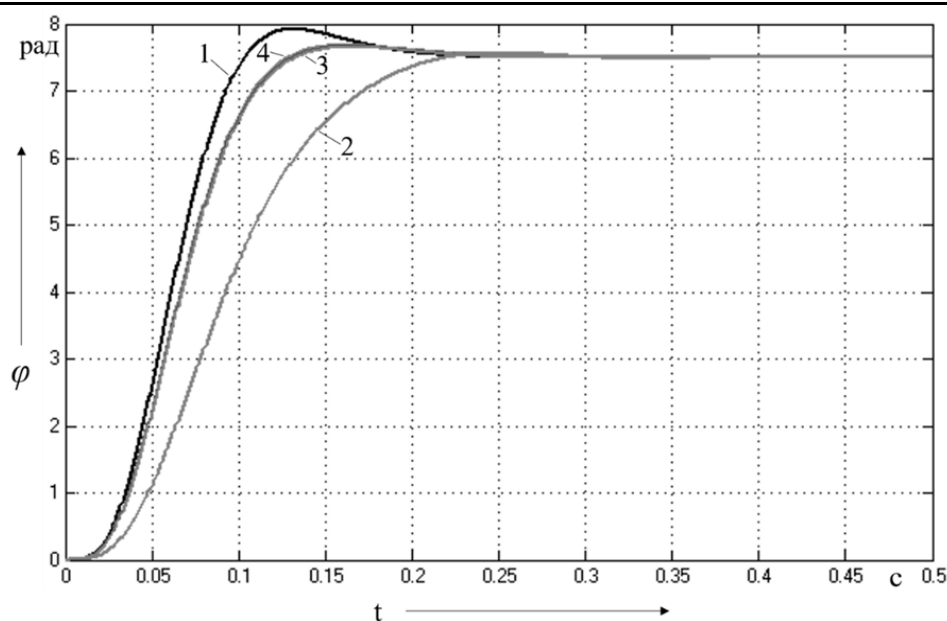
Рис. 16. Реакция систем на входное воздействие с частотой 6л



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор
Рис. 17. Реакция систем на входное синусоидальное воздействие со смещением вверх и со смещением вниз



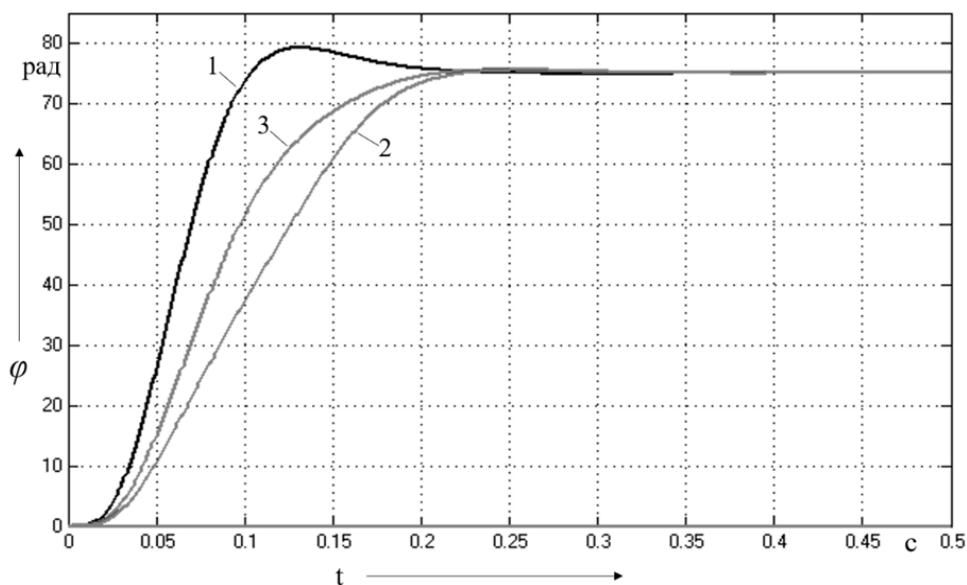
1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор Сугено-Мамдани;
3 – нечёткий регулятор Мамдани-Мамдани; 4 – нечёткий регулятор Мамдани-Сугено
Рис. 18. Реакция систем на входное воздействие $U = 0.8$ В



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор Сугено-Мамдани;
3 – нечёткий регулятор Мамдани-Мамдани; 4 – нечёткий регулятор Мамдани-Сугено

Рис. 19. Реакция систем на входное воздействие $U = 8 \text{ В}$

Таким образом, наилучшим переходным процессом, наиболее подходящим по характеристикам следящим системам, обладает система с нечётким многокаскадным регулятором Мамдани-Сугено.



1 – классический регулятор; 2 – нечёткий регулятор Мамдани-Мамдани;
3 – нечеткий регулятор Мамдани-Сугено

Рис. 20. Реакция систем на входное воздействие $U = 80 \text{ В}$

Заключение

Подводя итог, можем сделать вывод, что нечёткая логика является достойным альтернативным методом управления даже в случаях, когда информация об объектах управления не является точной. Такая технология также применима для совершенствования управления уже известными,



изученными объектами, что в итоге приводит к более широким возможностям оптимизации и упрощению эксплуатации за счёт более понятной для пользователя настройки. Внедрение нечёткой логики в системы управления позволяет снизить зависимость процесса синтеза регуляторов от степени изученности объекта управления, а также учитывать некоторые неопределённости и нелинейности в системе.

На основе результатов моделирования нечётких систем и анализа их показателей качества можно выделить несколько рекомендаций:

- регулятор разделяется на каскады для увеличения его мощности и упрощения базы знаний;
- для расширения диапазона регулирования входной величины системы необходимо увеличить число регуляторов во втором каскаде;
- показатели качества системы сильно зависят от распределения, вида функций принадлежности и базы правил во внешнем каскаде регулятора;
- уменьшение ширины терм-множества Z (нуль) во внешнем каскаде увеличивает быстродействие системы;
- расположение вершин терм-множеств P (положительное) и N (отрицательное) на диапазоне регулирования входного сигнала во внешнем каскаде влияет на перерегулирование;
- полная база знаний обуславливает правильную и адекватную работу нечёткого многокаскадного регулятора;
- определённое сочетание алгоритмов нечёткого вывода может заметно влиять на выходные характеристики систем.

Основным преимуществом многокаскадных нечётких регуляторов является гибкость настройки, а также возможность расширения диапазона регулирования за счёт увеличения числа нечётких регуляторов во внутреннем каскаде. Многокаскадность позволяет значительно упростить работу с переменными и с базой правил за счёт разделения диапазона регулируемой выходной величины (сигнала управления) регуляторами второго каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудим, А. С. Системы управления следящими электроприводами на базе нечёткой логики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Гудим Александр Сергеевич. – Комсомольск-на-Амуре, 2009. – 24 с.
2. Черный, С. П. Особенности моделирования интеллектуальных регуляторов для систем электропривода переменного и постоянного тока / С. П. Черный, А. В. Бузикаева // Гагаринские чтения – 2019: сборник тезисов докладов. – М.: МАИ, 2019. – 1345 с.
3. Cherny, S. P. Another approach to enhancement of fuzzy controller intellectual capabilities / S. P. Cherny, V. A. Solovyev // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE Xplore Conference Publications. – 2017. – Pp. 1-4.
4. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / В. А. Соловьев, С. П. Черный. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 280 с.
5. Cherny, S. P. A model of multi-cascade fuzzy logic controller implemented using different variations of inference algorithms / S. P. Cherny, A. V. Buzikayeva, A. S. Gudim // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, fareastcon 2019. – 2019.
6. Susdorf, V. I. Microcontroller Control of Series Motor / V. I. Susdorf, M. T. Aung // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2018.
7. Соловьев, В. А. Разработка и исследование методики синтеза нечёткого идентификатора по прямым показателям качества / В. А. Соловьев, В. С. Попова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № I-1 (33). – С. 20-27.
8. Mitchell, S. A Cascading Fuzzy Logic Approach for Decision Making in Dynamic Applications: dissertation / Sophia M. Mitchell. – University of Cincinnati, 2016. – 126 p.
9. Малышев, Н. Г. Нечёткие модели для экспертных систем в САПР / Н. Г. Малышев, Л. С. Берштейн, А. В. Боженок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
10. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – P. 1-13.
11. Пегат, А. Нечёткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. – 798 с.

Муллер Н. В., Младова Т. А.

N. V. Muller, T. A. Mladova

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

ANALYSIS OF TIME SERIES OF OCCUPATIONAL INJURIES USING WAVELET ANALYSIS

Муллер Нина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: only_nina@mail.ru.

Nina V. Muller – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Cadastre and Technosphere Security, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). Email: only_nina@mail.ru.

Младова Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Tatyana A. Mladova – PhD in Engineering, Associate Professor of Cadastre and Technosphere Security, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

Аннотация. Статья посвящена вейвлет-анализу временных рядов производственного травматизма. На основе проведенного анализа сделан прогноз периодов предполагаемой устойчивости явления исследуемого процесса, сделаны выводы и соответствующие рекомендации с целью снижения возможных несчастных случаев на производстве.

Summary. The article is devoted to the wavelet analysis of time series of industrial injuries. Based on the analysis, a forecast of the periods of expected stability of the phenomenon of the process under study is made, conclusions and appropriate recommendations are made in order to reduce possible injuries at work.

Ключевые слова: вейвлет-анализ, временной ряд, динамика нестационарности, травматизм, несчастные случаи.

Key words: wavelet analysis, time series, non-stationary dynamics, injuries, accidents.

УДК 004.942

На сегодняшний момент в современном мире очень сложно представить задачи, не требующие обработки определённого объема структурированной информации [2].

В статье представлена обработка временных рядов (ВР) на основе вейвлет-анализа [2] для решения вычислительных задач и проведения многофакторного анализа нестационарных процессов в такой предметной области, как травматизм.

Целью такой обработки является:

- определение природы системы, генерирующей временной ряд;
- управление процессом, который порождает ряд;
- проведение различных численных экспериментов, где необходима вероятностная оценка наступления прогнозируемого события для улучшения контроля в данной сфере.

На основании анализа временных рядов требуется выявлять и прогнозировать всплески наибольшей неустойчивости и неустойчивости явления исследуемых процессов в разных масштабах времени.

Анализ нестационарных данных осуществляем с помощью прямого вейвлет-преобразования:

$$W_s(a, b) = (s(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (1)$$

Для восстановления сигнала применяют обратное непрерывное вейвлет-преобразование сигнала $s(t)$:

$$s(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_s(a, b) \psi_{ab}(t) \frac{da db}{a^2},$$

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

где $\psi_{ab}(t)$ – вейвлет, порождённый материнским вейвлетом $\psi(t)$ за счёт операций сдвига во времени b и изменения временного масштаба a ; C_ψ – нормирующий коэффициент.

Существуют различные способы реализации вейвлет-преобразования, которые основаны на расчётах во временной и частотной областях, поскольку вейвлет-спектр $W_s(a, b)$ является функцией двух аргументов.

Для вейвлет-преобразования применимы в комплексе вычислительные алгоритмы во временной и частотной областях (см. рис. 1).

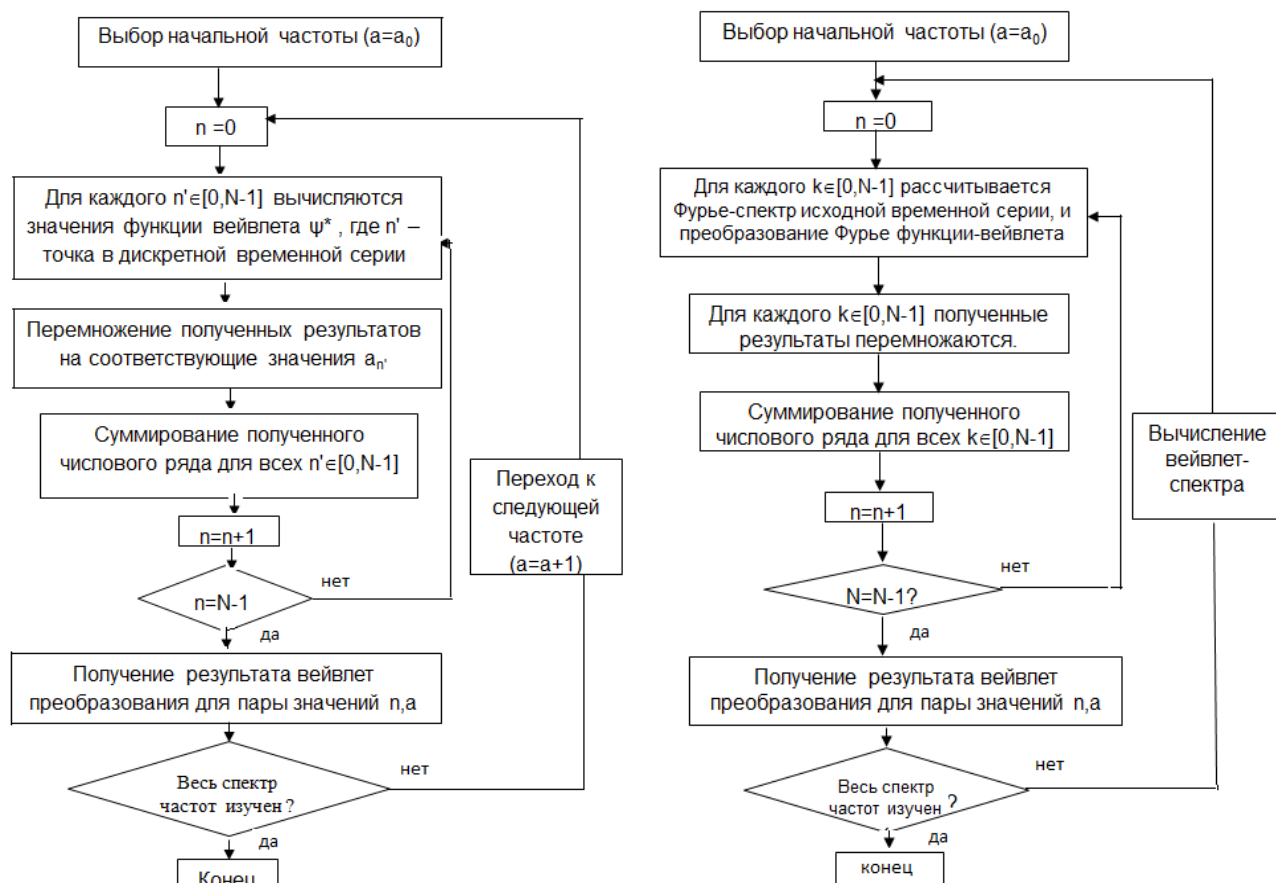
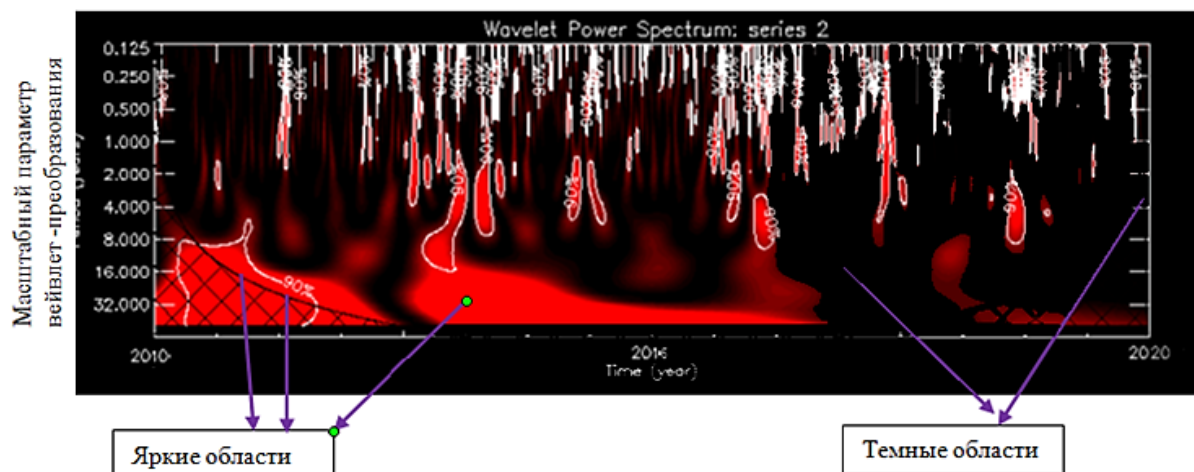


Рис. 1. Блок-схемы алгоритмов во временной и частотной областях

Интерпретация результатов вейвлет-спектров. Интерпретация полученных результатов вейвлет-преобразования – это выделение интересующей дополнительной информации, которая недоступна в исходном виде благодаря локализованным элементам базиса с необходимым частотно-временным окном. В результате получаем информацию о вкладе различных компонент разного масштаба. На вейвлет-спектре увидим светлые и тёмные линии на разных масштабах, которые отражают расположение локального минимума и максимума с выявлением осцилляции с зафиксированным периодом, но тех, которые характеризуют нестационарный характер [2].

Используя формулу (1), вычисляем вейвлет-преобразование. Имеем некоторую функцию $\psi(t)$, зависящую от времени. Результатом вейвлет-анализа будет функция $W(a,b)$, зависящая уже от двух аргументов: времени и частоты. По оси абсцисс будет отложено время, по оси ординат – частота, а абсолютное значение вейвлет-преобразования для конкретной пары a и b будет определяющим для оттенка цвета на скалограмме (см. рис. 2). В результате можно выделить области наиболее неустойчивые, которые стремятся к нестабильному состоянию, предопределяющие неудовлетворительное состояние системы.



Яркие области - появление предвестников резких изменений в возникновении несчастных случаев, темные области - стабильное состояние исследуемого процесса, отсутствие предпосылок к возникновению несчастных случаев

Рис. 2. Вейвлет-спектр появления несчастных случаев за период 10 лет

Для более исчерпывающей информации об исследуемом процессе введём показатель частотно-временного распределения нестационарных ВР, который позволяет оценить скорость изменения возникновения этих компонентов.

Показатель получен как первая производная по вычисленным распределениям вейвлет-коэффициентов по выражению

$$W_s(a,b) = (s(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt,$$

получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial a} &= -\frac{1}{2} |a|^{-\frac{3}{2}} \text{sign } a \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt + |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi' \left(\frac{t-b}{a} \right) \left(-\frac{t-b}{a^2} \right) dt = \\ &= -\frac{1}{2} |a|^{-\frac{5}{2}} \left(|a|^2 \text{sign } a \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt + 2 \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi' \left(\frac{t-b}{a} \right) (t-b) dt, \right. \end{aligned}$$

$$\frac{\partial W}{\partial a} = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi' \left(\frac{t-b}{a} \right) \left(-\frac{1}{a} \right) dt = -|a|^{-\frac{3}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi' \left(\frac{t-b}{a} \right) dt,$$

$$\text{sign } a = \begin{cases} 1, & \text{если } a > 0; \\ 0, & \text{если } a = 0; \\ -1, & \text{если } a < 0, \end{cases}$$

где t – ось времени функции $f(t)$; b – момент времени; a – временной масштаб; $\psi(t)$ – вейвлет-функция.

На скалограмме данная величина отражает наиболее резко меняющиеся компоненты сигнала. О внезапности возникновения нестационарностей или постепенном во времени накоплении предпосылок можно судить по окрашиваемой площади на вейвлет-спектре.

В работе проведён анализ временного ряда производственного травматизма в г. Комсомольске-на-Амуре за 10-летний период с применением вейвлет-анализа по различным факторам. В настоящее время наиболее полно разработаны критерии для оценки повреждений, которые входят в регламенты по безопасности многих стран и используются во всём мире [1].

В данном случае в качестве выходных данных получены вейвлет-спектры, по которым возможно выявлять нестационарности исследуемого процесса с учётом частотно-временных масштабов, то есть получать более качественную характеристику нестационарности.

Исследование ВР по временному фактору. Временной фактор подразумевает определённый период времени, за который проводится вейвлет-анализ ВР несчастных случаев (см. рис. 2). Результатом будут получены периоды максимальной неустойчивости процесса за исследуемый период.

На основе рис. 2 можно говорить о наличии в структуре вейвлет-спектра ВР периодичности во временной и в масштабной оси. Возмущающие силы локальных максимумов на вейвлет-спектре отмечены характерными яркими областями и, соответственно, минимальные возмущающие силы представлены в виде тёмных областей.

На рис. 3 представлена скалограмма скорости возникновения нестационарности, которая визуализирует наиболее резко изменяющиеся компоненты сигнала и даёт оценку внезапности возникновения сигнала в зависимости от площади окрашиваемой поверхности на скалограмме.

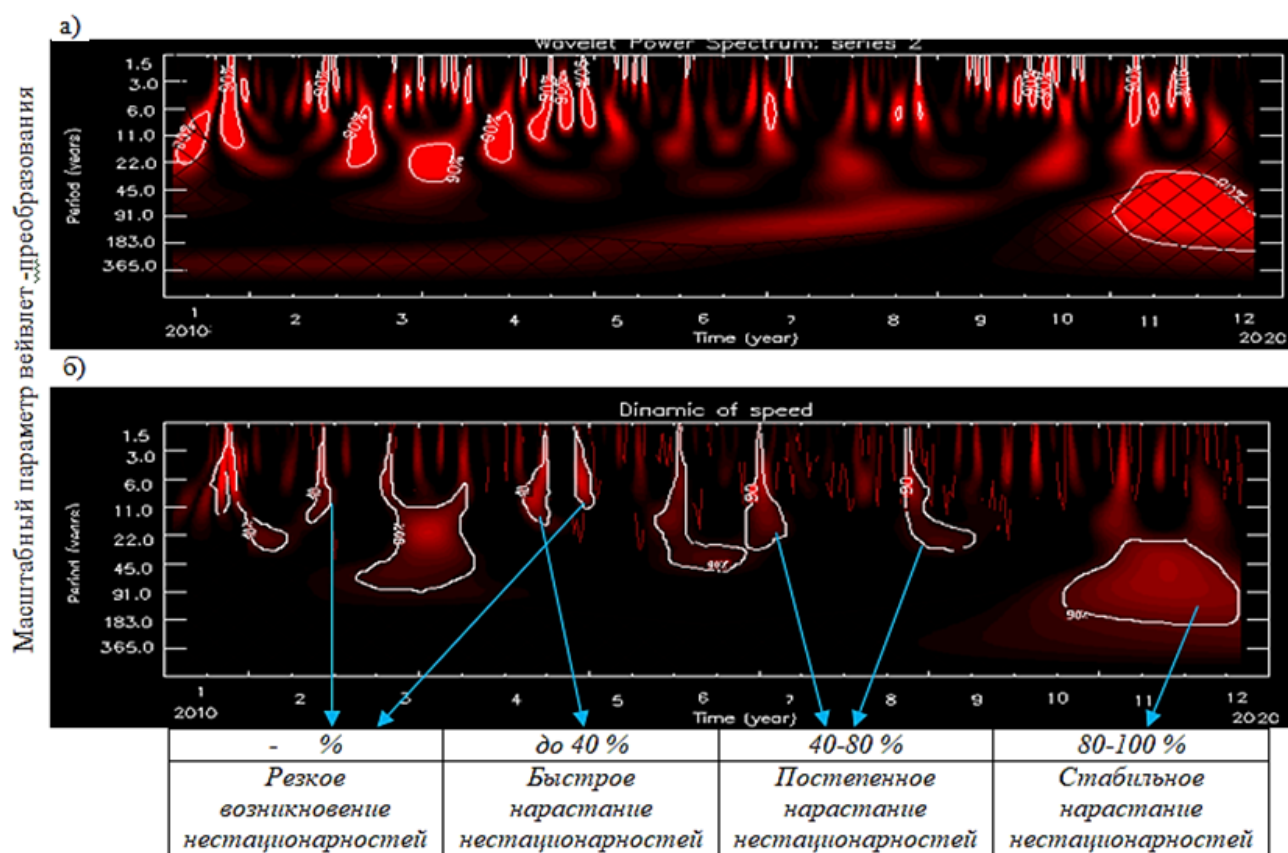


Рис. 3. Вейвлет-спектр динамики нестационарностей: а – исходный вейвлет-спектр; б – динамика нестационарности по исходному результату

Чем больше окрашиваемая площадь, тем более стабильное нарастание нестационарностей в виде причин и предпосылок к появлению несчастных случаев, и наоборот, чем меньше площадь окрашиваемой поверхности, тем более резкое и внезапное возникновение нестационарностей при отсутствии предпосылок.

Исследование ВР по дням недели. На рис. 4 представлен анализ ВР по дням недели с наибольшей и наименьшей персистентностью.

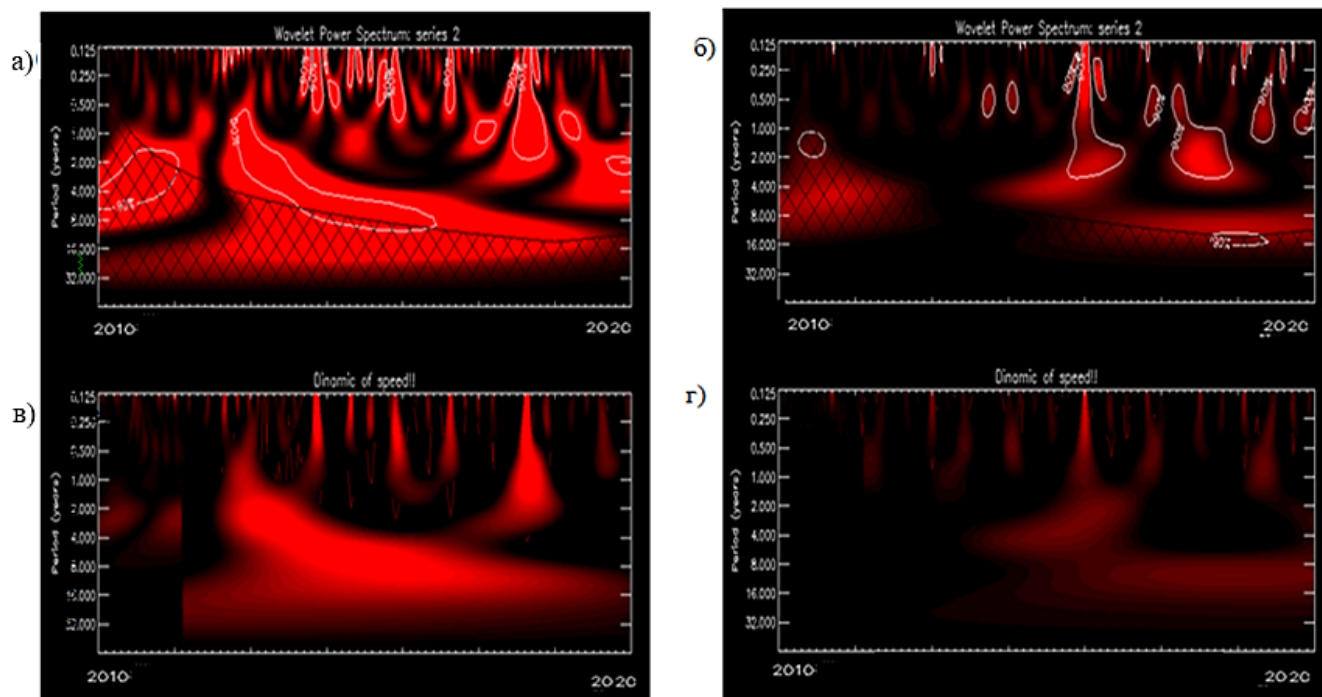


Рис. 4. Вейвлет-анализ и динамика нестационарностей по дням недели:
а – вейвлет-анализ четверга; б – вейвлет-анализ воскресенья; в – динамика нестационарности четверга; г – динамика нестационарности воскресенья

Классический статистический анализ свидетельствует о понедельник (19 % травм) и пятнице (31 %) как наиболее травмоопасных днях. Полученные результаты обработки ВР с помощью вейвлет-анализа указывают на понедельник и четверг как дни с наиболее антиперсистентными ВР, где сценарий развития ситуации стремится к хаотичному.

Исследование ВР по полу. Анализ вейвлет-спектров (см. рис. 5) показал различие между уровнем травматизма у мужчин и женщин.

Скопление предпосылок к реализации травматизма у мужчин наблюдается в значительно большем количестве, чем у женщин и, соответственно, с более высоким показателем хаотичности.

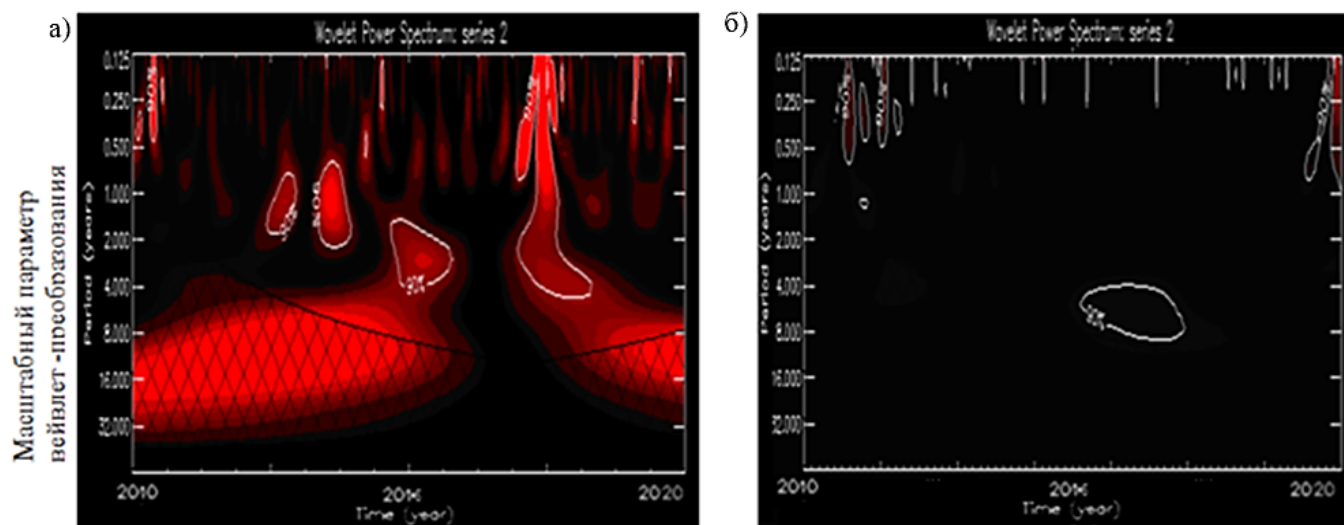


Рис. 5. Вейвлет-анализ появления несчастного случая по полу: а – вейвлет-анализ травматизма у мужчин; б – вейвлет-анализ травматизма у женщин

Исследование ВР по возрасту. Анализ вейвлет-спектров, полученных при обработке ВР по возрастному распределению, показал, что у работающих в возрасте до 20 лет и после 50 менее выраженные всплески на вейвлет-скалограммах, предположительно, по причине того, что этим возрастным категориям соответствует небольшое количество работающих. Но возникающие травмы в основном происходят из-за недостатка опыта (до 20 лет) или, наоборот, повышенной рассеянности и отсутствия должного внимания.

На рис. 6 представлены вейвлет-скалограммы возрастных групп с максимально нестабильным процессом, склонным к хаотичному, но, как видно из рис. 6, возраст от 21 до 30 лет более подвержен травматизации по сравнению с другими возрастными группами.

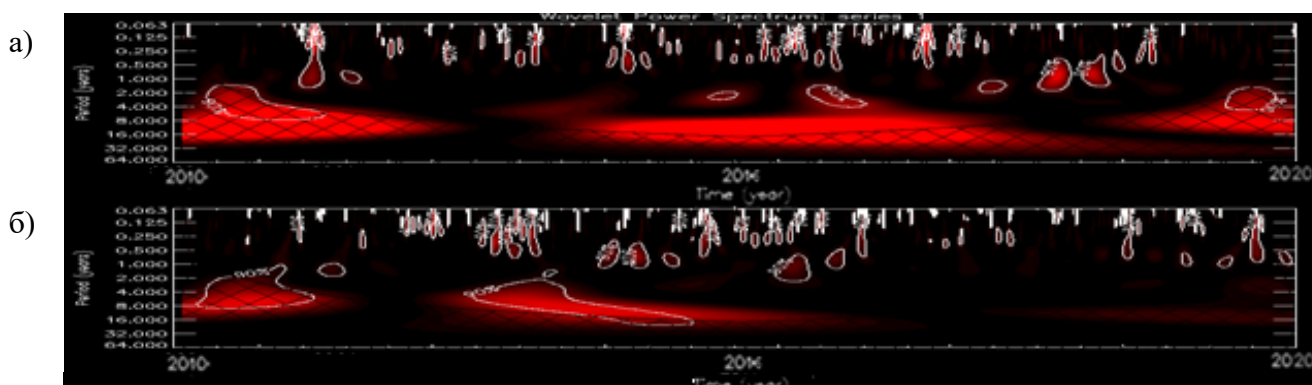


Рис. 6. Вейвлет-анализ появления несчастного случая по возрасту: а – исходный вейвлет-спектр травматизма работников в возрасте 21-30 лет; б – исходный вейвлет-спектр в возрасте 31-40 лет

Выводы. Проведена визуализация на основе компьютерных методов обработки информации. В работе выявлены закономерности в поведении временных рядов с приведённой интерпретацией вейвлет-скалограмм в виде информации о процессе, недоступной в исходном виде.

В результате проведённого выше анализа позволительно строить прогнозные оценки на основе выделения факторов наименее устойчивых, стремящихся к нестабильному состоянию, и, как следствие, на основе полученных результатов более точно предлагать рекомендации.

Можно определить группу лиц по возрастному критерию и полу для повышенного внимания и контроля с точки зрения охраны труда и превентивных инструктажей со стороны руководства. Ключевым моментом такого подхода к управлению производственным процессом является система планирования [3].

В наиболее травмоопасные дни ввести дополнительные регламентированные перерывы, улучшить рационализацию режимов труда в условиях воздействия производственной среды.

Данные примеры отражают практическую ценность результатов, которые получены при обработке временного ряда вейвлет-анализом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные подходы к оценке тяжести повреждений при моделировании минно-взрывных травм / Е. А. Чернышов, И. Д. Романов, А. Д. Романов, Р. О. Горбатов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1(34). – С. 105-112.
2. Амосов, О. С. Сетевая классификация атак в задачах информационной безопасности на основе интеллектуальных технологий, фрактального и вейвлет-анализа / О. С. Амосов, Д. С. Магола, С. Г. Баена // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № IV-1(32). – С. 19-29.
3. Олещук, В. А. Объём незавершенного производства как показатель эффективности системы планирования, принятой на предприятии / В. А. Олещук, Ш. Ш. Шарипов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № IV-1(32). – С. 56-58.

Иванищев Ю. Г., Давыдов В. М.
Y. G. Ivanishchev, V. M. Davydov

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ (НОРМАЛИЗОВАННОЙ И НАТУРАЛЬНОЙ) НА ИХ АДЕКВАТНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

INFLUENCE OF THE ACCURACY OF THE PARAMETERS OF THE MODELS (NORMALIZED AND NATURAL) ON THEIR ADEQUACY TO THE EXPERIMENTAL DATA

Иванищев Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологической информатики и информационных систем Тихоокеанского государственного университета (Россия, г. Хабаровск). E-mail: ivanishhev41@mail.ru.

Yuri G. Ivanishchev – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Technological Informatics and Information Systems, Pacific State University (Russia, Khabarovsk). E-mail: ivanishhev41@mail.ru.

Давыдов Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологической информатики и информационных систем Тихоокеанского государственного университета (Россия, г. Хабаровск). E-mail: davellut@mail.ru.

Vladimir M. Davydov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Informatics and Information Systems, Pacific State University (Russia, Khabarovsk). E-mail: davellut@mail.ru.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния параметров нормализованной и натуральной моделей на их адекватность экспериментальным данным. Исследования представлены по результатам обработки экспериментальных данных трёхфакторных моделей с учётом взаимодействия факторов. Рассмотрены два варианта проведения эксперимента: первый – проведение опытов в каждой точке факторного пространства, второй – проведение по одному опыту в каждой точке факторного пространства и серия в центре плана для расчёта дисперсии воспроизводимости. Обработка результатов эксперимента по первому варианту проводилась с использованием двух методик. Их принципиальное отличие в расчёте доверительного интервала параметров нормализованной модели. Адекватность моделей оценивалась по двум статистическим критериям: Фишера и Стьюдента. По результатам исследования даны рекомендации по принятию значений параметров моделей исходя из рассчитанных значений. Обработка экспериментальных данных проведена с помощью программного обеспечения, разработанного на кафедре технологической информатики и информационных систем.

Summary. The article presents the study results of the influence of the parameters of the normalized and natural models on their adequacy to experimental data. The studies are presented on the basis of the results of processing experimental data of three-factor models, taking into account the interaction of factors. Two variants of the experiment are considered: the first is to conduct experiments at each point of the factor space, the second is to conduct one experiment at each point of the factor space and a series in the center of the design to calculate the reproducibility variance. The processing of the results of the experiment according to the first option was carried out using two methods. Their fundamental difference is in the calculation of the confidence interval of the parameters of the normalized model. The adequacy of the models was assessed by two statistical criteria: Fisher and Student's. Based on the results of the study, recommendations are given on the adoption of the values of the parameters of the models based on the calculated values. The experimental data were processed using software developed at the Department of Technological Informatics and Information Systems.

Ключевые слова: регрессионный анализ, параметры моделей, нормализованная модель, натуральная модель, факторы, эксперимент, статистические критерии, программное обеспечение.

Key words: regression analysis, model parameters, normalized model, natural model, factors, experiment, statistical criteria, software.

УДК 001.8:517

При проведении регрессионного анализа обычно ограничиваются получением уравнения нормализованной модели, параметры которой принимаются с учётом доверительного интервала. В этих моделях параметры модели представлены в безразмерном виде. Методики расчёта таких мо-

делей подробно описаны во многих работах [1; 2; 4; 5; 6]. Но в некоторых случаях требуется использовать натуральную модель, в которой факторы, как правило, имеют разную размерность, а точность параметров, с которой они должны приниматься в этих моделях, в указанных работах не приводится. Поэтому в данной работе проведено исследование влияния параметров нормализованной и натуральной моделей на их адекватность экспериментальным данным.

Проведение анализа рассмотрим на двух примерах исследования трёхфакторных моделей с взаимодействием факторов: в первом случае – сериями в каждой точке плана; во втором случае – по одному опыту в каждой точке факторного пространства и серия опытов в центре плана для определения дисперсии воспроизводимости эксперимента.

Нормализованная модель имеет вид

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ и b_{123} – параметры модели; x_i – нормализованный i -й фактор ($x_i = (X_i - X_{i0})/\Delta X_i$), в матрице плана нормализованные факторы принимают значения «+1» или «-1» (соответственно, в центре плана их значения равны «0»), здесь X_i – натуральное значение i -го фактора; X_{i0} – основной уровень i -го фактора; ΔX_i – шаг варьирования i -го фактора.

Соответственно, уравнение натуральной модели имеет вид [3]

$$Y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_{12}X_1X_2 + C_{13}X_1X_3 + C_{23}X_2X_3 + C_{123}X_1X_2X_3, \quad (1)$$

где

$$C_0 = b_0 - a_1X_{10} - a_2X_{20} - a_3X_{30} + a_{12}X_{10}X_{20} + a_{13}X_{10}X_{30} + a_{23}X_{20}X_{30} - a_{123}X_{10}X_{20}X_{30};$$

$$C_1 = a_1 - a_{12}X_{20} - a_{13}X_{30} + a_{123}X_{20}X_{30}; C_2 = a_2 - a_{12}X_{10} - a_{23}X_{30} + a_{123}X_{10}X_{30};$$

$$C_3 = a_3 - a_{13}X_{10} - a_{23}X_{20} + a_{123}X_{10}X_{20}; C_{12} = a_{12} - a_{123}X_{30}; C_{13} = a_{13} - a_{123}X_{20};$$

$$C_{23} = a_{23} - a_{123}X_{10}; C_{123} = a_{123} - a_{123}X_{10}; a_1 = b_1/\Delta X_1; a_2 = b_2/\Delta X_2; a_3 = b_3/\Delta X_3;$$

$$a_{12} = b_{12}/\Delta X_1\Delta X_2; a_{13} = b_{13}/\Delta X_1\Delta X_3; a_{23} = b_{23}/\Delta X_2\Delta X_3; a_{123} = b_{123}/\Delta X_1\Delta X_2\Delta X_3.$$

В соответствии с намеченными схемами анализа в первом случае используются одни экспериментальные данные [5], но две разные методики. Первая буква индекса схемы указывает на авторство методики анализа нормализованной модели: «И» – методика, изложенная в работе [4]; «Х» – методика, изложенная в работе [5]. Её существенное отличие от методики «И» – в расчёте доверительного интервала, с учётом которого принимаются параметры нормализованной модели.

Во втором случае первая буква «Д» соответствует анализу экспериментальных данных [3] с проведением по одному опыту в каждой точке плана и серии опытов в центре плана для определения дисперсии воспроизводимости.

Вторая цифра (индекс) в обозначении варианта относится к нормализованным моделям и характеризует точность оценки именно параметров нормализованной модели: «2», «1» или «0» – количество значащих цифр после запятой в принятых параметрах модели («2» или «1» – для вариантов «И» и «Х»; «1» или «0» – для варианта «Д»).

Третья цифра (индекс) обозначения относится к натуральным моделям в рассматриваемых вариантах. Она характеризует точность оценки параметра именно натуральной модели: «4» или «2» – количество значащих цифр после запятой в принятых параметрах натуральной модели.

Обработка и анализ экспериментальных данных, расчёт параметров нормализованных и натуральных моделей, а также проверка их адекватности проводились с помощью программного обеспечения, выполненного в таблицах Excel.

Рассмотрим подробно первый случай – в каждой точке факторного пространства проведена серия опытов.

Анализ этого варианта рассмотрим по результатам исследования обработки экспериментальных данных [5] для случая соединения синтетической кожи СК-8 методом ультразвуковой сварки. В качестве параметра оптимизации принята прочность на сдвиг сварного шва. Полученная прочность сравнивалась с прочностью ниточного шва.



Для исследования выделены следующие факторы, определяющие условия эксперимента (см. табл. 1): амплитуда колебаний – $A(X_1)$; статическое давление – $P(X_2)$; длительность ультразвукового импульса (время сварки) – $t(X_3)$.

Остальные факторы зафиксированы: частота колебаний – $f = 21,8$ кГц; опора – полушаровая активная; ширина шва – $h = 5$ мм; материал – синтетическая кожа СК-8, условно принимается с одинаковой структурой и толщиной.

По результатам обработки экспериментальных данных рассчитываются параметры нормализованной модели, которые для дальнейшей обработки принимаются с учётом рассчитанного доверительного интервала Δb и намеченной методики исследования.

Таблица 1

Условия эксперимента

Пределы варьирования	Факторы (обозначения)		
	Наименование факторов		
	Амплитуда колебаний A , мкм (X_1)	Статическое давление P , 10^5 Па (X_2)	Время сварки t , с. (X_3)
Основной уровень (X_{i0})	70	7	0,045
Шаг варьирования (ΔX_i)	5	1,5	0,05
Верхний уровень (+1)	75	8,5	0,5
Нижний уровень (–1)	65	5,5	0,4

С учётом принятых параметров модели проводится расчёт наблюдаемых значений статистических критериев: Фишера F_H и Стьюдента t_H , Кохрена G_H , критерия последовательных разностей τ_H , v_H – и их сравнение с критическими, а также формулировка заключений об адекватности модели, однородности дисперсий, стохастичности результатов наблюдения и отсутствии грубых ошибок в результатах эксперимента. Критические значения статистических критериев в программе определяются автоматически.

Далее проведён анализ нормализованных моделей в зависимости от точности принимаемых параметров и используемых методик расчёта. Параметры анализируемых моделей по разным вариантам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры анализируемых моделей по разным вариантам

Вариант	Параметры моделей							
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
расчётные по методике «И», без их округления ($\Delta b_i = 0,1516$)								
	5,4525	1,5925	0,7225	0,3775	1,5225	-0,2125	0,8675	0,3375
принятые с учётом расчётных по методике «И» при различной точности их округления								
И-2	5,45	1,59	0,72	0,38	1,52	-0,21	0,87	0,34
И-1	5,5	1,6	0,7	0,4	1,5	-0,2	0,9	0,3
расчётные по методике «Х», без их округления ($\Delta b_i = 0,408$)								
	5,399	1,591	0,674	0,378	1,526	-0,261	0,866	0,289
принятые с учётом расчётных по методике «Х» при различной точности их округления								
Х-2	5,4	1,59	0,67	0,38	1,53	-0,26	0,87	0,29
Х-1	5,399	1,591	0,674	0,378	1,526	–	0,866	–

С учётом принятых значений параметров нормализованной модели (по исследуемым вариантам) рассчитаны теоретические значения функций этих моделей в различных точках факторного пространства (см. табл. 3). Здесь же приведены значения параметров, определяемые по зависимо-

стям, приведённым в работе [4]: дисперсии адекватности – $S_{ад}^2$; наблюдаемое значение критерия Фишера F_H . Соответствующее критическое значение $F_K = 7,355$.

Так как $F_H < F_K$, то во всех вариантах при принятых параметрах модели адекватны.

Но существует другой вариант оценки адекватности модели в каждой точке факторного пространства по критерию Стьюдента [4]. Для использования этого критерия m дублирующих опытов должно проводиться в каждой точке плана. В этом случае наблюдаемое значение критерия Стьюдента t_{Hu} должно определяться для каждой точки плана:

$$t_{Hu} = \left| \bar{Y}_u - f_u \right| / \sqrt{S_{vu}^2 / m},$$

где \bar{Y}_u – среднее экспериментальное значение в u -й точке плана; f_u – значение отклика в этой же точке, предсказанное на модели; S_{vu}^2 – дисперсия воспроизводимости в u -й точке плана.

Условие адекватности модели $\max t_{Hu} < t_K(P, m)$.

Таблица 3

Расчётные значения функций нормализованных моделей (по исследуемым вариантам) с учетом принятых значений параметров модели

№ опыта	Эксперимент	Вариант			
		И-2	И-1	Х-2	Х-1
1	4,6	4,6	4,7	4,61	5,148
2	5,84	5,84	5,9	5,83	5,278
3	1,94	1,94	1,9	1,73	1,712
4	7,92	7,9	7,9	7,91	7,946
5	4,72	4,72	4,7	4,73	4,172
6	3,76	3,76	3,9	3,75	4,302
7	4,18	4,18	4,3	4,17	4,2
8	10,66	10,66	10,7	10,47	10,434
Среднее значение \bar{Y}_u	5,4525	5,45	5,5	5,4	5,399
$S_{ад}^2$	–	0,0849	0,089167	0,0916	0,194396
F_H	–	1,874264	1,784579	1,737172	1,221656

Рассчитанные наблюдаемые значения критериев Стьюдента в каждой точке факторного пространства для моделей различных вариантов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наблюдаемое значение Критерий Стьюдента $t_n(P, m)$

№ опыта	Вариант			
	И-2	И-1	Х-2	Х-1
1	1,123E-14	0,6324555	0,0632456	3,4658563
2	0	0,3547874	0,0591312	3,3231757
3	1,445E-15	0,2603778	1,3669836	1,4841536
4	0,1254912	0,1254912	0,0627456	0,1631385
5	0	0,1048285	0,0524142	2,8723005
6	3,447E-15	1,0866107	0,0776151	4,2067358
7	6,936E-15	0,9370426	0,0780869	0,1561738
8	6,181E-15	0,1391778	0,6610946	0,7863546
Заключение об адекватности модели по критерию Стьюдента – $t_K(P, m)$ – 2,803				
Да/нет	Да	Да	Да	Нет



Анализ этих данных показывает, что модели всех вариантов, кроме последнего, адекватны во всех точках исследуемого факторного пространства. В последней модели «X-1» не соблюдается условие $t_K(P,m) > t_H(P,m)$ в точках плана 1, 2, 5, 6 (значения $t_H(P,m)$ выделены жирным шрифтом).

В табл. 5 приведены относительные ошибки значений функций, рассчитанных во всех точках факторного пространства по различным вариантам моделей, а также дисперсии этих ошибок и коэффициенты корреляции между экспериментальными данными и теоретическими значениями функций.

Таблица 5

Относительные погрешности

№ опыта	Вариант модели			
	И-2	И-1	X-2	X-1
1	3,862E-16	0,0217391	0,0021739	0,1191304
2	0	0,010274	0,0017123	0,0962329
3	1,145E-16	0,0206186	0,1082474	0,1175258
4	0,0025253	0,0025253	0,0012626	0,0032828
5	0	0,0042373	0,0021186	0,1161017
6	1,181E-16	0,037234	0,0026596	0,1441489
7	2,125E-16	0,0287081	0,0023923	0,0047847
8	1,666E-16	0,0037523	0,0178236	0,0212008
Дисперсия ошибок				
	7,971E-07	0,000167	0,0013811	0,003369
Коэффициент корреляции				
	0,9999971	0,9996759	0,999437	0,9873796

По приведённым выше зависимостям (1) рассчитаны и приняты параметры натуральных моделей по различным вариантам расчёта (см. табл. 6). Принятые значения определялись точностью округления. В обозначении вариантов второй и третий индекс «m» соответствует параметрам, принятым равным расчётным. Так как эти модели не имеют практического применения, то в дальнейшем результаты их исследования могут не отображаться.

Таблица 6

Принятые параметры натуральных моделей в зависимости от вариантов расчёта

Варианты расчёта	C_0	C_1	C_2	C_3	C_{12}	C_{13}	C_{23}	C_{123}
И-2-4	-114,1233	2,1333	9,6333	429,4667	-0,2053	-7,1867	-51,8667	0,9067
И-1-4	-89,5667	1,8	6,2667	372	-0,16	-6,4	-44	0,8
X-2-4	-90,1867	1,794	5,3067	378,1333	-0,144	-6,4533	-42,5333	0,7733
X-1-4	112,6483	-1,1061	-18,9893	-73,2667	5	—	11,5467	—
И-2-4ц	-114,1	2,133	9,633	429,5	-0,2053	-7,187	-51,87	0,9067
И-1-4ц	-89,57	1,8	6,267	372	-0,16	-6,4	-44	0,8
И-2-3ц	-114	2,13	9,63	429,46667	-0,205	-7,19	-51,9	0,907
И-1-3ц	-89,6	1,8	6,27	372	-0,16	-6,4	-44	0,8
И-2-2	-114,12	2,13	9,63	429,47	-0,21	-7,19	-51,87	0,91
И-1-2	-89,57	1,8	6,27	372	-0,16	-6,4	-44	0,8
X-2-2	-90,19	1,79	5,31	378,13	-0,14	-6,45	-42,53	0,77
X-1-2	112,65	-1,11	-18,99	-73,27	0,2	—	11,55	—

Далее проведено исследование влияния точности принятых параметров нормализованных моделей на расчётные значения параметров натуральных моделей.

С учётом рассчитанных и принятых по ним параметров натуральной модели, а также заданных условий эксперимента (см. табл. 1) строится план эксперимента в натуральных единицах измерения. Рассчитываются значения функции $f_{u_нтр}$ натуральной модели и наблюдаемое значение критерия Стьюдента в каждой точке факторного пространства.

Проводится расчёт наблюдаемых значений статистических критериев Фишера F_H и Стьюдента t_{Hmax} для оценки адекватности натуральной модели.

Следует отметить, что при оценке влияния точности принимаемых параметров натуральной модели, как показали дальнейшие исследования, указанный признак (количество цифр после запятой) оказался недостаточно эффективным. Потребовалось при исследовании включить дополнительный признак – количество значащих цифр в оценке параметра.

Пример использования различных признаков округления расчётных параметров натуральной модели показан в табл. 7.

Таблица 7

Примеры принятия решения параметров натуральных моделей

Исходные расчётные данные			Процедуры принятия решений
323,25333	12,13333	0,00191333	
Принятые параметры			
323,2533	12,1333	0,0019	Округление до 4 цифр после запятой
323,2	12,13	0,001913	Округление до 4 значащих цифр
323,25	12,13	0	Округление до 2 цифр после запятой
323	12,1	0,00191	Округление до 3 значащих цифр

Для учёта указанного признака при анализе натуральных моделей дополнительно к имеющимся схемам анализа введены дополнительные схемы анализа: для первого варианта проведения эксперимента (в каждой точке факторного пространства серия опытов): И-2-4ц; И-2-3ц; И-1-4ц; И-1-3ц. Соответственно для второго варианта проведения эксперимента (по одному опыту в каждой точке факторного пространства и серия опытов в центре плана): Д-2-4ц; Д-2-3ц; Д-1-4ц; Д-1-3ц.

Анализ свойств каждой натуральной модели (по соответствующему варианту) проводится аналогично анализу нормализованных моделей.

Сравниваются значения функции $f_{u_нтр}$ натуральной модели с результатами эксперимента Y_u . Сравнение проводится в каждой u -й точке факторного пространства.

По результатам сравнения определяются:

– $\Delta f_{u_нтр}$ – погрешности (рассогласование между экспериментальными данными и значениями функции натуральной модели);

– $S^2_{ад}$ – дисперсия адекватности $S^2_{ад} = \frac{1}{N - (k + 1)} \left(\sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^m (Y_{uj} - f_{u_нтр})^2 \right) / m$;

– F_H – наблюдаемое значение критерия Фишера ($F_H = S^2_{ад} / S^2_{в}$, где $S^2_{в}$ – дисперсия воспроизводимости эксперимента);

– t_{Hu} – наблюдаемое значение критерия Стьюдента в каждой точке факторного пространства с учётом значений функций натуральной модели

$$t_{Hu} = \left| \bar{Y}_u - f_{u_нтр} \right| / \sqrt{S^2_{ву} / m}.$$

Наличие этих данных позволяет оценить адекватность, как и для нормализованной модели, по двум критериям Фишера и Стьюдента.

Условия адекватности модели:

$$t_{Hmax} < t_K(P, m), F_H < F_K(P, m_1, m_2).$$



Критические значения критерия Стьюдента $t_k(P, m)$ и критерия Фишера $F_k(P, m_1, m_2)$ определяются автоматически и одинаковы для всех вариантов расчёта и для двух типов модели нормализованной и натуральной.

Сравнительный анализ вариантов моделей «X-1-2» с «X-2-2» и «X-1-4» с «X-2-4» показывает, что отсутствие двух параметров в нормализованной и натуральной моделях приводит к значительному изменению значений параметров натуральной модели.

Сравнительный анализ расчётных значений отклика по всем восьми точкам планов различных вариантов натуральных моделей приведён в табл. 8 – 10.

Таблица 8

Расчётные значения отклика натуральной модели в различных точках плана при использовании различных вариантов расчёта

Точки плана								Варианты расчёта
1	2	3	4	5	6	7	8	
4,6	5,84	1,94	7,92	4,72	3,76	4,18	10,66	эксп
4,6034	5,8655	1,9524	7,9359	4,7244	3,7866	4,1940	10,6978	И-2-4
4,7002	5,9002	1,9003	7,9003	4,7002	3,9002	4,3003	10,7003	И-1-4
4,6063	5,8257	1,7239	7,9029	4,7253	3,7446	4,1623	10,4610	Х-2-4
5,1580	5,2895	1,7286	7,9651	4,1820	4,3135	4,2166	10,4531	Х-1-4
4,6139	5,8517	1,9580	7,9172	4,7344	3,7721	4,1981	10,6774	И-2-4Ц
4,6985	5,8985	1,8995	7,8995	4,6985	3,8985	4,2995	10,6995	И-1-4Ц
4,3085	5,5275	1,6895	7,6425	4,3537	3,3713	3,8513	10,3238	И-2-3Ц
4,6850	5,8850	1,8950	7,8950	4,6850	3,8850	4,2950	10,6950	И-1-3Ц

Примечание – серым цветом помечены погрешности расчётных значений отклика, превышающие 10%-й рубеж

В этих таблицах помечены ячейки, в которых расчётные значения отклика натуральной модели, превышают 10%-й рубеж.

Как следует из анализа данных этих таблиц, наиболее приемлемыми моделями являются модели **И-2-4Ц**, **И-1-4Ц**, **И-2-3Ц**, **И-1-3Ц**, в которых параметры модели принимаются исходя из расчётных параметров с округлением их до 4 или 3 значащих цифр. Но если количество цифр наибольшего целого превышает эти значения, то и при округлении это необходимо учитывать (т.е. увеличивать количество значащих цифр).

Таблица 9

Относительная погрешность расчёта значений отклика натуральной модели в зависимости от вариантов расчёта

Точки плана								Варианты расчёта	Принятые параметры модели
1	2	3	4	5	6	7	8		
0,07 %	0,44 %	0,64 %	0,20 %	0,09 %	0,71 %	0,33 %	0,35 %	И-2-4	Округление до 4 знаков после запятой
2,18 %	1,03 %	2,05 %	0,25 %	0,42 %	3,73 %	2,88 %	0,38 %	И-1-4	
0,14 %	0,24 %	11,14 %	0,22 %	0,11 %	0,41 %	0,42 %	1,87 %	Х-2-4	
12,13 %	9,43 %	10,90 %	0,57 %	11,40 %	14,72 %	0,88 %	1,94 %	Х-1-4	
0,30 %	0,20 %	0,93 %	0,03 %	0,30 %	0,32 %	0,43 %	0,16 %	И-2-4Ц	Округление до количества значащих цифр
2,14 %	1,00 %	2,09 %	0,26 %	0,46 %	3,68 %	2,86 %	0,37 %	И-1-4Ц	
6,34 %	5,35 %	12,91 %	3,50 %	7,76 %	10,34 %	7,86 %	3,15 %	И-2-3Ц	
1,85 %	0,77 %	2,32 %	0,32 %	0,74 %	3,32 %	2,75 %	0,33 %	И-1-3Ц	

Примечание – серым цветом помечены погрешности расчётных значений отклика, превышающие 10%-й рубеж

Следует обратить также внимание на значительный разброс получаемых значений расчётных параметров натуральной модели при, казалось бы, незначительном изменении параметров нормализованной модели (сравнение данных табл. 2 и табл. 6).

Таблица 10

Параметры относительной погрешности расчётных значений отклика натуральной модели в зависимости от методики расчёта

СР ЗНЧ	МАКС	ДИСП	Методики расчёта	Принятые параметры модели
0,36 %	0,71 %	0,00 %	И-2-4	Округление до 4 знаков после запятой
1,61 %	3,73 %	0,02 %	И-1-4	
1,82 %	11,14 %	0,15 %	Х-2-4	
7,74 %	14,72 %	0,32 %	Х-1-4	
0,34 %	0,93 %	0,00 %	И-2-4Ц	Округление до количества значащих цифр
1,61 %	3,68 %	0,02 %	И-1-4Ц	
7,15 %	12,91 %	0,11 %	И-2-3Ц	
1,55 %	3,32 %	0,01 %	И-1-3Ц	

Как следует из анализа данных табл. 8 – 10, основные различия в расчётных значениях отклика натуральной модели и экспериментальных данных прослеживаются при расчёте по вариантам **И-2-2**, **Х-2-2**, **Х-1-2**. Поэтому эти варианты не представлены в табл. 8 – 10.

В табл. 11 приведены характеристики натуральных моделей, полученные при расчёте по различным вариантам.

Таблица 11

Характеристики натуральных моделей, полученные при расчёте по различным вариантам

$S^2_{ад}$	F_H	t_{Hmax}	Дисперсия ошибок	Коэффициент корреляции	Варианты расчёта	Принятые параметры модели
0,255297	1,604382	0,206844	0,000005	0,999994	И-2-4	Округление до 4 знаков после запятой
0,267534	1,681279	1,087775	0,000167	0,999676	И-1-4	
0,276460	1,737378	1,407017	0,001452	0,999426	Х-2-4	
0,579870	3,644119	4,295799	0,003234	0,987403	Х-1-4	
0,255011	1,602582	0,141532	0,000007	0,999997	И-2-4Ц	Округление до количества значащих цифр
0,461798	2,902107	3,017285	0,000163	0,999678	И-1-4Ц	
0,267268	1,679607	1,074968	0,001106	0,999858	И-2-3Ц	
0,265400	1,667871	0,970188	0,000136	0,999691	И-1-3Ц	

Это характеристики: дисперсия адекватности – $S^2_{ад}$, которая служит для определения наблюдаемого значения критерия Фишера – F_H , максимальное наблюдаемое значение критерия Стьюдента – t_{Hmax} . По сути дела, определение этих двух параметров F_H и t_{Hmax} и характеризуют параметры, необходимые для оценки адекватности модели путём их сравнения с критическими значениями (для данного случая $F_K = 7,355$, $t_K = 2,803$).

Косвенной оценкой адекватности моделей может также служить дисперсия погрешностей натуральной модели и коэффициент корреляции экспериментальных данных и натуральных моделей (см. табл. 11).

Рассмотрим подробно второй случай – в каждой точке факторного пространства проведено по одному опыту, а в центре плана – серия опытов.



Анализ этого варианта рассмотрим по результатам исследования математического описания деформаций губок специального приспособления, используемого в условиях единичного производства [3]. Условия проведения эксперимента представлены в табл. 12.

Таблица 12

Условия эксперимента

Пределы варьирования	Факторы (обозначения)		
	Толщина центральной перемычки b , мм (X_1)	Диаметр D , мм (X_2)	Длина приспособления L , мм (X_3)
Основной уровень (X_{i0})	6 (X_{10})	55 (X_{20})	65 (X_{30})
Шаг варьирования (ΔX_i)	3 (ΔX_1)	15 (ΔX_2)	35 (ΔX_3)
Верхний уровень (+1)	9	70	100
Нижний уровень (-1)	3	40	30

По результатам обработки экспериментальных данных рассчитываются параметры нормализованной модели, которые для дальнейшей обработки принимаются с учётом рассчитанного доверительного интервала Δb и намеченной методики (варианта) исследования (см. табл. 13).

Таблица 13

Параметры нормализованной модели «Д»

№ варианта модели	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Расчётные параметры нормализованной модели ($\Delta b = 0,7387$)								
	111,75	-20,5	3,75	-42,25	3	8	-11,25	-2,5
Принятые параметры модели с различной точностью округления								
Д-1	111,8	-20,5	3,8	-42,3	3	8	-11,3	-2,5
Д-0	112	-21	4	-42	3	8	-11	-3

После принятия решения рассчитываются и другие параметры, в том числе и характеризующие адекватность модели. Всего в соответствии с намеченной схемой анализа необходимо провести исследование двух вариантов нормализованных моделей (Д-1 и Д-0), отличительной особенностью которых является лишь различная точность принятых значений параметров этих моделей с учётом рассчитанного доверительного интервала. Принятые параметры указанных моделей приведены в табл. 13, а экспериментальные и расчётные значения откликов – в табл. 14.

Таблица 14

Расчётные значения откликов по вариантам нормализованных моделей

Точки плана								Параметры и критерии			Варианты
1	2	3	4	5	6	7	8	$S^2_{ад}$	F_n	t_n	
173	105	192	146	90	64	74	50	–	–	–	Эксперимент
173	105	192,2	146,2	90	64	74	50	0,02	0,025	1,2649	Д-1
174	104	192	146	90	64	76	50	1,5	1,875	1,89737	Д-0

По результатам обработки для разных моделей определены параметры оценки откликов: дисперсии относительной погрешности оценки отклика и коэффициента корреляции между экспериментальными данными и вариантами нормализованных моделей, описывающими эксперимент (см. табл. 15).

По аналогии с предыдущей схемой проведения эксперимента анализируются дополнительно 4 варианта, точность округления параметров натуральной модели в которых определяется количеством значащих цифр. В итоге анализируются 8 вариантов натуральных моделей (Д-1-4,

Д-1-2, Д-0-4, Д-0-2, Д-1-4ц, Д-1-3ц, Д-0-4ц, Д-0-3ц). Расшифровка условного обозначения вариантов приведена ранее.

Таблица 15

Параметры оценки откликов

Д-т вариант	Д-1 вариант	Д-0 вариант	Параметр
0	3,1924E-07	9,00835E-05	Дисперсия ошибок
1	0,99999915	0,999858254	Коэффициент корреляции

Для каждой из указанных моделей рассчитанные параметры натуральной модели для дальнейшей обработки принимаются с определённой точностью округления. Точность округления определяется количеством знаков после запятой или количеством значащих цифр. Принятые параметры натуральных моделей всех 8 вариантов представлены в табл. 16.

Таблица 16

Параметры натуральных моделей по вариантам

№ варианта модели	Параметры натуральной модели							
	C_0	C_1	C_2	C_3	C_{12}	C_{13}	C_{23}	C_{123}
Д-1-4	226,2381	-21,127	0,6333	-1,0057	0,1698	0,1635	-0,012	-0,0016
Д-1-2	226,24	-21,13	0,63	-1,01	0,17	0,16	-0,01	—
Д-0-4	235	-22,4286	0,4857	-1,1333	0,1905	0,181	-0,009524	-0,0019
Д-0-2	235	-22,43	0,49	-1,13	0,19	0,18	-0,01	—
Д-1-4ц	226,2	-21,13	0,6333	-1,006	0,1698	0,1635	-0,012	-0,001587
Д-1-3ц	226	-21,1	0,633	-1,01	0,17	0,163	-0,012	-0,00159
Д-0-4ц	235	-22,43	0,4857	-1,133	0,1905	0,181	-0,009524	-0,001905
Д-0-3ц	235	-22,4	0,486	-1,13	0,19	0,181	-0,00952	-0,00191

С учётом принятых параметров натуральной модели строится план эксперимента в натуральных единицах, рассчитываются значения откликов во всех точках факторного пространства, которые сравниваются с экспериментальными данными исследуемого процесса.

По результатам сравнения определяются параметры, характеризующие адекватность натуральных моделей.

Заключение об адекватности модели оценивалось одновременно по двум критериям: Фишера F_H и Стьюдента t_H , наблюдаемые значения которых

$$F_H = S_{ад}^2 / S_{в0}^2 \text{ и } t_{Hu} = \left| \bar{Y}_0 - f_{0нтр} \right| / \sqrt{S_{в0}^2 / N},$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсии адекватности, $S_{ад}^2 = \frac{1}{N - (k + 1)} \left(\sum_{u=1}^N (Y_u - f_{u-нтр})^2 \right)$; $S_{в0}^2$ – дисперсия воспроизводимости (по опытам в центре плана).

Адекватность модели оценивалась по условию: $F_H < F_K$ и $t_H < t_K$.

С учётом рассчитанных параметров вариантов натуральных моделей рассчитаны значения откликов этих моделей по всем точкам плана. Как следует из анализа, неприемлемыми для применения являются натуральные модели вариантов с округлением параметров нормализованной модели до 2 знаков после запятой, т.е. моделей Д-1-2 и Д-0-2. Для этих вариантов среднее значение относительной погрешности порядка 57 %, а максимальное – более 200 %.

Для оценки адекватности натуральных моделей использованы два критерия: Фишера и Стьюдента (соответствующие им наблюдаемые значения F_H и t_H). А также используются косвенные параметры, характеризующие адекватность моделей: дисперсия ошибок, коэффициент корреляции и дисперсия адекватности $S_{ад}^2$, необходимая для расчёта наблюдаемого значения критерия Фишера F_H . Если учесть, что значения критериев равны соответственно $F_K = 7,355$ и $t_K = 2,336$, то

все рассматриваемые 8 моделей адекватны, так как для них выполняется условие $F_H < F_K$ и $t_H < t_K$. Небольшие превышения по критерию $t_H = 2,361$ для модели Д-0-3ц ($\Delta t_H = 0,025$).

Подводя итоги исследования влияния точности параметров моделей (нормализованной и натуральной) на их адекватность экспериментальным данным, можем сделать следующие выводы:

1. Принятые параметры нормализованной модели оказывают влияние как на адекватность нормализованной модели, так и на расчётные значения параметров натуральной модели и её адекватность. Поэтому принятые параметры нормализованной модели по значению должны быть близкими к расчётным, т.е. необходимо минимизировать погрешность $\Delta b_{\text{прнт}}$ принятия решения о назначении принятых параметров $b_{\text{прнт}}$.

2. Необходимо определить исходя из рассчитанных значений всех параметров натуральной модели количество значащих цифр – наибольшее количество цифр до запятой. Если максимальное количество значащих цифр до запятой меньше четырёх, то принять четыре. Если максимальное количество значащих цифр меньше единицы, то количество значащих цифр также принять равным четырём, но считать их количество начиная с первой значащей цифры после нуля.

3. Параметры натуральной модели, соответствующие нулевым параметрам нормализованной модели, автоматически приравниваются нулю. Все остальные рассчитанные параметры натуральной модели (отличные от нулевых значений) независимо от их абсолютного значения должны быть приняты с учётом количества значащих цифр.

4. Необходимо принимать значения параметров натуральной модели путём округления рассчитанных параметров, ориентируясь на выявленное наибольшее количество значащих цифр.

В принимаемых параметрах, значение которых больше нуля, в значащие цифры включаются все цифры до запятой плюс последующие после запятой. В принимаемых параметрах, значения которых меньше нуля, в значащие цифры включаются все цифры, начиная с первой цифры после «0» (цифра «0» в промежутке между другими считается значащей).

5. При принятии значений параметров натуральной модели путём округления до определённого количества значащих цифр необходимо проводить проверку адекватности натуральной модели, аналогичную проверке нормализованной модели по двум статистическим критериям: Фишера и Стьюдента, но в данном случае проводится сравнение откликов, найденных по уравнению натуральной модели, с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батрак, А. П. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие / А. П. Батрак. – Красноярск: ИПЦ СФУ, 2010. – 60 с.
2. Давыдов, В. М. Подходы к моделированию сопрягаемых поверхностей сплайнами / В. М. Давыдов, О. В. Прохорец, В. А. Языков // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2016. – № II-1(26). – С. 16-22.
3. Дьяченко, И. А. Исследование вариантов математического описания деформаций специального приспособления для зажима заготовки на станках с ЧПУ [Электронный ресурс] / И. А. Дьяченко, Ю. Г. Иванищев // Электронное научное издание «Учёные заметки ТОГУ». – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 48-59. – Режим доступа: http://ejournal/articles-2019/TGU_10_9.pdf (дата обращения: 14.12.2020).
4. Иванищев, Ю. Г. Планирование эксперимента и автоматизированная обработка: учеб. пособие / Ю. Г. Иванищев, В. М. Давыдов. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 118 с.
5. Основы планирования эксперимента: методическое пособие / сост. К. М. Хамханов. – Улан-Удэ, 2001. – 50 с.
6. Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении: справ. пособие / П. И. Ящерицын, Е. Н. Махаринский. – Минск: Высш. шк., 1985. – 286 с.

Пицык В. С., Дмитриев Э. А., Муравьев В. И.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФИЗИЧЕСКОГО КОНТАКТА НЕРАЗЪЁМНОГО СОЕДИНЕНИЯ,
СОЗДАННОГО ХОЛОДНОЙ ТУГОЙ ПОСАДКОЙ ВАЛА ВО ВТУЛКУ ИЗ СПЛАВА ОТ4-1

Пицык В. С., Дмитриев Э. А., Муравьев В. И.
V. S. Pitsik, E. A Dmitriev, V. I. Muravyev

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФИЗИЧЕСКОГО КОНТАКТА
НЕРАЗЪЁМНОГО СОЕДИНЕНИЯ, СОЗДАННОГО ХОЛОДНОЙ ТУГОЙ ПОСАДКОЙ
ВАЛА ВО ВТУЛКУ ИЗ СПЛАВА ОТ4-1**

**STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE PHYSICAL CONTACT
OF THE FIXED CONNECTION CREATED BY THE COLD TIGHT SEAT OF THE SHAFT
INTO THE BUSHING FROM OT4-1 ALLOY**

Пицык Виктор Сергеевич – аспирант кафедры машиностроения и металлургии Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mim@knastu.ru.

Viktor S. Pitsik – Post-Graduate Student, Mechanical Engineering and Metallurgy Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mim@knastu.ru.

Дмитриев Эдуард Анатольевич – доктор технических наук, доцент, ректор Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: rector@knastu.ru.

Eduard A. Dmitriyev – Doctor of Engineering, Associate Professor, Rector of Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: rector@knastu.ru.

Муравьев Василий Илларионович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mim@knastu.ru.

Vasily I. Muravyev – Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mim@knastu.ru.

Аннотация. В данной работе представлены исследования закономерностей изменения в процессе холодной тугой посадки с натягом 450 мкм в ПО НС образцов системы «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 в условиях номинального размера «втулки и вала» под действием возникающих напряжений: микроструктуры, микротвёрдости, распределения легирующих элементов, плотности дислокаций. Установлено, что выбранные условия холодной тугой посадки системы «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 с натягом 450 мкм способствуют первой стадии образования физического контакта на площади соприкосновения 60 % с существенным напряжённым состоянием в объёме приконтактной области. В процессе упругопластической деформации это создаёт благоприятные условия для образования качественного НС, т.е. получения общих зёрен и свойств в ПО физического контакта одинаковыми со свойствами основного металла.

Summary. This paper presents a study of the regularities of changes in the process of cold tight fit with an interference of 450 µm in the NS of samples of the «bushing and shaft» system made of OT4-1 alloy under conditions of the nominal size of the «sleeve and shaft» under the action of the arising stresses: microstructure, microhardness, distribution of alloying elements, and dislocation density. It was found that the selected conditions of cold tight fit of the «bushing and shaft» system made of OT4-1 alloy with an interference fit of 450 µm promotes the first stage of physical contact formation on the 60 % contact area with a significant stress state in the volume of the near-contact area. In the process of elastoplastic deformation, this creates favorable conditions for the formation of a high-quality NS, i.e. obtaining common grains and properties in the physical contact software similar to those of the base metal.

Ключевые слова: неразъёмные соединения, физический контакт, тугая посадка, сплав ОТ4-1, диффузия, микродюрметрия, пластические деформации, легирующие элементы.

Key words: one-piece connections, physical contact, tight fit, alloy OT4-1, diffusion, microdurometry, plastic deformation, alloying elements.

УДК 621.791.18

Титан и титановые сплавы находят широкое применение в современных летательных аппаратах благодаря их уникальным свойствам [1]. Достоинство титановых сплавов – возможность использования при сборке изделий неразъёмных соединений (НС), выполненных как сваркой плавлением [1; 2], так и диффузионной сваркой [3].

Однако использование этих методов для образования НС при сборке титановых конструкций связано с целым рядом проблем. Использование диффузионной сварки для образования НС при сборке титановых конструкций представляет определённый интерес. В особенности заслуживает внимания работа [4] по диффузионной сварке без приложения внешнего давления.

Цель настоящего исследования – оценить структуру и свойства приконтактной поверхности, образованной холодной тугой посадкой «втулка и вал» из заготовок титанового сплава ОТ4-1.

Методика проведения исследований. Для исследований использовали лист толщиной 12 мм из титанового сплава авиационного назначения марки ОТ4-1. Химический состав: Ti – 95,93; Al – 2,08; Zr – 0,192; Mn – 1,45; Si – 0,07; Fe – 0,116.

Заготовки «втулка и вал» высотой 10 мм, номинальные размеры диаметра вала и втулки составляли 8,8 мм.

Холодную тугую посадку (ТП) производили на испытательной машине Instron 3382 с постоянной скоростью 5 мм/мин. В работе [5] был выявлен максимальный натяг 450 мм, при котором площадь физического контакта составляла чуть больше 60 % от общей площади сопрягаемой поверхности. Исследование структурных изменений и свойств НС производили на этих образцах.

Химический состав определяли на оптико-эмиссионном анализаторе Q4 Matrix Analysis Results.

Измерения микротвёрдости осуществляли на микротвёрдомере Shimadzu HNV при величине нагрузки на индентер $P = 0,9807$ Н.

Микроструктуру исследовали на оптическом микроскопе Nikon Ma200 и растровом электронном микроскопе (РЭМ) Hitachi S 3400-N.

Плотность дислокаций определяли по методике, приведённой в работе [6].

Испытания на выpressовку, имитирующие испытания на срез цельных образцов по ГОСТ Р 50076-92, производили на испытательном комплексе Instron 3382.

Анализ распределения легирующих компонентов производили на растровом электронном микроскопе Hitachi S 3400-N в режиме точечного измерения химического состава в 12 точках на 4 участках шлифа.

Микрорентгеноспектральный анализ проводили на металлографическом исследовательском комплексе на базе EE-SEM Hitachi-SU-70 (Япония) с приставками энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализа (Thermo SirhtifiTC Ultra Dray).

Результаты исследований и их обсуждение. Как видно из данных рис. 1, а, г, д, е, в зоне сопряжения ПО НС из сплава ОТ4-1 в результате ТП заготовок системы «втулка-вал» наблюдается деформация зёрен под действием возникающих напряжений из-за номинального размера втулки и вала.

Микроструктура основного металла в исходном состоянии (см. рис. 1, б, в) неравноосная, вытянутая корзиночного типа, характерная для псевдо- α титанового сплава ОТ4-1.

Средний размер ширины области деформированной структуры составляет 193,4 мкм, при этом граница раздела теряет полностью чёткие очертания, в области деформированной структуры наблюдаются мелкие нитевидные несплошности. Причём размеры области измельчённой структуры и границы раздела на всей протяжённости непостоянны и изменяются от 126,42 до 260,38 мкм и неодинаковы для «втулки и вала» – видно, что область измельчённой структуры шире для «втулки» в 1,89 раза по сравнению с валом, что вызвано усилиями прессования.

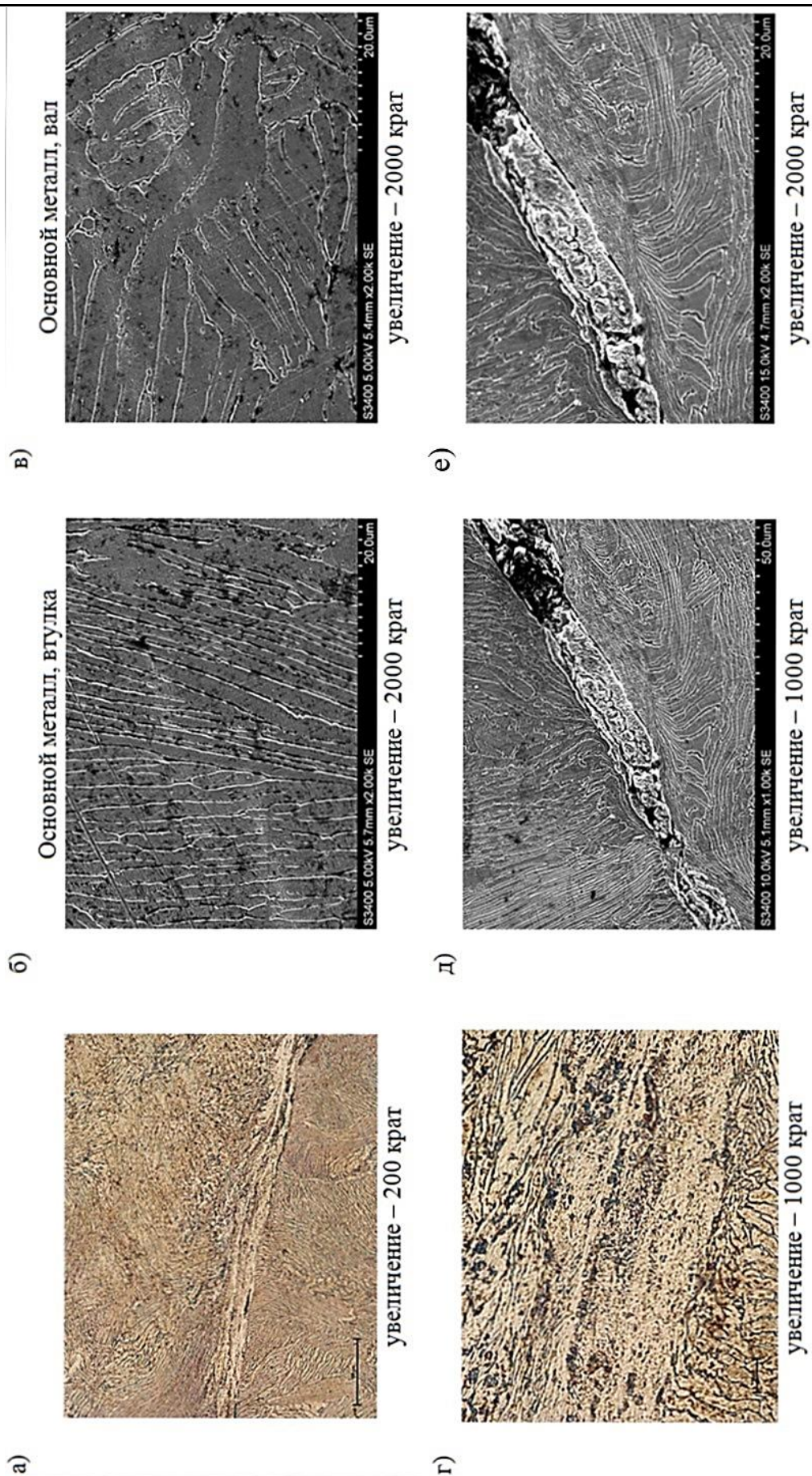


Рис. 1. Микроструктура ПО НС из сплава ОТ4-1 после холодной тугой посадки «втулки и вала»:

а, г – оптический микроскоп; б, в, д, е – РЭМ

Область физического контакта общая для «втулки» и «вала». Средний размер α -пластин изменяется в диапазоне от 1,8 до 2,1 мкм. Форма α -пластин компактная, равноосная, границы α -пластин выражены нечётко, что свидетельствует о высокой степени их деформации. Толщина области физического контакта непостоянна и изменяется в диапазоне от 4,73 до 12,84 мкм и имеет чёткие границы с измельчённой структурой приконтактной зоны как втулки, так и вала (см. рис. 1, д). Причём средняя ширина α -пластин – 1,11 мкм. Пластины имеют неравноосную вытянутую форму в направлении линии соединения, сильно развёрнуты относительно исходной структуры. Ширина этой зоны непостоянна на всей протяжённости соединения (диапазон от 3,92 до 16,22 мкм) и различна для «втулки» и «вала», значительно шире для «втулки». Ширина α -пластин в направлении к основному металлу увеличивается. Но при этом длина α -пластин в разы больше их ширины.

Исходя из наиболее распространённой в последнее время трёхстадийной теории образования твёрдофазных неразъёмных соединений [3; 7; 8] следует, что холодная тугая посадка «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 относится к первой стадии, а именно к стадии формирования физического контакта.

В материале ПО НС, полученного в условиях ТП заготовок системы «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 при натяге 450 мкм присутствуют несплошности. Наличие несплошностей ожидаемо, поскольку максимально возможное значение натяга (450 мкм) не обеспечивает 100 % площади физического контакта.

Из данных распределения микротвёрдости (см. рис. 2) видно, что максимальное упрочнение наблюдается в зоне физического контакта и превышает таковые значения основного металла более чем на 200 %. При этом наблюдается значительный разброс значений, которые носят как бы ступенчатый характер. Максимальный разброс значений микротвёрдости наблюдается на расстоянии от зоны сопряжения: для втулки – 60, 300, 800 мкм; для вала – 40, 400, 800 мкм. Подобная закономерность распределения микротвёрдости ПО НС «втулка и вал» свидетельствует о дискретности процесса образования очагов взаимодействия поля искажений кристаллической решётки в процессе упругопластической деформации, т.е. процесс образования НС является первой стадией образования физического контакта.

Высокие степени пластической деформации при тугей холодной посадке образцов «втулка» и «вал» из сплава ОТ4-1 с натягом 450 мкм обуславливает значительное упрочнение ПО НС. Как известно [9; 10], при этом ускоряются диффузионные процессы, генерация и движение в зону контакта дефектов кристаллической структуры (дислокаций и вакансий). Поэтому наблюдаются существенные изменения распределения основных легирующих элементов Al и Mn в ПО физического контакта в холоднопрессованных образцах из сплава ОТ4-1 с натягом 450 мкм (см. рис. 3).

Средние значения распределения содержания легирующих элементов Al и Mn в ПО физического контакта, как для «втулки», так и для «вала», укладываются в нормы по ГОСТ 19807-91, но не укладываются в границы разброса значений содержания Al и Mn для исходного материала, из которого изготовлены образцы (см. рис. 3).

Среднее значение распределения содержания легирующих элементов Al и Mn, определённое микрорентгеноспектральным анализом, не укладывается даже в нормы по ГОСТ 19807-91. Пластическая деформация при холодной тугей посадке образцов «втулка» и «вал» из сплава ОТ4-1 приводит к диффузионным процессам в ПО физического контакта, обуславливающим изменения распределения легирующих элементов. По величине разброса этих значений чётко прослеживаются процессы стадийности-дискретности их изменения под влиянием взаимодействия поля искажений кристаллической решётки в процессе упругопластической деформации.

Проведённый расчёт плотности дислокаций по методике [6] по результатам микродюрметрии показал чёткое влияние степени пластической деформации на распределение плотности дислокаций в материале ПО физического контакта, полученного в условиях холодной тугей посадки заготовок системы «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 при натяге 450 мкм. Результаты нашли полное совпадение с закономерностями изменения структуры, распределения легирующих элементов и микротвёрдости.

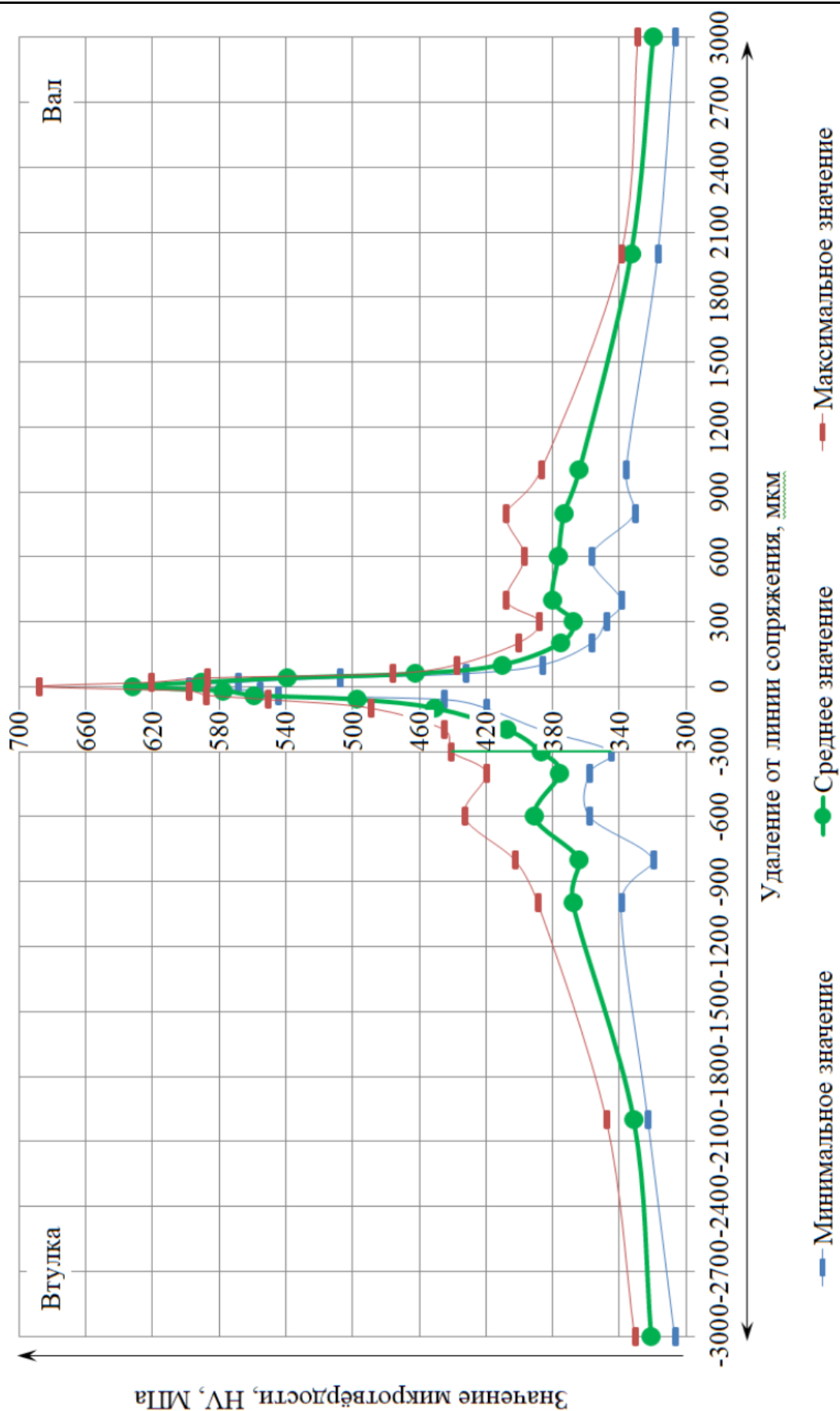


Рис. 2. Распределение микротвёрдости в материале приконтактной области неразъёмного соединения заготовки «втулка и вал», полученной холодной тугой посадкой с натягом 450 мкм

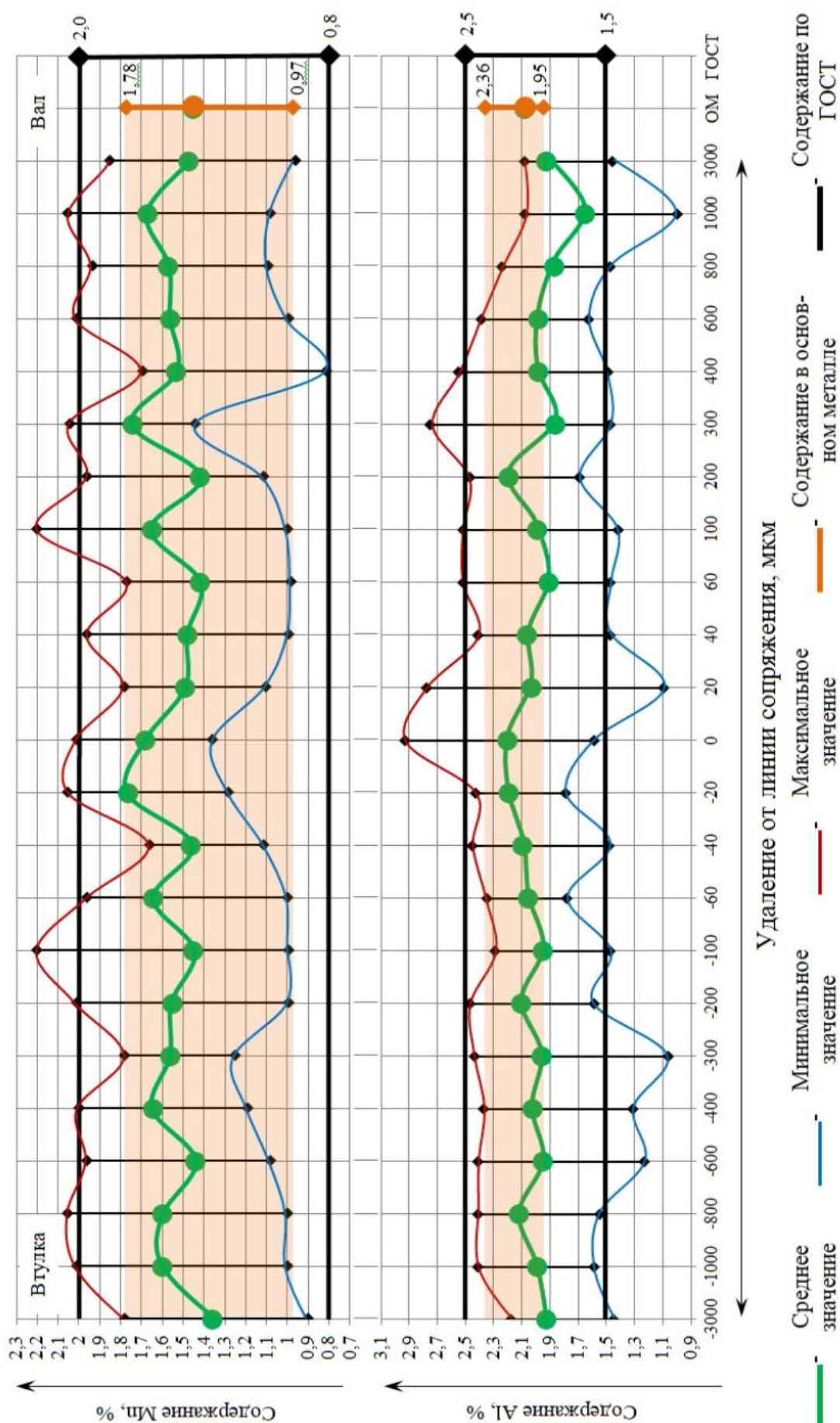


Рис. 3. Точечное распределение легирующих элементов Al и Mn в α -твёрдом растворе ПО ФК по сечению образца «втулка и вал», полученного холодной тугой посадкой с натягом 450 мкм, определённое на РЭМ

При испытании на выпрессовку образцов типа «втулка» и «вал» из сплава ОТ4-1 после холодной тугой посадки с натягом 450 мкм установлено, что прочность физического контакта увеличилась по сравнению с натягом 200 мкм более чем на 50 %, но по сравнению с прочностью основного металла она составляет всего 45 %.

Условиями холодной тугой посадки образцов «втулка» и «вал» из сплава ОТ4-1 достигнут физический контакт на площади 60 % сопрягаемой поверхности, поэтому наблюдается увеличение прочности по физическому контакту, но не достигается прочность основного металла.

Заключение. Исследованиями установлено, что пластическая деформация при ТП образцов системы «втулка и вал» из титанового сплава ОТ4-1 приводит к диффузионным процессам изменения распределения легирующих элементов, в частности Al и Mn в ПО физического контакта. По «скачкам» в изменении распределения средних значений содержания Al и Mn в ПО физического контакта, и в особенности по величине разброса, чётко прослеживаются процессы стадийности-дискретности и изменения под влиянием упругопластической деформации.

При этом выбранные условия холодной тугой посадки системы «втулка и вал» из сплава ОТ4-1 с натягом 450 мкм способствуют первой стадии образования физического контакта на площади соприкосновения 60 % с существенным напряжённым состоянием в объёме приконтактной области. В процессе упругопластической деформации это создаёт благоприятные условия для образования качественного НС, что требует проведения дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Муравьев, В. И. Эффективность применения титана и его сплавов в авиастроении / В. И. Муравьев, А. Г. Братухин, Б. И. Долотов // Авиационная промышленность. – 1997. – № 3-4. – С. 3-9.
2. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук и др. – Киев: Наукова думка, 1986. – 240 с.
3. Люшенский, А. В. Диффузионная сварка разнородных материалов: учеб. пособие / А. В. Люшенский. – М.: Академик, 2006. – 208 с.
4. Рерчиц, В. В. Вероятность образования соединения в твёрдой фазе при последовательном нагреве без приложения внешнего давления / В. В. Рерчиц, Г. Д. Никифоров, М. Х. Шоршоров // Сварочное производство. – 1979. – № 7. – С. 38-41.
5. Муравьев, В. И. Получение соединения втулка-вал запрессовкой с последующим спеканием / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, В. С. Пицык // Вестник машиностроения. – 2013. – № 12. – С. 73-79.
6. Репникова, Е. А. Физическое материаловедение / Е. А. Репникова. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 86 с.
7. Анализ процесса деформации металла в зоне соединений при диффузионной сварке титановых оболочковых конструкций / А. Б. Булков, В. В. Пешков, В. Р. Петренко, Д. Н. Балбеков // Сварочное производство. – 2011. – № 11. – С. 56-61.
8. Kundu, S. Structure and properties of solid state diffusion bonding of 17-4PH stainless steel and titanium / S. Kundu, S. Chatterjee, S.M. Bhola, B. Mishra // Materials Science and Technology. – 2014. – № 30. – P. 248-256.
9. Технология изготовления биметаллических переходников аустенитная сталь – сплав α -титана / А. Н. Семенов, С. Н. Новожилов, Ю. С. Черепнин, М. И. Плышевский, Н. С. Рассошкина, А. А. Уваров // Сварочное производство. – 2014. – № 4. – С. 42-48.
10. Sheng, G. Effect of interlayer type on microstructure and mechanical property of impulse pressuring diffusion bonded joints in austenitic stainless steel to α ti-tanium alloy / G. Sheng, X. Yuan, K. Tang // Materials Research Innovations. – 2013. – № 17. – P. 186-189.



Феоктистов С. И.
S. I. Feoktistov

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТЯГИВАЮЩИХ УСИЛИЙ ВДОЛЬ ОБРАЗУЮЩЕЙ ПУАНСОНА С УЧЁТОМ ТРЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ

DETERMINATION OF TENSILE FORCES ALONG THE GENERATRIX PUNCH TAKING INTO ACCOUNT FRICTION DURING BENDING WITH STRETCHING

Феоктистов Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Авиационное строительство» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27. E-mail: serg_feo@mail.ru.

Sergey I. Feoktistov – Doctor of Engineering, Professor, Aircraft Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: serg_feo@mail.ru.

Аннотация. В работе рассмотрен метод численного определения распределения растягивающих усилий вдоль образующей пуансона при дискретном задании геометрии пуансона, что даёт возможность в дальнейшем учитывать влияние трения между заготовкой и пуансоном на точность изготовления детали методом изгиба с растяжением.

Summary. The paper considers a method for the numerical determination of the distribution of tensile forces along the generatrix of the punch with discrete specification of the geometry of the punch, which makes it possible to further take into account the effect of friction between the workpiece and the punch on the accuracy of manufacturing a part by bending with tension.

Ключевые слова: изгиб с растяжением, растягивающие усилия, трение, заготовка, пуансон.

Key words: bending with stretching, tensile forces, friction, billet, punch.

УДК 621.7.01

Среди деталей авиационных конструкций существует класс тонкостенных деталей, которые изготавливают на обтяжных прессах с числовым программным управлением. Это детали типа обшивок и элементов шпангоутов, которые получают методом изгиба с растяжением из листовых и профильных заготовок. Указанные детали формируют теоретический контур летательного аппарата, и к ним предъявляются высокие требования по точности. Изготовление деталей с заданной точностью геометрических параметров их формы обеспечивается соответствующей оснасткой технологического процесса и кинематикой управляющих органов обтяжного пресса. Для формообразования заготовок на обтяжных прессах в качестве технологической оснастки используется обтяжной пуансон (см. рис. 1).

Обтяжные прессы обеспечивают реализацию различных схем формообразования обшивок одинарной и двойной кривизны [1; 2].

Процесс формообразования деталей на прессах может осуществляться по трём схемам:

- предварительное растяжение с последующим изгибом (Р-И);
- изгиб с последующим калибрующим растяжением (И-Р);
- предварительное растяжение, последующий изгиб и дополнительное калибрующее растяжение (Р-И-Р).

Наибольшую точность обеспечивает гибка с растяжением по второй (И-Р) и третьей схеме (Р-И-Р). Однако при этом отрицательную роль играет трение между гибочным пуансоном и заготовкой, так как происходит неравномерное распределение усилия растяжения по образующей пуансона (в средней части усилие растяжения минимально, в точках сбега – максимально), что при-

водит к неодинаковому пружинению для различных частей заготовки после снятия внешней нагрузки.

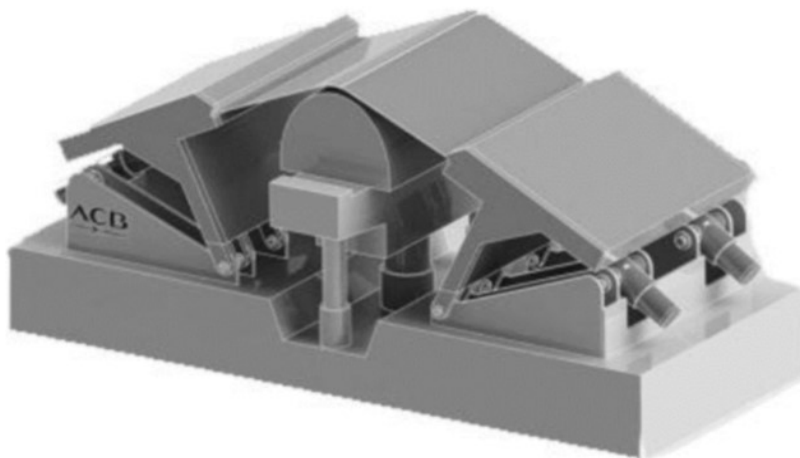


Рис. 1. Обтяжка листовой заготовки на обтяжном прессе

Для оценки влияния сил трения на точность изготовления деталей методом изгиба с растяжением на обтяжных прессах необходимо знать, как изменяется усилие калибрующего растяжения вдоль образующей пуансона. Для решения этой задачи рассмотрим силовую схему распределения усилий растяжения вдоль образующей обтяжного пуансона при наличии трения (см. рис. 2).

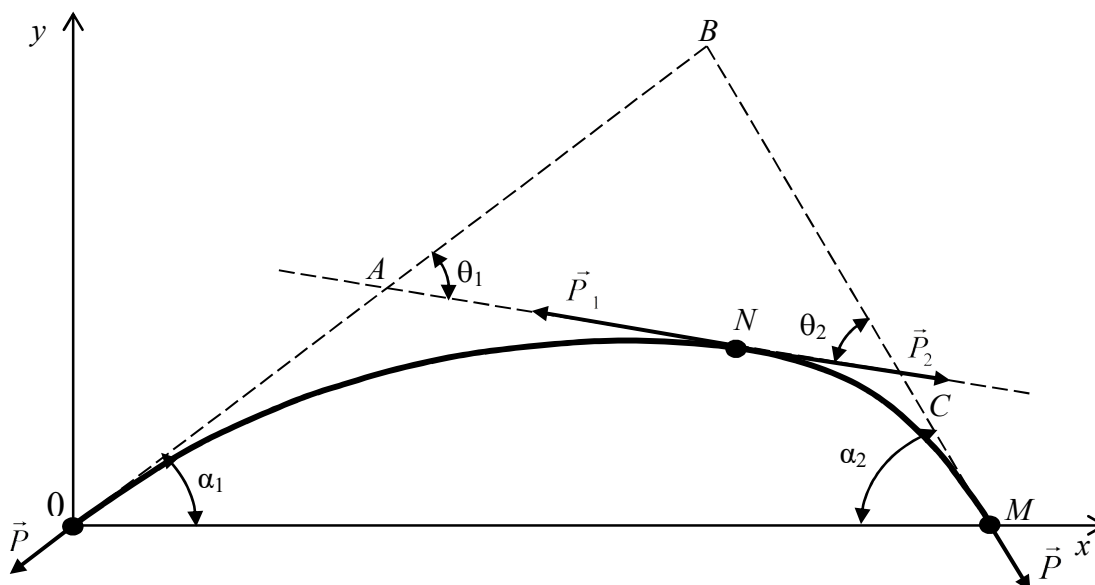


Рис. 2. Силовая схема распределения усилий вдоль образующей обтяжного пуансона при наличии трения

Усилия растяжения в произвольной точке обшивки с учётом трения, действующие справа и слева, могут быть выражены формулой Эйлера:

$$\begin{cases} P_1 = P \cdot \exp(-f_{\text{тр}} \cdot \theta_1) \\ P_2 = P \cdot \exp(-f_{\text{тр}} \cdot \theta_2) \end{cases} \quad (1)$$

где P – усилие калибрующего растяжения (считаем, что эти усилия справа и слева равны); $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения между заготовкой и обтяжным пуансоном; P_1 и P_2 – усилия растяжения, действующие слева и справа; θ_1 и θ_2 – углы охвата пуансона.

Определим положение точки N (см. рис. 2), в которой силы растяжения справа и слева уравниваются с учётом сил трения и принимают минимальное значение P_{min} .

Из формул (1) следует, что $P_1 = P_2 = P_{\text{min}}$ в том случае, если $\theta_1 = \theta_2 = \theta$.

Тогда (см. рис. 1)

$$\theta = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2, \quad (2)$$

где α_1 и α_2 – углы, определяющие направление действия калибрующих растягивающих сил, которые направлены по касательной в крайних точках к кривой, образующей поверхность пуансона.

Зная уравнение кривой, описывающей геометрию сечения пуансона, можно теоретически определить положение точки N из условия, что прямая AC является касательной и углы θ_1 и θ_2 равны. Также теоретически можно определить, как изменяется величина усилия растяжения вдоль образующей пуансона и величина минимального усилия растяжения заготовки:

$$P_{\text{min}} = P \cdot \exp(-f_{\text{тр}} \cdot \theta). \quad (3)$$

Если кривая, описывающая геометрию сечения пуансона, задана численно, то определять усилие растяжения в каждой заданной точке с учётом трения между заготовкой и обтяжным пуансоном тоже нужно численно.

Для определения влияния трения на величину усилия растяжения предварительно рассмотрим такую задачу: определить усилие P , необходимое для перетягивания через ребро B призмы ABC гибкого элемента (каната, листа, профиля), к другому концу которого приложено некоторое заданное сопротивление Q (см. рис. 3).

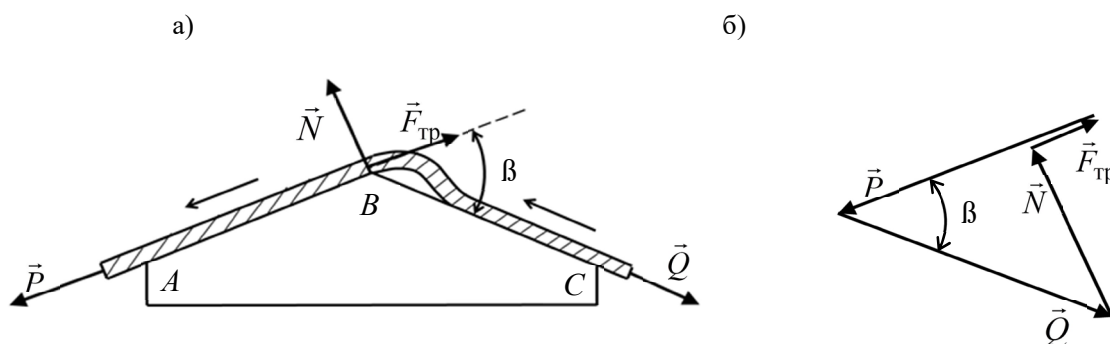


Рис. 3. Схема перетягивания гибкого элемента через ребро призмы

Задачу будем решать по аналогии с решением задачи «Трение каната о шкив» [3, 82-84].

Коэффициент трения гибкого элемента о ребро призмы равен $f_{\text{тр}}$, внешний угол призмы равен β , трением гибкого элемента о грани AB и BC пренебрегаем, считая реакцию поверхности сосредоточенной в точке B . Ветви гибкого элемента растянуты силами \vec{P} и \vec{Q} . Точка B гибкого элемента находится в равновесии под действием указанных сил \vec{P} , \vec{Q} и реакций ребра \vec{R} . Реакция \vec{R} в свою очередь может быть разложена на давление \vec{N} ребра призмы на гибкий элемент и на силу трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленную перпендикулярно к силе \vec{N} . Если бы мы знали направление давления \vec{N} , то задачу легко было бы решить. Но в точке B нет определённой нормали к поверхности призмы, точно так же неизвестна форма гибкого элемента, соприкасающегося с ребром. Здесь мы встречаемся с задачей неопределённой: по одной заданной силе \vec{Q} и направлению второй силы \vec{P}

треугольник сил \vec{P} , \vec{Q} , \vec{R} построить нельзя. Чтобы сделать задачу определённой, необходимо принять какие-то дополнительные гипотезы о направлении силы \vec{N} . Так, например, если принять во внимание жёсткость гибкого элемента, т. е. его сопротивление изгибу при переходе через ребро призмы, то можно себе представить, что гибкий элемент при перетягивании его в направлении стрелки силой \vec{P} примет форму, указанную на рис. 3, а, и считать, что реакция N направлена перпендикулярно к грани AB .

Составляя силовой многоугольник \vec{P} , \vec{Q} , \vec{N} , $\vec{F}_{\text{тр}}$ (см. рис. 3, б), получаем

$$P - F_{\text{тр}} = Q \cos \beta, \quad N = Q \sin \beta.$$

Ограничиваясь рассмотрением критического момента равновесия, полагаем $F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} N$. Тогда получим

$$P = Q(\cos \beta + f_{\text{тр}} \sin \beta).$$

При малых β ($\sin \beta \approx \beta$, $\cos \beta \approx 1$) будем приближённо иметь

$$P = Q(1 + f_{\text{тр}} \beta) \quad (4)$$

или

$$Q = \frac{P}{(1 + f_{\text{тр}} \beta)}. \quad (5)$$

Для численного определения распределения усилий вдоль образующей делим образующую пуансона на M элементарных отрезков слева направо. Следует отметить, что отрезки могут быть разной длины и число точек разбиения образующей будет $(M+1)$. Схема распределения усилий вдоль образующей пуансона представлена на рис. 4.

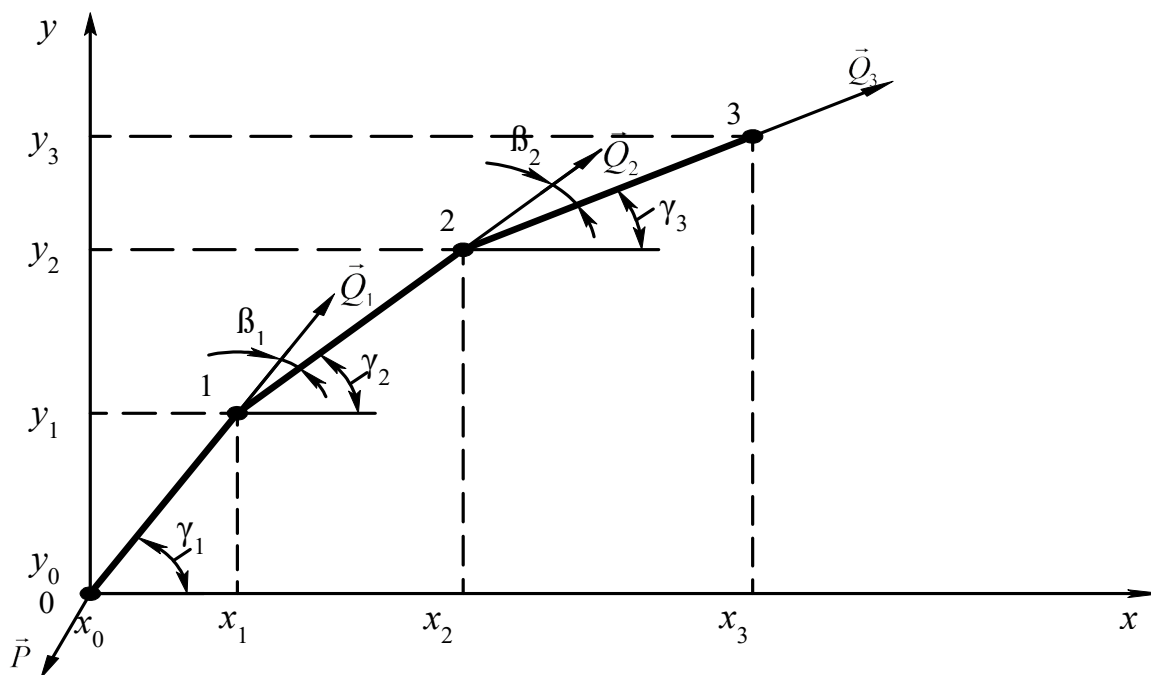


Рис. 4. Схема распределения усилий вдоль образующей (левая часть обтяжного пуансона)

Задачу об определении растягивающих калибрующих усилий вдоль образующей пуансона с учётом трения проводят следующим образом.

Первоначально определяют углы наклона элементарных отрезков, на которые разбита образующая пуансона, по формулам

$$\begin{cases} \gamma_1 = \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right) = \alpha_1 \\ \dots \\ \gamma_k = \arctg\left(\frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}\right) \\ \dots \\ \gamma_M = \arctg\left(\frac{y_M - y_{M-1}}{x_M - x_{M-1}}\right) = -\alpha_2 \end{cases},$$

где γ_k – угол наклона k -го отрезка; γ_1 – угол наклона 1-го отрезка, который равен углу α_1 и определяет направление растягивающей силы \vec{P} слева; γ_M – угол наклона крайнего M -го отрезка, который равен углу α_2 с отрицательным знаком и определяет направление растягивающей силы \vec{P} слева (см. рис. 1).

Зная углы α_1 и α_2 и используя формулы (2) и (3), определяем значения минимального растягивающего усилия P_{\min} .

Углы β определяются по формулам

$$\begin{cases} \beta_1 = \gamma_1 - \gamma_2 \\ \dots \\ \beta_k = \gamma_k - \gamma_{k+1} \\ \dots \\ \beta_{M-1} = \gamma_{M-1} - \gamma_M \end{cases},$$

где β_k – внешний угол между рассматриваемым k -м отрезком и следующим $(k+1)$ -м (см. рис. 3).

Следует обратить внимание на то, что углов β можно определить на один меньше, чем отрезков, то есть $(M-1)$.

После определения углов β приступаем к определению усилий растяжения в каждом выделенном отрезке с учётом трения между заготовкой и пуансоном по формуле (5):

$$\begin{cases} Q_1 = P; \\ Q_2 = \frac{Q_1}{1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_1} \\ \dots \\ Q_k = \frac{Q_{k-1}}{1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_{k-1}} \\ \dots \\ Q_N = \frac{Q_{N-1}}{1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_{N-1}} \approx P_{\min} \end{cases},$$

где Q_1 – усилие растяжения, действующее в 1-м отрезке; Q_k – усилие растяжения, действующее в k -м отрезке, которое уменьшается при переходе от отрезка к отрезку слева; Q_N – усилие растяже-

ния в отрезке, граничащем с точкой N , в которой силы растяжения справа и слева уравниваются с учётом сил трения и принимают минимальное значение P_{\min} (см. рис. 1).

Расчёт по формулам (3) продолжают до тех пор, пока выполняется условие

$$Q_k \geq P_{\min}.$$

После того как это условие нарушается, расчёт продолжают по формулам, позволяющим определить усилие, необходимое для перетягивания гибкого элемента вправо через ребро призмы с учётом трения, т. е. по формуле (4):

$$\begin{cases} Q_{N+1} = Q_N(1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_N) \\ \dots \\ Q_k = Q_{k-1}(1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_{k-1}) \\ \dots \\ Q_M = Q_{M-1}(1 + f_{\text{тр}} \cdot \beta_{M-1}) \approx P \end{cases},$$

где Q_k – усилие растяжения, действующее в k -м отрезке, которое увеличивается при переходе от отрезка к отрезку слева; Q_M – усилие растяжения в крайнем справа отрезке, которое принимает значение, близкое к усилию растяжения P (см. рис. 1).

Правильность расчётов определяется соблюдением равенства $Q_M = P$.

Для проверки точности предлагаемой методики были проведены расчёты распределения усилий вдоль образующей пуансона с учётом трения в случае, когда образующая пуансона представляла дугу эллипса.

Зная уравнения кривой, образующей контур пуансона, можно теоретически определить углы α_1 , α_2 и θ , а также значение P_{\min} и координаты точки N .

Численные расчёты проводились в Mathcad при разбиении образующей пуансона на 100 элементарных отрезков. Усилие калибрующего растяжения принималось равным 1000 кН, коэффициент трения между заготовкой и пуансоном – 0,25.

Геометрия пуансона и рассчитанное изменение калибрующих усилий растяжения вдоль образующей пуансона с учётом трения представлены на рис. 5 и 6.

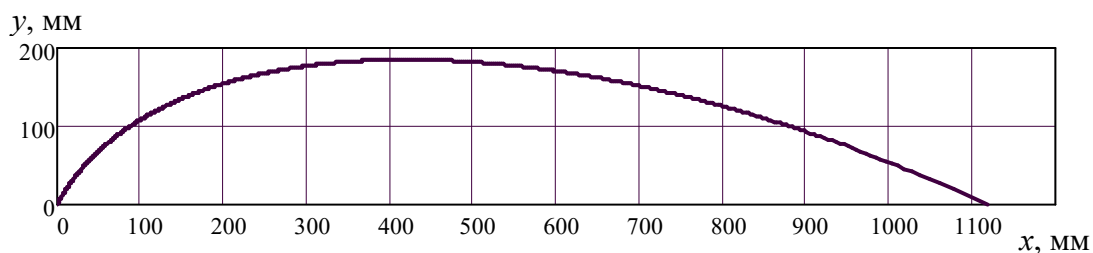


Рис. 5. Геометрия пуансона (образующая задана дугой эллипса)

Как показал сравнительный анализ теоретических вычислений и численных расчётов, погрешность при определении координаты точки N составляет 0,96 %, погрешность определения P_{\min} – 0,57 % и погрешность определения усилия растяжения заготовки в крайнем правом отрезке Q_M – 0,48 %.

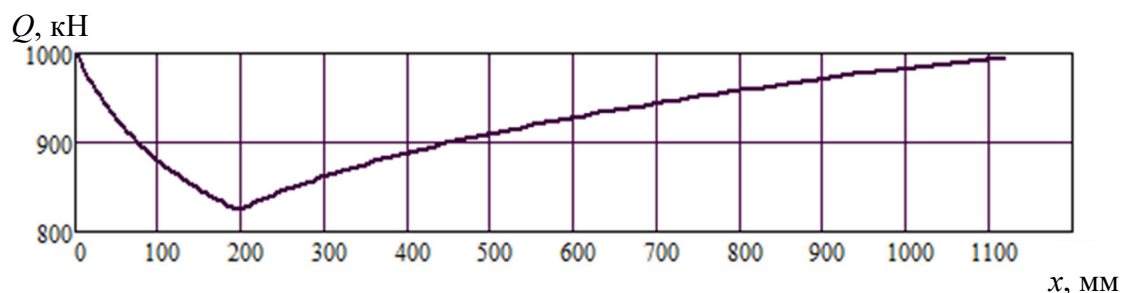


Рис. 6. Изменение калибрующих усилий растяжения вдоль образующей пуансона с учётом трения (усилия растяжения на краях заготовки $P = 1000$ кН, $f_{\text{тр}} = 0,25$)

Таким образом, предложенный метод определения распределения растягивающих усилий вдоль образующей пуансона с учётом трения является весьма эффективным и позволяет с большой точностью определить влияние трения на изменение технологических параметров процесса изгиба с растяжением как листовых, так и профильных заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погарцева, М. М. Методика создания управляющих программ для обтяжных прессов, применяемых в авиационной промышленности / М. М. Погарцева // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – Т. 18. – № 2. – С. 404-414.
2. Бормотин, К. С. Численный метод оптимизации кинематической схемы формообразования панелей двойной кривизны / К. С. Бормотин, К. Е. Герасимов, М. И. Романютин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 59-69.
3. Лойцянский, Л. Г. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 1 / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – 8-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с.

Щелкунов Е. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Е., Карпенко В. А., Красиков Н. А.
E. B. Shchelkunov, S. V. Vinogradov, M. E. Schelkunova, V. A. Karpenko, N. A. Krasikov

МЯГКИЕ РОБОТЫ

SOFT ROBOTS

Щелкунов Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ktm@knastu.ru.

Evgeny B. Shchelkunov – PhD in Engineering, Associate Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktm@knastu.ru.

Виноградов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационной безопасности, информационных систем и физики» Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Sergey V. Vinogradov – PhD in Engineering, Associate Professor, Information Security, Information Systems and Physics Department, Amur State Humanitarian Pedagogical University (Komsomolsk-on-Amur, Russia). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Щелкунова Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование, управление и разработка информационных систем» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Marina E. Shchelkunova – PhD in Engineering, Associate Professor, Design, Management and Development of Information System Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Карпенко Владимир Анатольевич – студент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: volodya.karpenko.89@mail.ru.

Vladimir A. Karpenko – Student, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: volodya.karpenko.89@mail.ru.

Красиков Николай Анатольевич – студент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kolya.97-05@mail.ru.

Nikolai A. Krasikov – Student, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kolya.97-05@mail.ru.

Аннотация. Мягкая робототехника является активно развивающимся направлением робототехники. В работе проведён обзор существующих и концептуальных моделей мягких роботов, свидетельствующий об актуальности развития мягкой робототехники для применения в различных областях техники и технологии. Предложена классификация мягких роботов, учитывающая следующие классификационные признаки: жёсткость; вид применяемого привода; вид выполняемых движений; количество секций; количество степеней свободы – а также различия внутри перечисленных групп.

Summary. Soft robotics is an actively developing field of robotics. The paper reviews the existing and conceptual models of soft robots, indicating the relevance of the development of soft robotics for use in various fields of engineering and technology. A classification of soft robots is proposed, taking into account the following classification features: rigidity; type of drive used; the type of movements performed; number of sections; the number of degrees of freedom; as well as differences within the listed groups.

Ключевые слова: мягкий робот, мягкий схват, привод, степень свободы, эластомер.

Key words: soft robot, soft gripper, drive, degree of freedom, elastomer.

УДК 621.865

Одним из развивающихся перспективных направлений современной робототехники является мягкая робототехника.

Мягкие роботы – подвижные устройства с гибкими связями, основанные на принципах биомеханики, имитирующие движения мягких гибких живых существ – змей, гусениц, щупальца осьминогов, хобот слона и др.

Область применения мягких роботов может быть весьма разнообразна:

- медицина (проведение внутреннего обследования пациентов, выполнение сложных операций внутри тела пациента) [1-4];

- биологические исследования (моделирование поведения живых беспозвоночных организмов, которые невозможно выполнить на оригинальных биологических аналогах, глубоководная разведка с отбором проб) [5];

- промышленное производство (манипулирование различными объектами при минимальной опасности для окружающих, проникновение в труднодоступные места) [6-10];

- военное применение, например разведка, и др.

Размеры мягких бионических роботов в зависимости от назначения могут варьироваться от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Мягкие роботизированные механизмы могут использоваться в качестве части более крупного потенциально жёсткого механизма. Например, мягкий схват может быть установлен на роботе традиционной конструкции для манипулирования объектами, требующими деликатного обращения (хрупкие; нежёсткие либо мягкие предметы).

Для создания исполнительных устройств мягких роботов применяют различные эластомеры. Благодаря применению мягких материалов в конструкции подвижных элементов такие роботы более безопасны, чем роботы традиционной конструкции.

В настоящее время существуют работы, посвящённые исследованиям в области мягкой робототехники, разработке концептуальных моделей роботов, их элементов и полимерных материалов [1-17]. Обзор этих работ позволил провести классификацию мягких роботов по следующим признакам:

1. Вид применяемого привода:

- пневматический;
- электромеханический (тросовый);
- приводы, основанные на физических и химических свойствах материалов (например, эффект памяти формы, магнитные свойства и др.).

2. Количество степеней свободы:

- одностепенные;
- многостепенные.

3. Количество секций:

- односекционные;
- многосекционные с одинаковыми либо разными секциями. Секции робота могут отличаться размером, количеством степеней свободы.

4. Жёсткость:

- с применением в конструкции элементов (детали приводов, платы управления, элементы каркаса), выполненных из металла, жёсткого пластика и других жёстких материалов;
- без применения жёстких материалов в конструкции.

Мягкие пневматические устройства с одной степенью свободы часто применяются в конструкции схватов промышленных роботов. На рис. 1, а показан элемент мягкого схвата (пальца), представляющий собой герметичный резервуар, выполненный из желатинового геля [10]. Одна из стенок резервуара выполнена в виде гофры. Противоположная гладкая стенка более жёсткая. При нагнетании воздуха в полость пальца камеры гофры раздуваются, а сам палец изгибается (рис. 1, б).

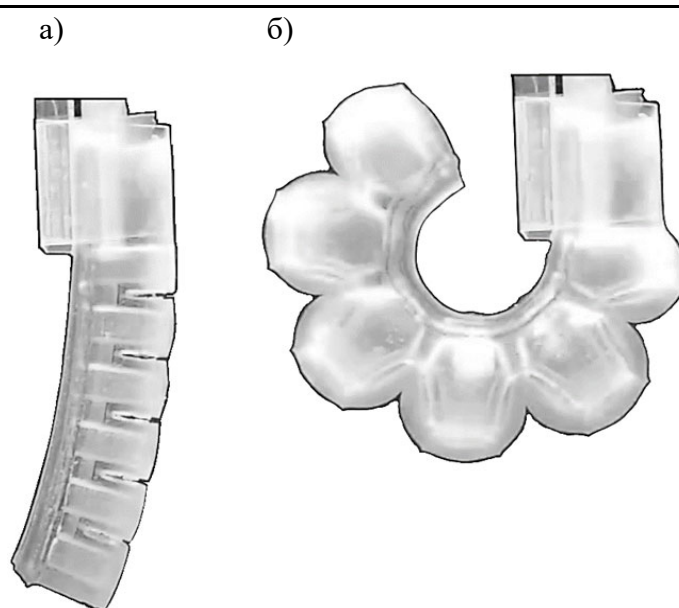


Рис. 1. Элемент мягкого схвата

Несколько пальцев, собранных в единую конструкцию, составляют схват робота. На рис. 2 показаны варианты размещения мягких пальцев схвата на жёсткой основе [6].

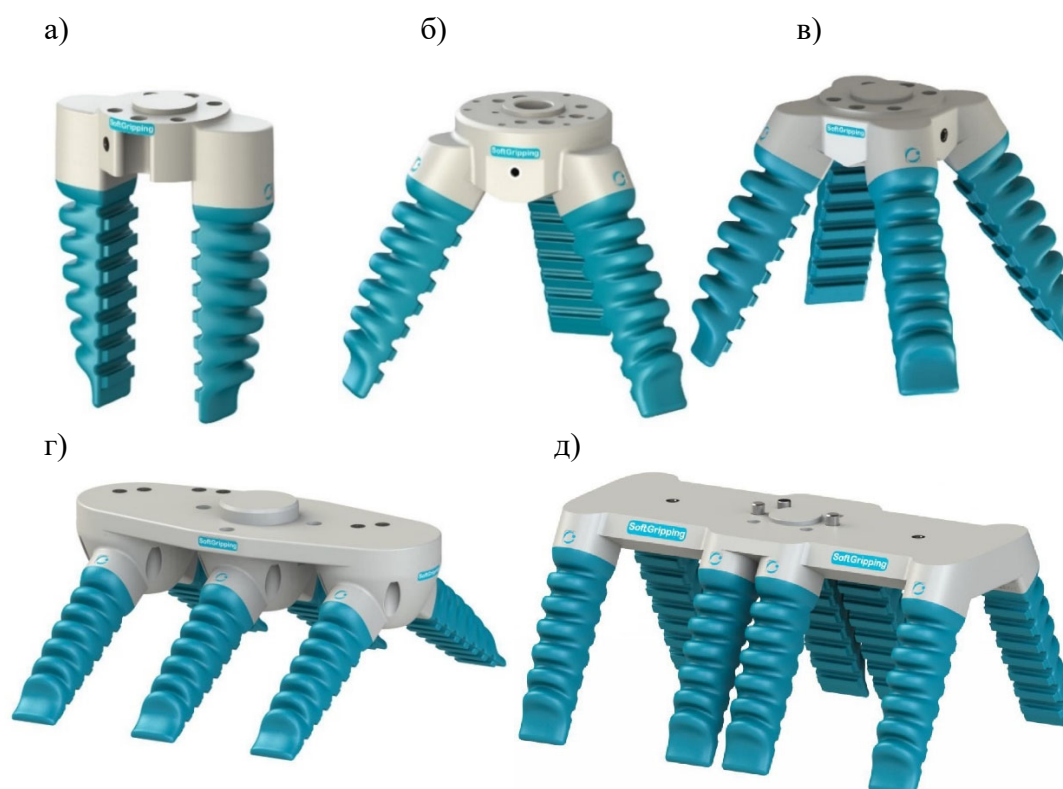


Рис. 2. Схваты производства Direct INDASTRI с двумя (а), тремя (б), четырьмя (в), шестью (г) и восемью (д) пальцами

Многостепенные мягкие манипуляционные устройства строятся, как правило, на принципах параллельной кинематики, где все перемещения рабочего органа реализуются путём согласованного движения параллельно расположенных кинематических цепей. Роль кинематических цепей здесь выполняют гофрированные трубки, собранные параллельно в секции. При равномерном

нагнетании воздуха во все гофрированные трубки, составляющие секцию, происходит равномерное удлинение секции в осевом направлении. Создание давления в одной трубке обеспечивает изгиб секции подобно тому, как это происходит в устройствах с одной степенью свободы.

При последовательном соединении нескольких секций в одну конструкцию образуются многосекционные устройства. На рис. 3, *а* показан манипулятор типа «хобот» производства Festo's Bionic Learning Network [9], состоящий из четырёх последовательно расположенных секций 1-4. Секции отличаются друг от друга по длине и диаметру гофрированных трубок, в каждой секции – по три трубки. Секции разделены пластинами 6, 7, 8. На рис. 3, *б*, *в* показаны положения хобота при создании одинакового (см. рис. 3, *б*) и разного давления (см. рис. 3, *в*) в гофрированных трубках одной из секций.

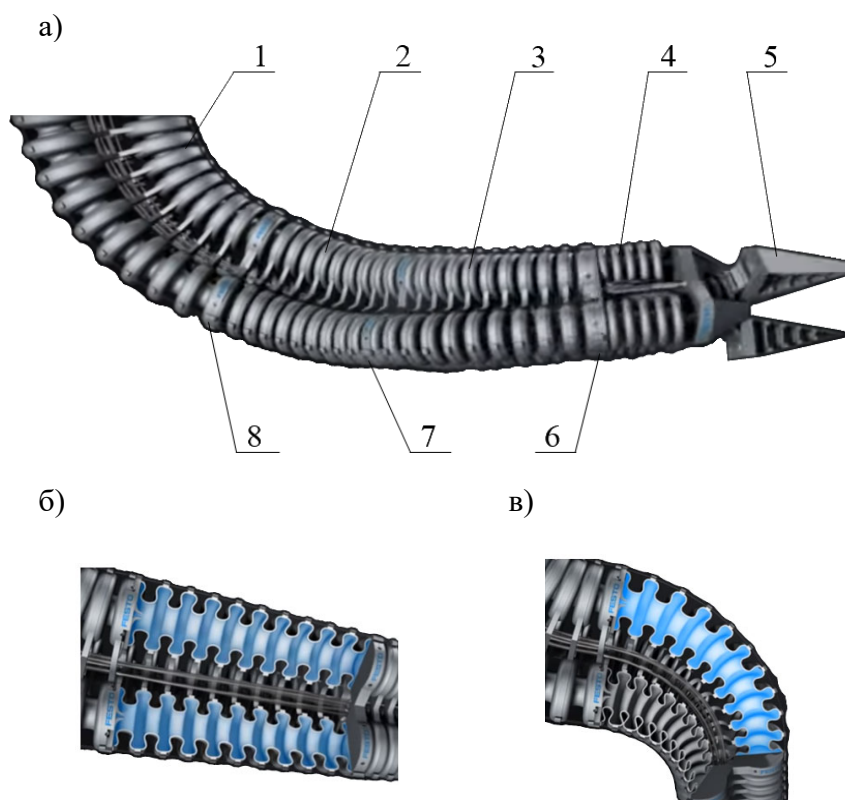


Рис. 3. Манипулятор типа «хобот» производства Festo's Bionic Learning Network [9]

Одним из недостатков роботов данного типа, ограничивающим их применение в узких труднодоступных местах, является то, что для выполнения движения они раздуваются, увеличиваясь в поперечном сечении.

Разновидностью мягких роботов являются роботы-оригами, названные так за способность менять форму по заранее намеченным складкам. Обычно роботы-оригами имеют внешнюю эластомерную оболочку и внутреннюю (скелетную) гибкую структуру, выполненную из бумаги, ткани, полимерной плёнки, нейлоновой или металлической сетки [4].

Достоинствами роботов-оригами являются: простота в изготовлении, небольшой вес, высокая грузоподъёмность. Наличие гибкой скелетной структуры обеспечивает возможность совершать разнообразные движения: сжиматься как гармошка (см. рис. 4, *а*), изгибаться (см. рис. 4, *б*), скручиваться. Управление движениями робота происходит путём накачивания либо откачивания воздуха из внутренней полости робота.

На рис. 5, *а* показан схват робота (разработка Массачусетского технологического института и Гарварда), выполненный в виде складывающегося купола [8].

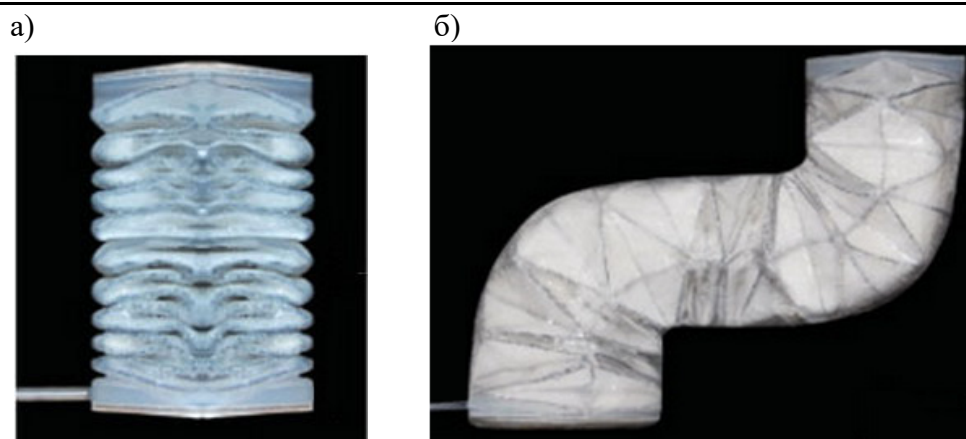


Рис. 4. Движения робота-оригами [4]

Механизм схвата (см. рис. 5, а) состоит из каркаса 2 на основе оригами, воздухонепроницаемой оболочки 1. Каркас может быть покрыт тонким слоем резины либо ткани. Под оболочку подается воздух. В зависимости от направления потока воздуха оболочка купола открывается и закрывается, как цветок. Для захвата объекта воздух из оболочки откачивается, в результате чего купол плотно охватывает перемещаемый объект. Схват способен поднимать и удерживать предметы размером до 70 % своего диаметра и весом, превышающим собственный до 100 раз.

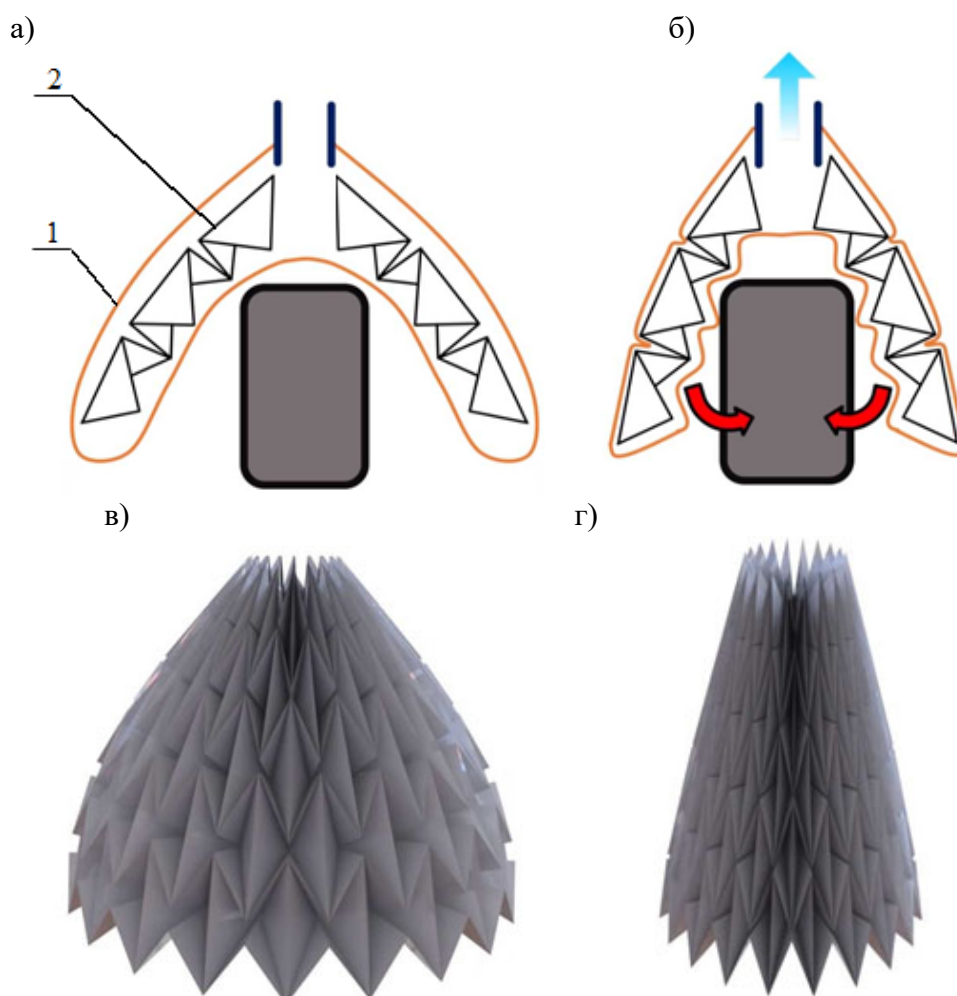


Рис. 5. Схват на основе оригами [8]

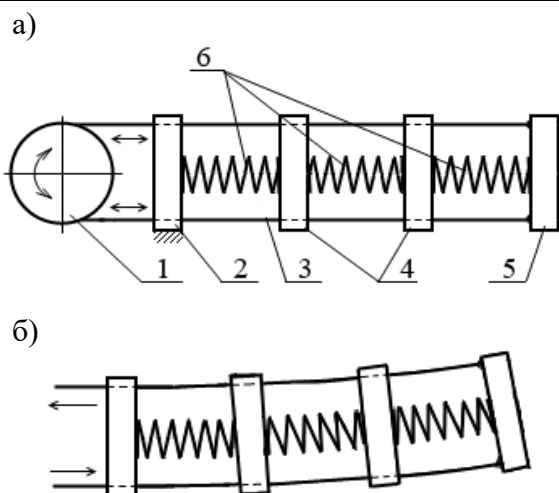


Рис. 6. Схема тросового устройства с управляемой деформацией

манипуляционные системы типа «хобот».

В отличие от пневматических устройств с тросовым приводом при перемещениях площадь поперечного сечения не меняется, благодаря чему они могут применяться в приводах эндоскопов, используемых в медицине, диагностике инженерных систем, приводах роботов для глубоководной разведки и др. [3, 5].

На рис. 7, 8, 9 показаны мягкие роботы, движение которых основано на физических свойствах применяемых в них материалов.

Тело медицинского робота (см. рис. 7) для внутреннего обследования пациентов (разработка инженеров колорадского университета в Боулдере) представляет собой мягкую трубку, состоящую из независимых секций 1, 2, 3. В каждой секции располагается по три спирали 5, 6, 7, выполненных из материала с механической памятью формы [1]. При нагреве спирали расширяются и сокращаются, а при охлаждении воздухом, подаваемым по трубкам 4, сужаются и вытягиваются. Движение робота происходит благодаря поочередному нагреванию и охлаждению спиралей в каждой секции. Поочередное сжатие и вытягивание секций робота напоминает движение червя.

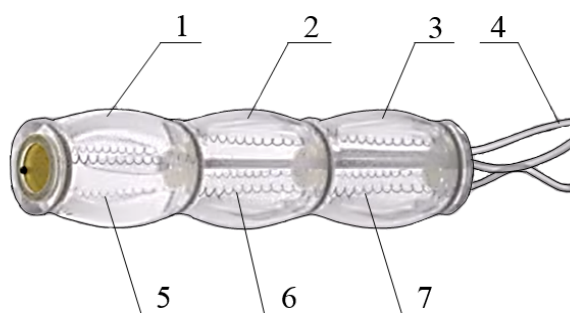


Рис. 7. Медицинский робот

На рис. 8 показана идея робота-оригами, движение которого основано на свойстве газов расширяться при нагревании [4]. Тело робота представляет собой замкнутую камеру с пятью продольными складками, наполненную газом (см. рис. 8, а). Стенки робота выполнены многослойными: слой бумаги, слой эластомера группы Ecoflex, слой алюминиевой фольги, второй слой эластомера и второй слой бумаги (см. рис. 8, в). Верхняя 1 и нижняя 4 стенки камеры 3 выполнены из алюминия (см. рис. 8, г). Внутри камеры установлен светодиод 2, на который подаётся напряжение. Излучаемый светодиодом свет нагревает алюминиевую фольгу, а она в свою очередь нагревает газ, находящийся в камере. Под возрастающим давлением газа стенки камеры раздуваются (см.

рис. 8, б). Жёсткая основа оригами ограничивает степень расширения, зависящую от величины подаваемого напряжения.

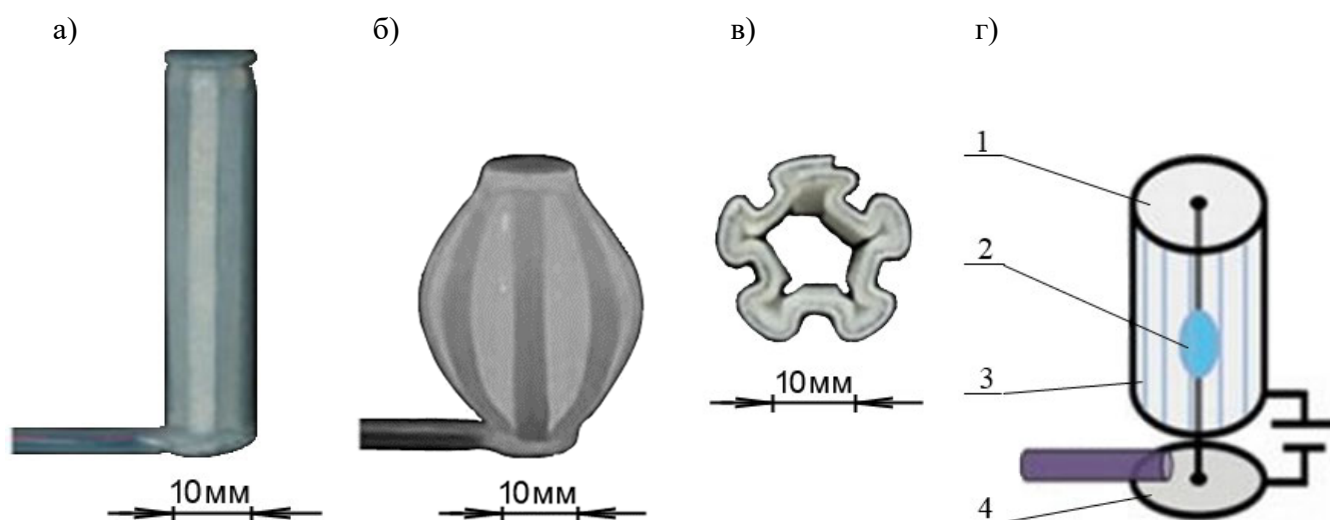


Рис. 8. Робот-оригами, основанный на эффекте теплового расширения газов

Автономный робот Octobot (см. рис. 9) полностью состоит из мягких материалов [11]. Прототипом для создания робота послужил осьминог.

Тело робота изготовлено методом литографии. В нём располагаются топливный бак 1, топливозаборники 2, реактор 4, система трубок и клапанов для подачи газа к щупальцам. Управление роботом происходит встроенным мягким микрожидкостным контроллером 3.

В качестве источника питания робота используется раствор перекиси водорода, который с помощью платинового катализатора расщепляется на водяной пар и кислород. Газ через систему клапанов поступает в камеры 5, которые, раздуваясь, заставляют щупальца двигаться. Излишки газа стравливаются через специальный клапан.

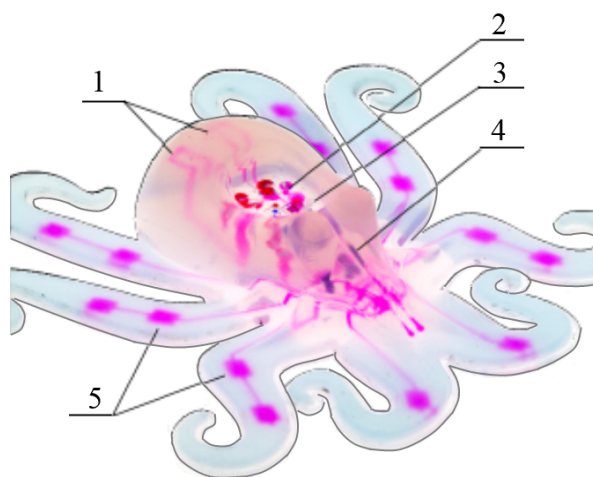


Рис. 9. Робот Octobot [11]

Концепция мягкой робототехники подразумевает наделение роботов не только принципами бионического движения, но и другими свойствами, присущими живым организмам: самовосстановлением, терморегуляцией, мимикрией [12] и др.

Благодаря мягкости и гибкости роботы хорошо приспособляются к особенностям окружающей среды при выполнении различных задач, однако они могут быть повреждены твёрдыми острыми предметами.



Рис. 10. Элемент схвата, обладающий способностью терморегуляции

Учёными Брюссельского свободного университета (Vrije Universiteit Brussel) создан полимерный материал для мягких роботов, способный к самовосстановлению [13]. При нагревании примерно до 80 °C и последующем охлаждении до комнатной температуры порез герметизируется. После этого робот может выполнять свои задачи так же, как до повреждения.

Примером устройства, обладающего терморегуляцией, служит палец схвата (см. рис. 10), разработанный в Facebook Reality Labs и рядом американских университетов [14].

Палец изготовлен из поли (*N*-изопропилакриламида), покрытого слоем микропористого (~200 мкм) полиакриламида. При низких температурах поры закрыты. При нагреве до 30 °C поры открываются, позволяя воде вытекать наружу.

Испарение воды предохраняет робот от перегрева, обеспечивая скорость охлаждения около 39,1 °C в минуту, что на 600 % выше, чем у аналогичных устройств.

Мягкая робототехника является пока только развивающимся направлением робототехники, однако проведённый обзор показывает разнообразие существующих и концептуальных моделей мягких роботов, действие которых основано на различных принципах и физических эффектах.

Конструкция мягких роботов зачастую значительно проще, чем у традиционных роботов, выполненных из жёстких материалов.

Применение новых эластичных материалов делает роботы более безопасными в ситуациях, когда требуется тесный контакт робота с человеком.

Всё сказанное свидетельствует об актуальности развития мягкой робототехники для применения в различных областях техники и технологии.

Предложенная в работе классификация мягких роботов учитывает следующие классификационные признаки: вид применяемого привода; вид выполняемых движений; количество секций; количество степеней свободы; жесткость – а также различия внутри перечисленных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Li, Z. Teng and J. Xiao, «Can a Continuum Manipulator Fetch an Object in an Unknown Cluttered Space?» in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 2, no. 1, pp. 2-9, Jan. 2017.
2. Левицкий, Е. Е. Моделирование роботизированной системы для осуществления остеосинтеза объекта / Е. Е. Левицкий, С. В. Власьевский // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2016. – № II-1(26). – С. 9-15.
3. Хацевич, Т. Н. Эндоскопы: учеб. пособие / Т. Н. Хацевич, И. О. Михайлов. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 196 с.
4. Реабилитационные роботы. Эластомерные приводы для мягких роботов [Электронный ресурс] // Medrobot.ru. – 2012. – Режим доступа: <http://medrobot.ru/245-yelastomernye-privody-dlya-myagkix-robotov.html> (дата обращения: 08.10.2020).
5. Phillips, B. T., Becker, K. P., Kurumaya, S. et al. A Dexterous, Glove-Based Teleoperable Low-Power Soft Robotic Arm for Delicate Deep-Sea Biological Exploration. Sci Rep 8, 14779 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33138-y>.
6. SoftGripping [Электронный ресурс] // официальный сайт компании Soft Gripping. – Берлин, 2020. – Режим доступа: <https://soft-gripping.com> (дата обращения: 07.10.2020).
7. Mishra A.K., Del Dottore E., Sadeghi A., Mondini A. and Mazzolai B. (2017) SIMBA: Tendon-Driven Modular Continuum Arm with Soft Reconfigurable Gripper. Front. Robot. AI 4:4.

8. Барский, Р. «Аккуратный» робот. Новый мягкий и прочный захватывающий механизм [Электронный ресурс] / Р. Барский // Наука и техника. Роботы и дроны. – 2019. – Режим доступа: <https://naukatehnika.com/akkuratnyj-robot.html> (дата обращения: 07.10.2020).
9. BioMiC [Электронный ресурс] // Robotics Equipment Corporation. – Режим доступа: <http://servicerobotics.eu/en/biomic/> (дата обращения: 18.10.2020).
10. Shintake J., Sonar H., Piskarev E., Paik J., & Floreano D. (2017). Soft pneumatic gelatin actuator for edible robotics. 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 6221-6226.
11. Wehner M., Truby R., Fitzgerald D. et al. An integrated design and fabrication strategy for entirely soft, autonomous robots. Nature 536, 451-455 (2016). <https://doi.org/10.1038/nature19100>.
12. Whole Arm Planning for a Soft and Highly Compliant 2D Robotic Manipulator Andrew D. Marchese, Robert K. Katzschmann, and Daniela Rus. <http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/images/5/5f/marchese2014whole.pdf>.
13. Новые мягкие роботы обрели способность к самовосстановлению (+видео) [Электронный ресурс] // ROBOGEEK. Такие разные роботы. – 2017. – Режим доступа: <http://www.robogeek.ru/nauchnye-razrabotki-programmnoe-obespechenie/novye-myagkie-roboty-obreli-sposobnost-k-samovosstanavleniyu> (дата обращения: 08.10.2020).
14. Autonomic perspiration in 3D-printed hydrogel actuators By Anand K. Mishra, Thomas J. Wallin, Wenyang Pan, Patricia Xu, Kaiyang Wang, Emmanuel P. Giannelis, Barbara Mazzolai, Robert F. Shepherd SCIENCE ROBOTICS 29 JAN 2020.
15. A soft, bistable valve for autonomous control of soft actuators By Philipp Rothmund, Alar Ainla, Lee Belding, Daniel J. Preston, Sarah Kurihara, Zhigang Suo, George M. Whitesides Science robotics 1 MAR 2018.
16. Translucent soft robots driven by frameless fluid electrode dielectric elastomer actuators By Caleb Christian-son, Nathaniel N. Goldberg, Dimitri D. Deheyn, Shengqiang Cai, Michael T. Tolley Science robotics 25 APR 2018.
17. Hannan M.W., Walker I.D. Kinematics and the implementation of an elephant's trunk manipulator and other continuum style robots. J Robot Syst. 2003 Feb; 20(2):45-63. doi: 10.1002/rob.10070. PMID: 14983840.
18. Ivanov, S. Synthesis of the Control Device of the Electromechanical Drive of the Main Valve / S. N. Ivanov, K. K. Kim, A. V. Gorbunov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 18-22 May. 2020, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.911 2086.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
METALLURGY AND MATERIALS

Кычкин А. А., Лебедев М. П., Ананьева Е. С., Кычкин А. К., Туисов А. Г.
A. A. Kychkin, M. P. Lebedev, E. S. Anan'eva, A. A. Kychkin, A. G. Tuisov

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДА
КРЕМНИЯ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF ULTRA-DISPERSION POWDERS SILICON CARBIDE
ON THE STABILITY-STRENGTH PROPERTIES OF EPOXY BINDING**

Кычкин Айсен Анатольевич – научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск). E-mail: icen.kychkin@mail.ru.

Mr. Aisen A. Kychkin – Researcher, Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Researcher, V. P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk). E-mail: icen.kychkin@mail.ru.

Лебедев Михаил Петрович – член-корреспондент Академии наук России, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск); 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1. E-mail: prezidium@prez.ysn.ru.

Mr. Michail. P. Lebedev – Corresponding Member of the Academy of Sciences of Russia, Dr.Sci.Tech, Chief Researcher, V. P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk); 677980, The Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 1 Oktyabrskaya str. 2. E-mail: prezidium@prez.ysn.ru.

Ананьева Елена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (Россия, Барнаул); 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: eleana2004@mail.ru.

Mrs. Elena. S. Anan'eva – PHD in Engineering, Associate Professor, Cathedra of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University (Russia, Barnaul); 656038, Altai region, Barnaul, 46 Lenin avenue. E-mail: eleana2004@mail.ru.

Кычкин Анатолий Константинович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова (Россия, Якутск); 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1. E-mail: kychkinplasma@mail.ru.

Mr. Anatoli. K. Kychkin – PHD in Engineering, Leading Researcher, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North (Russia, Yakutsk); 677980, The Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 1 Oktyabrskaya str. 2. E-mail: kychkinplasma@mail.ru.

Туисов Алексей Геннадьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» (Россия, Якутск); 677000, г. Якутск, ул. Петровского, 2. E-mail: tuisovag@gmail.com.

Mr. Aleksei. G. Tuisov – PHD in Engineering, Senior Researcher, Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» (Russia, Yakutsk); 677000, The Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, 2 Petrovskogo str. E-mail: tuisovag@gmail.com.

Аннотация. Исследовано влияние ультрадисперсных частиц карбида кремния SiC на свойства эпоксидного связующего. Представлено теоретическое обоснование возможных эффектов от введения дисперсных частиц в объём эпоксидного связующего на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя изометилтетрагидрофталевого ангидрида (изо-МТГФА). Проанализированы возможность и эффективность применения ультразвукового диспергирования карбида кремния в объёме связующего. Установлено, что время ультразвукового воздействия 240 мин. обеспечивает получение седиментационно устойчивой дисперсной системы с высокой степенью диспергируемости частиц карбида кремния. Проведены исследования влияния содержания SiC от 0 до 5 мас.% в составе эпоксидного связующего на предел прочности и модуль упругости при сжатии и изгибе. Установлено, что в диапазоне степеней наполнения до 1 мас.% наблюдаются некоторые изменения в свойствах наполненного эпоксидного связующего. Экспериментально определено, что модификация карбидом кремния при его содержании 0,75 мас.% представляет особый практический интерес. Наблюдается увеличение прочности при изгибе на 16 % и модуля упругости при сжатии на 5 %.

Summary. The influence of the ultrafine particles silicon carbide SiC on the properties of the epoxy binder is investigated. The theoretical substantiation of possible effects from the introduction of dispersed particles into the volume of epoxy binder based on epoxy resin ED-20 and hardener of methyl-tetrahydrophthalic anhydride (ISO-MTGFA) are presented. The possibility and efficiency of ultrasonic dispersion silicon carbide in the binder volume are analyzed. It was found that the ultrasonic exposure time of 240 minutes provides a sedimentation stability of the dispersion system with a high degree of dispensability of silicon carbide particles. The authors study the influence of SiC content from 0 to 5 wt. % in the composition of the epoxy binder on the tensile strength and modulus of elasticity under compression and bending. The authors found out that in the range of degrees of filling up to 1 mass % there are some changes in the properties of the filled epoxy binder. It is experimentally determined that the modification of silicon carbide at its content of 0.75 wt % it is of particular practical interest. There is a 16 % increase in bending strength and a 5 % increase in compression modulus.

Ключевые слова: эпоксидное связующее, карбид кремния, модификация, предел прочности, модуль упругости.

Key words: epoxy binder, silicon carbide, modification, tensile strength, modulus of elasticity.

УДК 678.026.3

Введение

Интенсивно развивающийся технический прогресс порождает необходимость разработок новых конструкционных материалов с заданным комплексом свойств, определяющих способность к длительной эксплуатации в условиях окружающей среды под действием высоких нагрузок.

Возможность создания материала с необходимым комплексом свойств обусловлена рациональным выбором компонентов и технологии, которая при заданных компонентах композиционного материала (КМ) гарантирует формирование структуры, обеспечивающей требуемый уровень свойств. Как бы рационально не было спроектировано изделие, ни один материал в его составе не может сохранять свои свойства неограниченно долго. Это обусловлено возникновением и развитием внутренней поврежденности материала в процессе его получения и эксплуатации.

Разрушение композиционных материалов, как правило, развивается с накопления независимых микрповреждений, продолжается в росте и слиянии микродефектов в магистральные трещины в материале матрицы. Таким образом, период работоспособности материала будет определяться скоростью зарождения и развития трещин в материале матрицы под влиянием эксплуатационных факторов. Из этого следует, что повышение трещиностойкости полимерных связующих, применяемых в качестве матриц для армированных КМ, является актуальной практической задачей.

Результаты и дискуссия

В настоящее время существует множество способов корректировки свойств композитов. Особый практический интерес представляет введение ультрадисперсных добавок различной природы в объём связующего с целью модификации его свойств [1]. Так, в работах авторов [2] введение малых количеств (до 1 %) наноалмазов в эпоксидное связующее позволяет увеличить его ударную вязкость в отверждённом состоянии на 25 – 30 %, а также температуру стеклования. В своих исследованиях авторы работы [3] показали, что добавление 3 % наночастиц кремнезёма в эпоксидную матрицу увеличивает прочность на разрыв на 115 %, в то время как ударная прочность увеличивается на 56 %. Авторами работы [4] установлено увеличение модуля упругости при растяжении благодаря введению наночастиц диоксида кремния. Относительно новым является применение углеродных нанотрубок [5–7].

В последние годы изучаются возможности использования карбида кремния (SiC) в виде микро- и наноразмерных порошков, уникальные свойства которых обуславливают их применение в качестве наполнителей и модификаторов полимеров. Сочетание высокой теплопроводности и низкого коэффициента термического расширения позволяет ему сохранять стойкость при больших скоростях нагрева и в условиях стационарного теплового режима. Ожидается влияние свойств частиц мелкодисперсного карбида кремния на морфологию полимера в композиции. Наличие рас-

пределения SiC по мелким фракциям даёт возможность использовать порошки карбида кремния непосредственно в производстве полимерных и других композиционных материалов без предварительного их измельчения и распределения по фракциям.

В качестве объекта исследования для оценки эффективности и технологической целесообразности применения карбида кремния в качестве модифицирующей добавки было выбрано связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и изометилтетрагидрофталевого ангидрида (ИЗМТГФА) в качестве отверждающего агента. Выбор связующего обусловлен распространённостью его применения в производстве армированных композиционных материалов различного назначения. Модифицирующая добавка карбида кремния применялась в виде порошка, в котором содержание SiC составляло не менее 94 %, со средним размером частиц 80 – 110 нм и максимальным размером агломератов до 15 мкм.

Наиболее важными технологическими параметрами при формировании смеси связующего с дисперсными частицами являются достижение относительно равномерного распределения частиц в объёме связующего, распределение по размерам, отсутствие крупных агломератов и седиментационная устойчивость дисперсной системы. Для решения данной задачи введение дисперсий осуществлялось в более вязкую часть связующего – эпоксидную смолу (ЭД-20) с последующим ультразвуковым диспергированием при варьировании времени воздействия в пределах 60, 120 и 240 мин. В процессе диспергирования наблюдалось изменение цвета смоляной части, что является свидетельством изменения концентрации частиц в объёме за счёт разрушения агломератов (см. рис. 1).

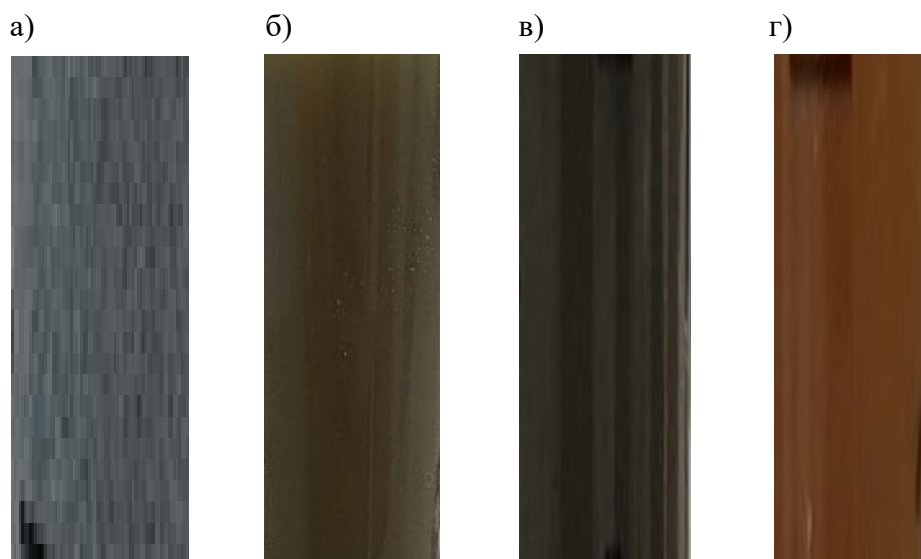


Рис. 1. Изменение цвета смеси в зависимости от времени ультразвукового воздействия:
а – 0 мин.; б – 60 мин.; в – 120 мин.; г – 240 мин.

С целью оценки седиментационной устойчивости полученные образцы исследовались путём экспонирования в нормальных условиях в течение 4 ч с последующей оценкой их оптической прозрачности на просвет и наличия осадка. Было установлено, что диспергирование смеси в течение 240 мин. приводит к тому, что образец становится прозрачным относительно других образцов и не выпадает осадок. Таким образом, целесообразно применять ультразвуковое диспергирование не менее чем в течение 240 мин.

Для оценки влияния модифицирующей добавки карбида кремния на свойства эпоксидного связующего были изготовлены образцы для испытаний на сжатие (ГОСТ 4651-2014), изгиб (ГОСТ 4648-2014), ударную вязкость (ГОСТ 4647-2015) с различной степенью наполнения, диапазон был выбран с учётом аналогичных результатов исследований, проведённых с разными по природе ультрадисперсными наполнителями.

Испытания проводились на универсальной машине INSTRON модели 3369 с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН, ценой деления шкалы 0,01 кН и погрешностью силоизмерителя $\pm 0,1$ %. Результаты испытаний представлены на рис. 2-3.

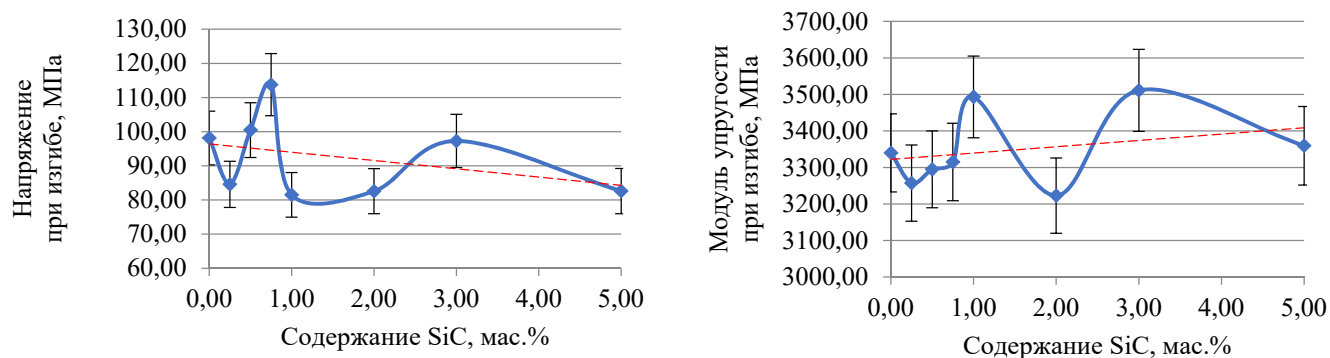


Рис. 2. Зависимость напряжения и модуля упругости от содержания SiC при изгибе

Данные, представленные на рис. 2-3, свидетельствуют, что изменение свойств происходит волнообразно, т.е. в зависимости от содержания частиц происходит либо увеличение, либо уменьшение соответствующих характеристик. Наличие точек перегиба на зависимостях показывает смену механизмов разрушения при переходе через критические концентрации. Очевидно, что вблизи концентрации с содержанием карбида кремния 1 % проявляются существенные изменения относительно чистого связующего. Такое поведение говорит о чувствительности наполненного эпоксидного связующего, находящегося в состоянии сжатия или изгиба, к содержанию частиц.

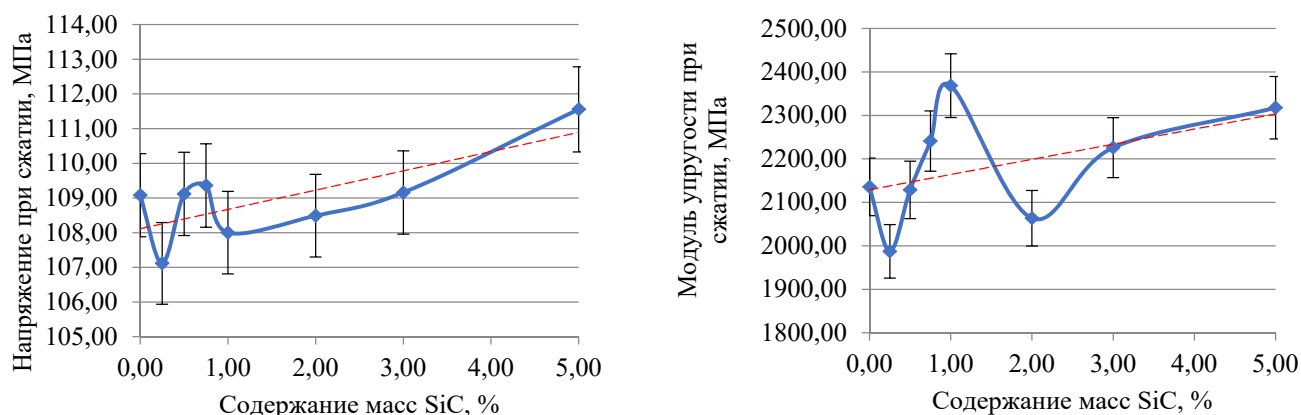


Рис. 3. Зависимость напряжения и модуля упругости от содержания SiC при сжатии

На рис. 4 представлен снимок модифицированного эпоксингидридного связующего с добавлением карбида кремния в количестве 2 %. На представленном снимке видно, что при добавлении карбида кремния в состав эпоксидного связующего происходит образование центров напряжённости, в качестве которых выступают частицы карбида кремния. Они формируют в объёме связующего каркас частиц, которые повышают жёсткость структуры и, соответственно, повышают эффективность сопротивления сжимающим и изгибным нагрузкам. Также об образовании центров напряжённости указывают и испытания на ударную вязкость, свидетельствующие, что с увеличением степени наполнения карбидом кремния вязкость уменьшается.

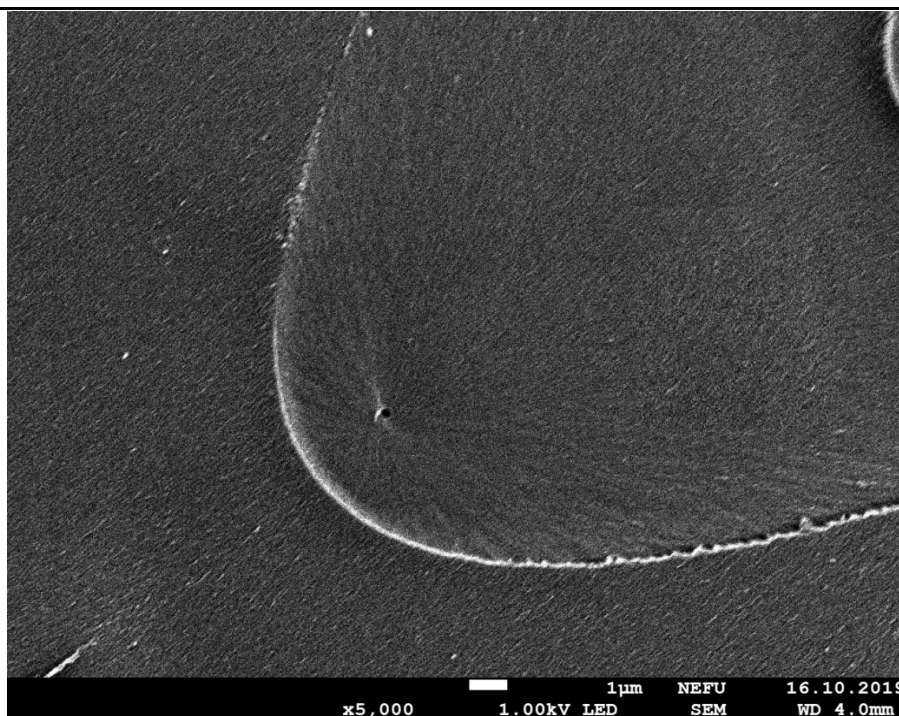


Рис. 4. Хрупкий скол отверждённого эпоксидного связующего, модифицированного добавкой карбида кремния в количестве 2 %, при увеличении в 5000 раз на РЭМ-микроскопии

Сравнительные результаты испытаний, показывающие изменения упруго-прочностных свойств эпоксидного связующего в зависимости от содержания в нём модифицирующей добавки карбида кремния, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные результаты испытаний

SiC, мас. %	Напряжение при изгибе, МПа	Модуль упру- гости при из- гибе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	Напряжение при сжатии, МПа	Модуль упру- гости при сжа- тии, МПа
0,00	98±8	3339±107	3,00±0,2	109±12	2135±64
0,25	85±7	3257±104	2,18±0,15	107±11	1987±59
0,50	101±8	3294±105	2,43±0,16	109±12	2129±63
0,75	114±9	3315±106	2,8±0,16	109±12	2241±67
1,00	82±6	3493±112	2,11±0,14	108±11	2368±71
2	83±7	3223±103	2,0±0,13	109±12	2063±61
3	97±8	3511±112	1,52±0,10	109±12	2226±67
5	83±7	3359±107	1,72±0,11	112±13	2318±69

Анализ результатов проведённых исследований показывает, что влияние частиц карбида кремния неоднозначно, невозможно определить степень наполнения, при которой происходит комплексное увеличение свойств эпоксидного связующего. В целом, можно отметить незначительные изменения свойств в пределах погрешности при степенях наполнения до 1 мас. %.

Заключение

Проведённые исследования показали, что практический интерес представляет модификация карбидом кремния при его содержании 0,75 мас. %. При данной концентрации наблюдается увеличение прочности при изгибе на 16 % и модуля упругости при сжатии на 5 %.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований по изучению морфологии структуры модифицированного полимера, его поведения при динамических нагрузках при модифицировании карбидом кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путилов, А. В. Наноматериалы и нанотехнологии – прорыв в будущее / А. В. Путилов // Инженерно-химическая наука для передовых технологий. – М.: Наука, 2002. – 284 с.
2. Свойства эпоксидиановых связующих, модифицированных полиметилена-п-трифенилборатом и наночастицами различной природы / Е. С. Ананьева, М. А. Ленский, И. С. Ларионова, В. Н. Беляев, А. В. Ишков // Ползуновский вестник. – 2013. – № 1. – С. 59-66.
3. Zheng, Y. Effects of nanoparticles SiO₂ on the performance of nanocomposites / Y. Zheng, R. Ning // Materials Letters. – 2003. – Vol. 57. – P. 2940-2944.
4. Rosso, P. A. A toughened epoxy resin by silica nanoparticle reinforcement / P. Rosso, L. Ye, K. Friedrich, S. Sprenger // Journal of Applied Polymer Science. – 2006. – Vol. 100. – P. 1849-1853.
5. Moniruzzaman, M. Increased flexural modulus and strength in SWNT/epoxy composites by a new fabrication method / M. Moniruzzaman, F. Du, N. Romero, K. I. Winey // Polymer. – 2006. – Vol. 47. – P. 293-298.
6. Chen, Zh. Reinforcement of epoxy resins with multi-walled carbon nanotubes for enhancing cryogenic mechanical properties / J. Yang, Q. Ni, S. Fu, Y. Huang // Polymer. – 2009. – Vol. 50. – P. 4753-4759.
7. Повышение свойств эпоксидных полимеров малыми добавками / Р. В. Акатенков, С. М. Алдошин, В. Н. Алексашин, И. В. Аношкин, В. А. Богатов, В. П. Грачев, С. В. Кондрашов // «Rusnanotech08»: доклады Международного форума по нанотехнологиям. – М., 2008. – С. 410- 412.



Ри Хосен, Ри Э. Х., Живетьев А. С., Ким Е. Д.
Hosen Ri, E. H. Ri, A. S. Zhivetev, E. D. Kim

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БОРИДОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВ ХРОМА
МАГНИЙТЕРМИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ В ИОННЫХ РАСПЛАВАХ**

**TECHNOLOGY OF OBTAINING BORIDE-CONTAINING CHROMIUM POWDERS
BY THERMAL MAGNESIUM REDUCTION IN IONIC MELTS**

Ри Хосен – доктор технических наук, профессор кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск); 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136; тел. 8(914)404-88-77. E-mail: ri@mail.khstu.ru.

Ri Hosen – Dr. of Engineering, Professor, Foundry Engineering and Metal Technology Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk); 136, Tikhookeanskaya Str., 680042, Khabarovsk; tel. 8(914)404-88-77. E-mail: ri@mail.khstu.ru.

Ри Эрнст Хосенович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск); 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136; тел. 8(914)214-09-99. E-mail: erikri999@mail.ru.

Ernst H. Ri – Dr. of Engineering, Professor, Head of the Department of Foundry Engineering and Metal Technology, Pacific National University (Russia, Khabarovsk); 136, Tikhookeanskaya Str., 680042, Khabarovsk; tel. 8(914)214-09-99. E-mail: erikri999@mail.ru.

Живетьев Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Andrei S. Zhivetev – PhD, Assistant Professor, Foundry Engineering and Metal Technology Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Ким Евгений Давидович – преподаватель кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск); 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136; тел. 8(914)202-27-52.

Eugenie D. Kim – Lecturer, Foundry Engineering and Metal Technology Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk); 136, Tikhookeanskaya Str., 680042, Khabarovsk; tel. 8(914)202-27-52.

Аннотация. Рассмотрены условия синтеза боридосодержащих порошков хрома при совместном восстановлении оксидов металлов и соединений бора в расплавах NaCl и NaF-NaCl при $T = 1123...1173$ К. Показано, что содержание боридных фаз в составе композитов Cr-CrB достигает 40...60 мас.%. Удельная поверхность порошков хрома равна $23,38 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$.

Summary. Synthesis conditions of boride-containing chromium powders with the joint reduction of metal oxides and boron compounds in NaCl and NaF-NaCl melts at $T = 1123...1173$ K are considered. The content of boride phases in the composition of Cr-CrB composites is shown to reach 40...60 %. The specific surface of chromium powders is $23,38 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$.

Ключевые слова: металлотермия, ионные расплавы, синтез порошков, оксиды и бориды хрома, термография, удельная поверхность, гранулометрические характеристики.

Key words: metallותרmy, ionic melts, powder synthesis, chromium oxides and borides, thermography, specific surface area, particle size characteristics.

Работа выполнена при поддержке ГЗ № FEME-2020-0010 и СП-1904.2019.1.

УДК 669.583.9

Введение. В настоящее время особо востребованы композиционные материалы, содержащие тугоплавкие соединения переходных металлов, в том числе и бориды в связи с их специфическими физическими и химическими свойствами, которые обусловлены особенностями кристалли-

ческого строения боридов, наличием в структуре жёстких ковалентных образований из атомов бора. При этом структура соединений в определённой мере зависит от их состава. Так, с увеличением содержания бора в соединениях наблюдается переход от одномерных (Me_2B , MeB) к двумерным (MeB_2) и трёхмерным образованиям из бора (MeB_4). При этом в указанных структурах наряду со связями В-В, Ме-В сохраняются связи Ме-Ме. Всё это обуславливает особенности свойств боридов: высокую температуру плавления, необычную твёрдость, металлический характер проводимости [1].

Развитие исследований в области тугоплавких соединений идёт главным образом в направлении изыскания новых методов синтеза и рассмотрения областей применения. Термитные методы, среди известных, способны обеспечить синтез боридов с высокой скоростью и полнотой формирования целевого продукта [2].

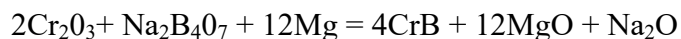
Варьирование состава соединений с изменением характера химических связей в процессе термитного синтеза расширяет возможности получения боридов с заданными свойствами. Применение ионных расплавов в качестве реакционной среды создаёт условия для формирования получаемых продуктов в виде дисперсных порошков. При этом частицы порошка-восстановителя – магния – являются центрами кристаллизации твёрдой фазы, и величина удельной поверхности порошка магния пропорциональна дисперсности получаемых порошков [3, 4].

Цель данной работы – изучение условий синтеза боридосодержащих порошков хрома совместным восстановлением оксида металла и борсодержащего соединения магнием в расплавах солей щелочных металлов.

Материалы и исходные данные эксперимента. Реакционная система для синтеза состоит из растворителя, исходных соединений, восстановителя, полученного продукта. В качестве растворителя используют расплавы солей NaCl , NaF , исходными соединениями служат Cr_2O_3 , KBF_4 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, B_2O_3 , восстановитель – порошкообразный магний. Термический анализ реакционных систем выполнен с использованием дериватографа «Q-ЮОО». Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза проведён на дифрактометре «ДРОН-7», элементный анализ – на спектрометре «Спектроскан МАКС-GV». Распределение объёмов частиц порошков по размерам определено на лазерном дифракционном микроанализаторе «Analysette-22».

Результаты исследования. Металлотермический синтез в среде расплавов, в сравнении с традиционным термитным синтезом на воздухе, имеет свои отличия, обусловленные спецификой физико-химических свойств ионных расплавов. Например, синтез в расплаве при недостатке кислорода протекает менее интенсивно в условиях пониженной температуры. Это может оказывать влияние на полноту восстановления исходных соединений и состав целевого продукта.

Синтез боридов хрома с определённой долей приближения может быть описан металлотермической реакцией:



Термодинамический анализ реакции показывает, что вероятность её прохождения достаточно высока: изменению величины энергии Гиббса (ΔG , кДж/моль) отвечают большие отрицательные числовые значения (при 1200 К $\Delta H = -2482$ кДж/моль и $\Delta G = -2131$ кДж/моль).

Металлотермическое совместное восстановление оксидов хрома и буры охарактеризовано методом термографии. На кривой ДТА системы Cr_2O_3 - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -Mg отмечался интенсивный экзотермический эффект в области 1023...1133 К, отвечающий взаимодействию магния с оксидом хрома и бурой.

Синтез боридосодержащих порошков хрома ведут по ранее описанной методике [5] растворением исходных оксидов металлов и соединений бора ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, B_2O_3 , KBF_4) в расплаве NaCl или NaF - NaCl при температуре 950...1173 К, введением в расплав порошка магния, отделением твёрдой фазы образовавшегося продукта от расплава, отмыва последнего водой. Условия получения боридосодержащих порошков хрома представлены в табл. 1.

Экспериментально установлено, что состав расплава, его температура оказывают существенное влияние на полноту восстановления исходных соединений. Так, в расплаве NaCl - KBF_4



при температуре 900...950 К и стехиометрическом соотношении реагентов оксиды хрома восстанавливаются магнием на 80...85 %. Полноты формирования боридов металлов не достигается, в продуктах синтеза содержится невосстановленная часть оксидов, ~20 % Cr_2O_3 . Повышение температуры выше 900 К результатов не улучшает, приводит к испарению KBF_4 . С переходом к расплавам $\text{NaCl-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{NaF-NaCl-Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и повышением температуры до 1123...1173 К оксиды хрома восстанавливаются на 87...93 %. Содержание боридных фаз в продуктах синтеза повышается до 50...60 % (см. табл. 1).

Таблица 1

Условия получения боридосодержащих порошков хрома

Параметр		Состав расплава, г	
		NaCl – 30 KBF_4 – 10 Cr_2O_3 – 5	NaF-NaCl – 30 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – 15 Cr_2O_3 – 5
Температура, К		900	1173
Содержание магния в расплаве		3,49	3,49
Продукты синтеза	Фазовый состав	Cr, CrB-CrB ₂	Cr, CrB-CrB ₂
	Содержание боридов, %	35	40
	Выход продукта, г	2,4	2,5

Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза показал, что основными компонентами порошков являются металлический хром и его низшие бориды состава CrB, а также фаза Cr_2B в небольшом количестве (~5 %). Общее содержание боридов в полученных материалах составляет ~40...60 мас.%. Рентгенографические характеристики полученных боридосодержащих порошков хрома приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рентгенографические характеристики порошков Cr-CrB

Cr					
$d, \text{Å}$	2,043	1,905	1,178	1,017	
I/I_0	29	100	18	15	
CrB					
$d, \text{Å}$	2,770	2,348	2,015	1,960	1,478
I/I_0	17	26	40	21	15
Cr_2B					
$d, \text{Å}$	2,290	2,214	2,03	1,663	
I/I_0	5	4	3	3	

Примечание: d – межплоскостное расстояние; I/I_0 – относительная интенсивность рефлексов

Элементный состав порошков с наибольшим содержанием боридных фаз представлен величинами, мас.%: Cr – 91,26; B – 7,3; Fe – 0,4, неметаллические примеси – 0,5. Экспериментально получено распределение объемов частиц порошков по интервалам диаметров, определены величины удельной поверхности (см. табл. 3).

Для дальнейшего применения боридосодержащие порошки хрома подвергают химическому диспергированию: обрабатывают раствором соляной кислоты в этиловом спирте (1:3). Например, обработка материала Cr-CrB- Cr_2B раствором в течение суток приводит к увеличению доли частиц мелких фракций и, как следствие, росту величины удельной поверхности порошка (см. табл. 3). Применение спиртового раствора улучшает смачиваемость поверхности частиц и способствует более глубокому проникновению раствора в поры порошков, в результате чего агломерированные частицы распадаются на мелкие фракции.

Полученные порошки испытаны в качестве анодных материалов в процессе электроискрового нанесения упрочняющих покрытий на образцы стали 45. Установлено, что износостойкость легированных образцов увеличивается в 1,5...2,0 раза по сравнению с неупрочнённой сталью.

Таблица 3

Гранулометрические характеристики порошков

Параметр	Фазовый состав	
	Cr-CrB-Cr ₂ B	Cr-CrB-Cr ₂ B химически диспергирован
Средний диаметр, мкм	11,79	2,28
Модальный размер, мкм	21,37	2,03
Максимальный диаметр, мкм	61,5	4,91
Удельная поверхность, м ⁻¹	23,38·10 ⁵	45,28·10 ⁵

Выводы. Магнийтермическое восстановление оксидов хрома совместно с соединениями бора в среде расплавов NaCl, NaF-NaCl при температуре 1123...1173 К приводит к образованию порошковых композитов Cr-CrB-Cr₂B, удельная поверхность которых равна 23,38·10⁵ м⁻¹. Химическое диспергирование боридосодержащих порошков хрома в спиртовом растворе соляной кислоты способствует увеличению удельной поверхности порошков в 2 раза. Содержание боридных фаз в составе композитов составляет 40...60 мас.% и зависит от состава и температуры расплава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко, В. Ф. Влияние удельной поверхности восстановителей на крупность порошков металлического вольфрама, полученных из ионных расплавов / В. Ф. Бойко, В. В. Гостищев, Н. М. Власова // Химическая технология. – 2008. – Т. 9. – № 10. – С. 510-513.
2. Гостищев, В. В. Магнийтермический синтез дисперсных порошков W-WB в ионных расплавах / В. В. Гостищев, В. Ф. Бойко, Н. Д. Пинегина // Химическая технология. – 2008. – Т. 9. – № 7. – С. 289-292.
3. Делимарский, Ю. К. Химия ионных расплавов / Ю. К. Делимарский. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 328 с.
4. Мержанов, А. Г. Процессы горения и синтез материалов / А. Г. Мержанов. – Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. – 511 с.
5. Самсонов, Г. В. Бориды / Г. В. Самсонов, Т. И. Серебрякова, В. А. Неронов. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.

Коротеева Л. И.
L. I. Koroteeva

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРИОСТАНОВЛЕНИЙ И ОТКАЗОВ В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ
ГОСУДАРСТВЕННОГО КАДАСТРОВОГО УЧЁТА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

**ANALYSIS OF REASONS FOR SUSPENSION AND REFUSAL IN REAL ESTATE PROPERTY
STATE CADASTRE REGISTRATION**

Коротеева Любовь Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и техносферной безопасности Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на Амуре); тел. 8(914)187-87-14. E-mail: Lkoroteewa@yandex.ru.

Lubov I. Koroteyeva – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Cadastre and Technosphere Safety, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 8(914)187-87-14. E-mail: Lkoroteewa@yandex.ru.

Аннотация. В статье рассмотрены причины приостановления и отказов в отношении объектов недвижимости при выполнении учётно-регистрационных действий. На основе собранной информации по ведомствам, которые занимаются данными процедурами в г. Комсомольске-на-Амуре и Хабаровском крае, выполнен анализ причин приостановления и отказов в постановке на государственный кадастровый учёт земельных участков и объектов капитального строительства.

Summary. The article discusses the reasons for the suspension and refusal concerning real estate objects when performing registration and registration actions. Based on the information collected in the departments that deal with these procedures in the city of Komsomolsk-on-Amur and the Khabarovsk Territory, an analysis was made of the reasons for the suspension and refusals to register land plots and capital construction projects for state cadastral registration.

Ключевые слова: кадастровый учёт, регистрация, приостановление, отказ, земельный участок, объект недвижимости, анализ.

Key words: cadastral registration, registration, suspension, refusal, land property, real estate property, analysis.

УДК 349.417/418

Обращаясь в Росреестр с заявлением о проведении государственного кадастрового учёта и государственной регистрации прав в отношении объектов недвижимости, заявители уверены, что в указанный срок они получают готовые документы. Но процесс учётно-регистрационных действий не всегда соответствует нашим ожиданиям. Бывают случаи, что ведомство принимает решение о приостановлении и отказе в осуществлении государственного кадастрового учёта и государственной регистрации прав заявленного объекта недвижимости.

Чтобы государственный учёт и регистрация прошли успешно, в первую очередь подаваемые гражданином документы обязательно должны соответствовать требованиям действующего законодательства

В случае кадастрового учёта межевые и технические планы, предоставляемые в ведомство, должны быть составлены согласно всем требованиям по оформлению данных документов. Большая часть решений о приостановлении кадастрового учёта связана именно с кадастровыми ошибками в межевых и технических планах.

Документы, которые предоставляются на государственный учёт и регистрацию прав, должны быть подписаны надлежащими сторонами или должностными лицами, которые определены соответствующим законом, а доверенность на оформление документов должна быть обязательно нотариально удостоверена, а не представлена в простой письменной форме.

Так как государственный кадастровый учёт (ГКУ) направлен на систематизацию сведений об объекте недвижимости, то в настоящее время оформление права собственности на объект недвижимости невозможен без данной процедуры.

В результате сбора и анализа информации о причинах приостановления и отказа в осуществлении ГКУ объектов недвижимости по ведомствам, которые занимаются данными процедурами в г. Комсомольске-на-Амуре и Хабаровском крае, было установлено, что за период с 01 марта 2020 г. по 01 мая 2020 г. в ООО «Кадастровое дело» количество участков, поставленных на государственный кадастровый учёт, составляет 187. Из них количество решений о приостановлении осуществления кадастрового учёта, принятых на основании заявлений о постановке на государственный кадастровый учёт земельных участков, составляет 94.

Причинами приостановления наибольшего количества заявлений являются следующие (см. рис. 1):

1. С заявлением обратилось ненадлежащее лицо или лицо, не имеющее права на объект недвижимости, но указанное в заявлении как правообладатель недвижимости.

2. Не представлены необходимые документы, или представленные документы не являются подлинными, или сведения, содержащиеся в них, недостоверны; либо представленные документы подписаны (удостоверены) неправомочными лицами, или форма и содержание документов не соответствует требованиям.

3. Земельный участок (ЗУ) имеет границы, которые пересекают границы соседнего, сведения о котором содержатся в ЕГРН.

4. В представленных заявителем документах существуют несоответствия между сведениями об объекте недвижимости и сведениями о таком объекте недвижимости, которые содержатся в ЕГРН.



Рис. 1. Количество уведомлений о приостановлении

В результате анализа причин приостановления ГКУ в отношении объектов капитального строительства на основе данных ООО «Тандем» было установлено, что в соответствии с п. 2, 5, 7 ч. 1 ст. 26 Федерального закона от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ «О государственной регистрации не-



движимости» отправлено уведомление ООО «Базовый Элемент», адрес: Солнечный район, р.п. Солнечный, ул. Геологов, о приостановлении начиная с 20 марта 2020 г. осуществления действий по государственному кадастровому учёту и государственной регистрации прав в отношении помещения, расположенного по адресу: Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Хетагуровская, д. 13, помещения на поэтажном плане 1-4, 5-7 порядковым номером «1», документы на который (которую) представлены с заявлением от 3 марта 2020 г. № КУВД-001/2020-2646195.

Приостановление ГКУ произошло по следующим причинам:

1. С заявлением о ГКУ и (или) государственной регистрации прав обратилось ненадлежащее лицо.

Представленный технический план подготовлен в результате выполнения кадастровых работ в связи с созданием здания (многоквартирного жилого дома) путём реконструкции объекта недвижимости с кадастровым номером 27:22:0040503:57, расположенного в городе Комсомольске-на-Амуре Хабаровского края, по улице Хетагуровской, 13.

На данный момент Реестр недвижимости содержит сведения о нежилом здании с кадастровым номером 27:22:0040503:57, в отношении которого зарегистрировано право общей долевой собственности Зиновьевой Евгении Сергеевны и Тимофеева Василия Александровича.

Но, заявление о «Постановке на государственный кадастровый учёт и государственной регистрации прав в связи с созданием, образованием объекта недвижимости» представлено ООО «Базовый Элемент», что противоречит требованию п. 1 ст. 15 действующего закона.

2. Документы, которые необходимы для осуществления учётно-регистрационных действий, не были представлены.

3. Не представлен Договор об инвестировании от 25 октября 2019 г. (далее – Договор инвестирования), сторонами которого являются ООО «Базовый Элемент» – инвестор и В. А. Тимофеев, Е. С. Зиновьева – заказчики-застройщики.

Учитывая, что по своей правовой природе представленный Договор инвестирования является смешанным и включает в себя элементы купли-продажи будущей вещи (недвижимости), к нему применяются правила главы 30 ГК РФ (в частности параграфа 7 указанной главы). При этом в части прав и обязанностей инвестор приравнивается к покупателю, а застройщик – к продавцу.

4. В соответствии с отчуждением объекта недвижимого имущества, который находится на земельном участке и принадлежит одному лицу, согласно п. 4 ст. 35 Земельного кодекса Российской Федерации отчуждение должно проводиться только вместе с земельным участком. Заявление о переходе права собственности и государственной регистрации права в отношении земельного участка 27:22:0040503:1141 в орган регистрации не поступало.

5. Документ, который был представлен для осуществления ГКУ и (или) государственной регистрации прав, не соответствует тем требованиям, которые предъявляет законодательство Российской Федерации к форме и содержанию данного документа.

В представленном техническом плане и Разрешении на ввод в эксплуатацию 27-RU27302000-5-2020 от 17 февраля 2020 г. (далее – Разрешение на ввод) содержатся противоречивые сведения в отношении наименования объекта учёта, а именно: технический план подготовлен на здание «Многоквартирный жилой дом», вместе с тем в Разрешении на ввод наименование объекта «Жилой дом».

В представленных документах были выявлены противоречия.

В соответствии с Техническим планом, подготовленным кадастровым инженером, квартира № 7 имеет общую площадь 132,3 м².

Вместе с тем в соответствии с Договором инвестирования и Актом приёма-передачи от 25 октября 2019 г. результатом выполненных работ является в том числе квартира № 7 общей площадью 118,2 м².

Таким образом, для осуществления постановки на государственный кадастровый учёт реконструированного объекта недвижимости, а также квартир, расположенных в нём, с соответствующим заявлением должны обратиться собственники исходного объекта недвижимости с кадастровым номером 27:22:0040503:57. К такому заявлению должен быть приложен технический

план в новой редакции, подготовленный с учётом указанных в настоящем уведомлении оснований для приостановления.

Хабаровский краевой центр государственной кадастровой оценки и учёта недвижимости (КГБУ «Хабкрайкадастр») является одной из крупнейших организаций в сфере технической инвентаризации на территории Дальневосточного федерального округа Российской Федерации. Учредителем центра является Министерство инвестиционной и земельно-имущественной политики Хабаровского края.

По данным КГБУ «Хабкрайкадастр», на период 2019 г. количество поступивших заявлений на государственный кадастровый учёт земельных участков составляет 97. Количество уведомлений о приостановлении составляет 31. В табл. 1 представлены причины, по которым произошло приостановление.

Таблица 1

Причины приостановления государственного кадастрового учёта

Наименование приостановления	Количество
Пересечение границ земельных участков	10
Обращение ненадлежащего лица	7
При разделе ЗУ разное разрешённое использование	3
Неверно подано заявление	6
В постановлении не указан кадастровый номер	5

За период 2019 г. в Хабаровском крае проведён анализ отрицательных решений в сфере государственного учёта и (или) государственной регистрации прав, что составляет около 5 % от общего количества решений о приостановлении (отказе) в осуществлении учётно-регистрационных действий.

В ходе проведённого анализа установлено, что все решения приняты государственными регистраторами в рамках Федерального закона от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» и иными нормативно-правовыми актами в сфере ГКУ и государственной регистрации прав, указанные сроки и установленный порядок принятия решений соблюдаются.

В основной массе основаниями для принятия отрицательных решений являются:

- Содержание документа, который заявлен для осуществления ГКУ и государственной регистрации прав, и его форма не соответствуют тем требованиям, которые предъявляет законодатель (п. 7 ч. 1 ст. 26 Закона № 218-ФЗ).

- Значительное количество отрицательных решений принято по причине ненадлежащего оформления кадастровыми инженерами межевых и технических планов.

- Не были представлены необходимые документы для выполнения процедуры ГКУ и государственной регистрации прав.

- Заявитель, обратившийся в ведомство для осуществления процедуры государственного кадастрового учёта и государственной регистрации прав, является ненадлежащим лицом (п. 2 ч. 1 ст. 26 Закона № 218-ФЗ).

- Имеются противоречия между заявленными и зарегистрированными правами (п. 3 ч. 1 ст. 26 Закона № 218-ФЗ).

- Не представлены (не поступили) документы (сведения, содержащиеся в них), запрошенные органом регистрации прав по межведомственным запросам, и представлена информация об отсутствии таких документов (п. 9, 10 ч. 1 ст. 26 Закона № 218-ФЗ).

Выводы

Наибольший процент отказов из анализируемых отрицательных решений вынесен на основании ч. 1 ст. 61 Закона № 218-ФЗ (ошибка, указанная в заявлении, не является технической ошибкой), а также пунктов 1-4 ч. 8 ст. 69 Закона № 218-ФЗ (решение об отказе во включении све-



дений о ранее учтённых объектах недвижимости в Единый государственный реестр недвижимости).

При проведении анализа установлено, что за 2019 г. (в сравнение с 2018 г.) значительно сократилось количество принятых отрицательных решений, связанных с приёмом документов на предоставление государственных услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева, Н. Г. Неправомерный отказ в регистрации прав на недвижимость и сделок с ней по результатам правовой экспертизы представленных документов / Н. Г. Ананьева, В. В. Курносова // Карельский научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 7-10.
2. Гречун, С. А. Понятие кадастровой деятельности в свете изменения законодательства о государственной регистрации недвижимости / С. А. Гречун // Аграрное и земельное право. – 2016. – № 8 (140). – С. 35-38.
3. Жаркова, О. А. Кадастровый учёт объектов недвижимости / О. А. Жаркова // Вестник экономического правосудия Российской Федерации. – 2014. – № 2. – С. 62-75.
4. Карпик, А. П. Разработка критериев оценки качества кадастровых данных / А. П. Карпик, В. Г. Колмогоров, А. В. Рычков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013. – № 4/С. – С. 133-136.
5. Государственные услуги [Электронный ресурс] // Портал услуг Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии. – Режим доступа: <https://rosreestr.ru/wps/portal> (дата обращения: 20.09.2020).
6. О государственной регистрации недвижимости: федеральный закон от 13 июля 2015 г. № 218-ФЗ (действующая редакция, 2019) [Электронный ресурс] / Консультант Плюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения: 13.09.2020).
7. Хабаровский край. Официальный информационный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.khabkrai.ru/khabarovsk-krai/Razvitie-kraya/197> (дата обращения: 18.10.2020).

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

Гринкруг Н. В., Чусова Е. А.
N. V. Grinkrug, E. A. Chusova

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРЬЕРОВ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

MODERN TRENDS IN ORGANIZATION OF EDUCATIONAL INSTITUTION INTERIORS

Гринкруг Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. +7(4217)53-10-23. E-mail: das@knastu.ru.

Natalya V. Grinkrug – PhD in Engineering, Associate Professor, Design of the Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., 27; tel. +7(4217)53-10-23. E-mail: das@knastu.ru.

Чусова Екатерина Анатольевна – студентка 5-го курса кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ivahnenko.ekaterina.1998@mail.ru.

Ekaterina A. Chusova – Student, Design of Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., 27. E-mail: ivahnenko.ekaterina.1998@mail.ru.

Аннотация. В статье рассмотрены современные тенденции организации интерьеров учебных заведений. Отражены основные принципы и качества проектирования, на которых основывается качественный и комфортный интерьер учебного заведения, а также проанализировано влияние колористического решения интерьера на процесс обучения, выявлены основные аспекты проектирования и параметры интерьера.

Summary. The article analyzes the current trends in the organization of the interiors of educational institutions. The basic principles and qualities on which a high-quality and comfortable interior of an educational institution is based are revealed. It also analyzes the influence of the coloristic solution of the interior on the learning process, and reveals the main aspects of design and interior parameters.

Ключевые слова: интерьер, влияние цвета, модель обучения, эргономика.

Key words: interior, color influence, teaching model, ergonomics.

УДК 721.012

Интерьер помогает сформировать среду, которая всегда влияет на человека и способствует его мироощущению. Поэтому важно создать такой дизайн, который будет оказывать положительный эффект на человека в любой сфере его деятельности. Хороший и правильный интерьер – это не просто красивое оформление стен, полов, подбор мебели, как принято считать. Это ещё и организация пространства, которое отвечает эргономическим требованиям и основывается на определённых качествах и принципах проектирования интерьеров современных учебных заведений [1].

К качествам интерьера учебного заведения, отвечающего всем современным нормам, относятся: отражение современных моделей обучения, ориентирование на обучающихся и стимулирование социальных взаимодействий. Ниже приведена краткая характеристика основных качеств интерьера:

1. Необходимость отражать современные модели обучения.

Модель обучения – это представленный в системе комплекс основных закономерностей организации деятельности ученика и учителя при осуществлении обучения.

В педагогике существует три основных модели обучения: пассивная, активная и интерактивная. В пассивной модели обучения обучающийся выступает в роли объекта обучения, он получает информацию от обучающего путём прослушивания или просматривания информации. В ак-

тивной модели обучения обучающийся выступает в роли субъекта обучения и получает информацию путём самостоятельной или творческой работы [3].

В интерактивной модели обучения происходит взаимодействие между обучающимся и обучающим в процессе интерактивных или ролевых игр. Полностью исключается доминирование какого-либо участника учебного процесса.

Учитывать в проектировании дизайна современные модели обучения важно, так как в зависимости от ситуации интерьер помещений будет отличаться.

Так, при пассивной модели обучения лучшим вариантом будет расположить мебель в аудитории таким образом, чтобы выделить учителя и обеспечить ученикам максимальный и комфортный способ получения информации, например расположив сидения в аудитории, как показано на рис. 1.

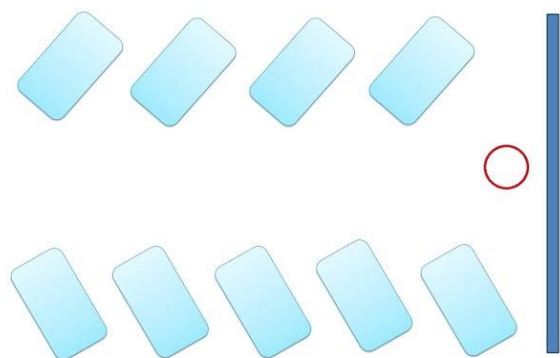


Рис. 1. Наилучшее расположение мебели в аудитории при пассивной модели обучения

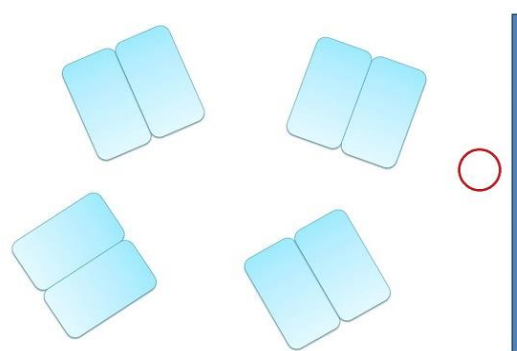


Рис. 2. Наилучшее расположение мебели в аудитории при активной модели обучения

Экспериментально установлено, что в памяти человека запечатляется до 10 % того, что он услышит, до 50 % того, что видит, и до 90 % того, что делает сам или в чём принимает участие. Поэтому при активной модели обучения необходимо располагать мебель таким образом, чтобы ученик мог комфортно самостоятельно получать информацию (см. рис. 2).

При интерактивной модели обучения важно обеспечить и ученику, и учителю возможность принимать активное участие в процессе и взаимодействовать друг с другом, поэтому наилучшим расположением мебели будет такое, при котором учитель находится в центре аудитории, а ученики вокруг (см. рис. 3). Так учитель активно будет взаимодействовать с каждым [3].

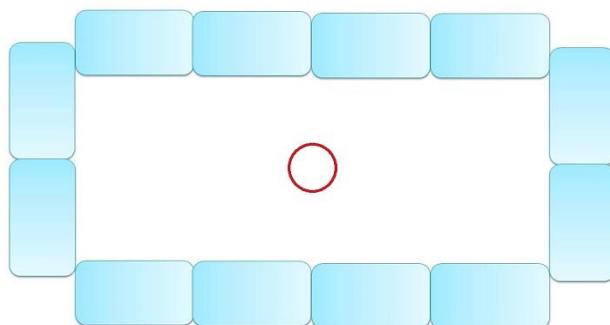


Рис. 3. Наилучшее расположение мебели в аудитории при активной модели обучения

На сегодняшний день в университетах и школах используют комбинацию из трёх моделей обучения, поэтому важно это предусмотреть при проектировании интерьера аудиторий.

2. Ориентирование на обучающихся, их возрастную группу.

Очевидно, что для разных возрастных групп интерьеры помещений будут отличаться. К примеру, при разработке интерьеров школьных классов будут использоваться более яркие цвета, более интересные формы (см. рис. 4), чтобы заинтересовать ребёнка и увлечь обучением. При разработке интерьеров аудиторий для студентов будут использоваться более приглушённые цвета, спокойные формы (см. рис. 5) для возможности сосредоточиться, сконцентрироваться на конкретной информации и усвоить её.



Рис. 4. Цветовое решение класса в начальной школе



Рис. 5. Цветовое решение аудитории в СПбГАСУ

3. Необходимость стимулировать социальное взаимодействие и способствовать развитию сотрудничества между субъектами образовательного процесса. Стимулировать социальное взаимодействие помогут не только хорошо оформленные аудитории, но и общие места отдыха и обучения: столовые, библиотеки, рекреации и т.д. (см. рис. 6).



Рис. 6. Интерьер кафе СПбГАСУ

Поэтому так важны грамотное использование, правильная и эффективная организация пространства учебных заведений, которые влияют на результаты обучения.

Конечно, само по себе образовательное пространство не может улучшить качество обучения, так как помещения являются лишь инструментом для педагогов и учеников, но при этом эффективное использование окружающей среды вуза значительно влияет на результат образовательной деятельности, совершённой в данном пространстве. Оно может, к примеру, увеличивать мотивацию, вселить желание учиться и впоследствии даже увеличить работоспособность.

Педагог и учащийся – это две наиболее важные фигуры в процессе обучения. Без одного не может существовать другого. От их отношений во многом зависит успех в получении информации

учеником. В основе обучения лежит общение. Через него педагог организует поведение и деятельность учеников, оценивает их работу и поступки, информирует о происходящих событиях, помогает преодолеть трудности, не потерять веру в свои способности. Важно обеспечить комфортную среду для процесса обучения, ведь интерьер также влияет на коммуникацию педагогов и обучающихся. Поэтому необходимо учитывать такие аспекты проектирования интерьера, как расстановка мебели, цвет помещения, качество мебели и её функциональность. Рассмотрим их более подробно.

1. Если использовать классическую расстановку мебели, доминирующая роль остаётся за педагогом, а ученики занимают пассивную позицию наблюдателя (см. рис. 7), что не способствует заинтересованности общающихся. Это подходит лишь для пассивной модели обучения, например для потоковых лекций, но при постоянной работе в такой модели интерес к обучению теряется.

При групповой же рассадке занятие будет проходить более интересно (см. рис. 8), так как вся группа будет находиться в коммуникации с преподавателем и чувствовать себя более свободно. Преподаватель уже не занимает полностью доминирующую позицию, и ученики чувствуют себя более комфортно и открыто, легче идут на контакт.



Рис. 7. Учебная аудитория КнаГУ,
кафедры ДАС



Рис. 8. Библиотека СпбГАСУ

Также к обучению располагают более тихие места обучения (см. рис. 9). Они предполагают неформальное общение без напряжения, что повышает активность учащихся. Такие места обучения подходят и для индивидуального изучения информации, чтения, отдыха и т.д.

2. Доказано, что даже цвет влияет на заинтересованность обучающихся, их настроение, а также на исследовательскую деятельность. Он является эмоциональным компонентом восприятия. Правильно и грамотно подобранный цвет является фактором, из-за которого на физиологическом уровне происходят задействие и активизация различных мозговых нейронов, вследствие чего определённая деятельность, учебная, творческая или спортивная, становится более продуктивной и ученик делает успехи.

Известно, что люди разных возрастных групп отдают предпочтения разным оттенкам, цветам, их насыщенности. Например, дети любят яркие цвета, которые привлекают внимание, взрослые же предпочитают более спокойные оттенки. Поэтому важно учитывать это при проектировании колористического решения образовательного учреждения и не только, знать особенности цветовосприятия, а также характерные свойства основных цветов. Всё это необходимо для создания в первую очередь комфортной атмосферы в различных по функции зонах, и, кроме того, стимулирования активности или пассивности, гармонии с освещением и интерьером в общем [4].



Рис. 9. Места индивидуального обучения

Гармония цвета в помещении достигается за счёт сочетания тёплых и холодных цветов. Кроме того, учитывается инсоляция помещения. К примеру, если окна ориентированы на южную сторону, то следует использовать в колористическом решении помещения преимущественно холодные цвета (синий, голубой, бирюзовый), чтобы помещение казалось более холодным. Аналогично, если ориентация окон на северную сторону, то лучшим решением будет использовать более тёплые оттенки, которые ассоциируются с солнечным светом, чтобы помещение казалось более тёплым: красный, жёлтый, оранжевый, коричневый цвета.

Каждый цвет может влиять на поведение или даже управлять им и направлять человека на определённый вид деятельности. Именно поэтому цветовые решения необходимо подбирать исходя из функции и назначения помещения.

К примеру, психологи выяснили, что жёлтый цвет стимулирует у обучающихся желание учиться и усваивать информацию. Кроме того, жёлтый цвет способствует уверенности в себе и развитию интуиции, заряжает хорошими эмоциями и вселяет позитивный настрой.

Зелёный, цвет травы, способствует долгой концентрации, сосредоточенности, успокаивает и даже влияет на сердечно-сосудистую систему.

Австралийскими учёными проводилось исследование, в котором принимали участие 150 студентов. Им давали задание, которое требовало повышенной концентрации. На экране компьютера появлялись различные цифры. Задание заключалось в том, что им было необходимо нажимать клавишу на каждой цифре, кроме 3. После психологи сделали перерыв и половине группы предложили посмотреть на зелёный луг, а второй группе на серые крыши зданий.

Исследования показали, что группа, смотревшая на луг, допустила меньше ошибок и показала хорошую концентрацию внимания, в то время как другая группа была менее сконцентрирована и показала результаты хуже. Таким образом, можно сказать, что зелёный цвет обеспечивает сосредоточенность на информации.

Одним из цветов, увеличивающих продуктивность, является синий. Также он успокаивает и снимает стресс. Научные исследования говорят нам о том, что люди, от которых требуется высокая умственная нагрузка (учёные, исследователи, обучающиеся), более продуктивны в помещениях, где присутствует синий цвет или голубые оттенки. Психологи рекомендуют использовать синий цвет в сочетании с оранжевым для стимуляции уровня концентрации внимания. Голубой цвет настраивает на положительные эмоции. Делает человека приветливым, спокойным. Кстати, переизбыток синего или голубого цветов создаёт чувство холода и апатии. Поэтому важно соблюдать баланс.

Красный – это цвет активности, он повышает аппетит, но переизбыток красного цвета утомляет и может вызвать агрессию. Чаще всего в интерьере используется как акцент. Розовый же цвет является успокаивающим и умиротворяющим, снижает активность.

Для каждого типа помещения подходит своё цветовое сочетание. Основными цветами всегда являются белый, чёрный и серый, остальные цвета являются акцентами. Важно также использовать не более трёх акцентных цветов, чтобы избежать перегруженности.

Например, для учебных аудиторий подходят жёлтый и зелёный цвета, так как они повышают продуктивность и концентрацию внимания. Следует избегать насыщенных оттенков красного и розового, так как они способствуют рассеиванию внимания и отвлекают от основной деятельности и учебного процесса.

Для аудиторий творческих дисциплин подходят нейтральные оттенки цветов, так как здесь требуется полёт фантазии. Белый цвет и светлые оттенки могут стать фоном для стимулирования воображения.



Коридоры следует оформлять в ярких цветах, так как они акцентируют внимание и могут служить навигацией для учеников и преподавателей. А вот пастельных цветов в коридорах лучше избегать, так как они увеличивают пространство и удлиняют его.

Общие пространства, холлы следует оформлять в зависимости от мероприятий, которые будут там проходить (активные или пассивные). Подходят зелёный, голубой, розовый, оранжевый, жёлтый цвета, так как они настраивают на активную или спокойную деятельность. Красный цвет лучше не использовать, так как он возбуждает активность и не позволяет отдохнуть.

Столовые предпочтительно оформлять в тёплых тонах, так как они повышают аппетит, и избегать холодных. А в спортивных залах или на площадках следует использовать цвета, пробуждающие активность: жёлтый, зелёный и т.д.

В актовом зале и аудиториях для потоковых лекций необходимо использовать яркие цвета, которые не встречаются в других помещениях учебного заведения, например, лиловый.

Основными принципами применения цветов можно назвать:

- использование нейтральных цветов (белый, чёрный) в качестве базового фона;
- использование акцентных цветов (зелёный, красный, жёлтый и т.д.);
- соблюдение гармонии цветов и их сочетаемости;
- внимание на возраст обучающихся, их психологические особенности;
- учёт функции помещения.

Таким образом, создание грамотного колористического решения окружающего пространства является одним из базовых принципов проектирования образовательной среды. Правильно подобранные цветовые сочетания будут помогать обучающимся развиваться, получать новую информацию, вдохновлять на активность и поддерживать интерес к обучению. Также важно, чтобы цветовые решения учитывали возрастную группу учащихся, их психологические и физические особенности. Цвет напрямую влияет на психологическое восприятие окружающей ученика среды обучения.

3. Немаловажным аспектом в дизайне учебных помещений является мебель.

Конечно, мебель в первую очередь должна быть эргономичной, безопасной и эстетичной. Эргономичная мебель должна обладать оптимальными параметрами с точки зрения биологии, способствовать высокой работоспособности.

Качества, которыми она должна обладать:

- удобство и возможность подстраиваться под нужды студента, ученика или педагога;
- доступность, оптимальные расстояния для габаритов человека;
- мобильность, трансформируемость;
- комфортность при использовании;
- безопасность при использовании;
- экологичность.

Эргономика в мебели помогает рационально использовать пространство и сохранить здоровье пользователей (учащихся, педагогов).

Таким образом, дизайнер, который работает с образовательными учреждениями (школами, университетами), должен обязательно учитывать влияние среды, влияние цвета, закономерности графического и интерьерного дизайна, законы психологии, педагогики, современные тенденции и специфику организации интерьеров учебных заведений. Объединив их, дизайнер получит качественный, комфортный, эргономичный и способствующий обучению и концентрации интерьер. Из этого следует, что дизайн учебного пространства включает в себя 3 параметра, которые являются основными:

- Эффективность – использование пространства с точки зрения планирования и зонирования, управления ресурсами помещений.

- Эргономичность – ориентированность на студентов и обучающихся, а также на педагогов. Создание среды с биологически оптимальными параметрами, что способствует работоспособности и концентрации.

- Оборудование пространства всеми необходимыми составляющими для безопасности и доступности среды, создание благоприятного окружения для удовлетворения участников среды и их потребностей.

Исходя из вышесказанного, дизайн интерьера можно разделить на следующие составляющие:

1. Особенности здания (конструкция, материалы здания, его возраст и т.д.). Это необходимо учитывать. Например, в некоторых зданиях важно не только создать комфортный интерьер, но и сохранить элементы дореволюционной архитектуры, так как они являются исторически важными. Также от возраста здание зависит планировочное решение и навигация. Кроме того, от этого может зависеть концепция всего дизайн-проекта и декоративное оформление.

2. Направление деятельности образовательного учреждения.

Дизайн должен подчёркивать основную деятельность учебного заведения. Таким образом, и педагоги, и ученики будут чувствовать себя частью большого целого.

Например, оформление кафедры IT будет отличаться от оформления кафедры архитектуры из-за различных направлений деятельности. Дизайн помещений IT будет более строгим и серьёзным (см. рис. 10), тогда как у помещений архитектурной кафедры интерьер будет более мягким и творческим (см. рис. 11).

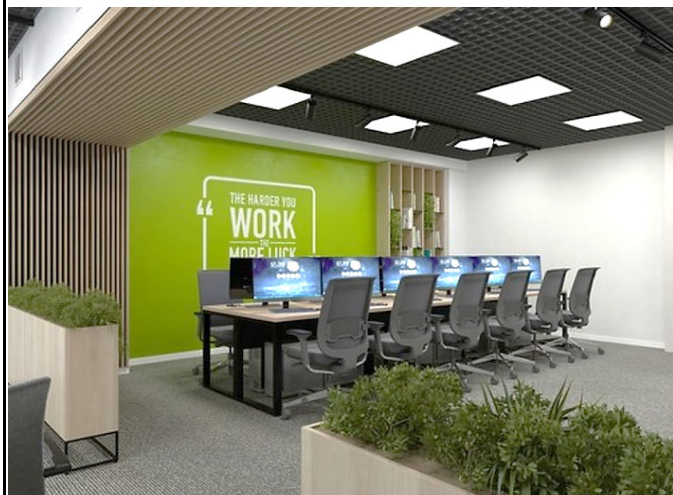


Рис. 10. Интерьер кафедры IT

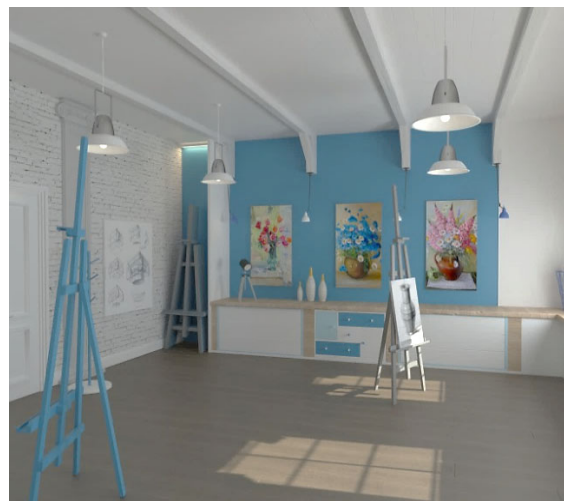


Рис. 11. Интерьер аудитории для дисциплин с художественной направленностью

3. Контингент обучающихся. Например, учебные заведения для учеников с ограниченными возможностями будут оборудованы специальными пандусами, санузлами, преобладающие цвета будут спокойными, не агрессивными, в то время как в учреждении, где учатся обычные люди, пространство будет открытым, цветовая гамма будет более яркая, настраивающая на активную деятельность.

4. Нормы и правила. Строительные нормы и правила (СНиП), санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН), противопожарные правила, образовательные стандарты – дизайнерам и проектировщикам необходимо всегда учитывать ограничения и нормы всех доступных нормативных документов и находить оптимальные решения для организации и обеспечения безопасного и доступного пространства.

5. Освещение функциональных зон.

Одним из самых важных элементов дизайна является освещение, благодаря которому можно не только изменить размеры помещения, но и выделить различные зоны. Освещение может влиять на эмоции, расслаблять или настраивать на активность. Освещение регулируется санитарно-эпидемиологическими нормами.



В учебных кабинетах освещение будет ярким для успешного усвоения и работы с материалами занятий, а также для стимулирования активности мозга.

В общественных зонах отдыха или тихих местах уединения освещение будет более мягким и тёплым для отдыха от активной деятельности и расслабления.

В больших лекционных аудиториях освещение будет направленное с выделением определённых зон. Сцену, где преподаватель будет читать лекцию, следует выделить ярким светом для акцентирования внимания, а места для сидения учеников – более приглушённым.

6. Эргономика, которая отвечает за совместимость пространства с людьми. Эта наука ориентируется на человека и его удобство.

Основными аспектами, с которыми работает эргономика, являются:

- размеры помещения, его функциональность;
- транзитные пути, перемещение людей в пространстве;
- цвета отделки помещений;
- температура, влажность, вентиляция, шумоизоляция, освещение и т.д.;
- эргономика мебели, её качество и размеры;
- расстановка мебели и оборудования.

Учитывать все аспекты эргономики очень важно, так как благодаря им человек чувствует себя в среде комфортно, что повышает его активность и в случае с обучением улучшает результаты.

Также необходимо выделить основные принципы организации современной образовательной среды [9].

Первый принцип – это открытость среды. Его суть заключается в том, что важно учитывать объединённость образовательной среды, отказаться от закрытого пространства и обеспечить доступность для всех участников, как для педагогов, так и для учеников. Это могут обеспечивать такие элементы, как панорамное остекление и большие пространства со стеклянными перегородками.

Вторым принципом является приватность среды. Его суть сводится к тому, что в таком пространстве человек имеет право на уединение для индивидуальной работы, чему способствует самостоятельное использование окружающего пространства. Для этого могут быть организованы индивидуальные рабочие места и места отдыха с розетками для личной техники.

Третьим принципом можно назвать эффективность пространства, то есть многофункциональность и наполненность среды.

Четвёртый принцип – трансформируемость пространства. Это возможность изменения среды в зависимости от ситуации. Данный принцип обеспечивается благодаря модульной и передвижной мебели, передвижным перегородкам, стульям на колесиках и т.д.

Пятый принцип – интерактивность, или возможность взаимодействия со средой, внесения в неё изменений, использование интерактивных поверхностей, таких как магнитные доски, зеркальные поверхности, QR-коды на стенах. Применимо к аудиториям дизайнеров и художников очень важен аспект, связанный с организацией мест хранения для учебных планшетов, мольбертов и т.д. К примеру, можно использовать специальные передвижные конструкции, которые легко трансформируются.

И, наконец, шестой принцип – доступность для всех категорий людей. Это обеспечивается благодаря навигации, специальным знакам и указателям, большим дверным проёмам, пандусам, поручням и т.д. Применение «дизайн-кода» в архитектурном пространстве необходимо, так как это помогает формировать общественную среду [10, 62-66].

Таким образом, после анализа всех доступных источников и с учётом всех вышеперечисленных качеств и принципов можно сказать, что при разработке интерьера учебного здания дизайнер должен создать целостную концепцию, которая будет основываться на размере и форме помещения, цветах, на применении колористического решения. В этой композиции всё должно быть связано между собой и иметь определённую закономерность. Всё это необходимо для комфортного пребывания всех участников образовательного процесса в среде учебного заведения, что в конечном счёте приводит к высоким результатам умственной деятельности и успешной работе и является основной целью функционирования любого учебного заведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкина, Е. Г. Проблемы в организации общественных пространств современного города и варианты их решения в студенческих проектах (на примере города Комсомольска-на-Амуре) / Е. Г. Галкина // Современные наукоёмкие технологии. – 2019. – № 3-2. – С. 140-145.
2. Галкина, Е. Г. Единство природно-архитектурного пространства в ландшафтном дизайне Комсомольска-на-Амуре / Е. Г. Галкина // XXVI Международная конференция ISUF 2019 Серия конференций IOP: Земля и наука об окружающей среде. – 2019. – Т. 459.
3. Особенности дизайна для образовательных учреждений [Электронный ресурс] / EDUDESIGN, 2013-2020. – Режим доступа: https://edudesign.ru/design_components (дата обращения: 12.12.2020).
4. Роль цвета в дизайне образовательных учреждений [Электронный ресурс] / EDUDESIGN, 2013-2020. – Режим доступа: https://edudesign.ru/color_part_1#rec201155570 (дата обращения: 12.12.2020).
5. Особенности проектирования мебели для школ и детских садов [Электронный ресурс] / EDUDESIGN, 2013-2020. – Режим доступа: https://edudesign.ru/furniture_design (дата обращения: 12.12.2020).
6. Сластенин, В. А. Педагогика / В. А. Сластенин, И. Ф. Исаев, Е. Н. Шиянов. – М.: Издательский центр «Академия», 2002. – 576 с.
7. Мурзина, А. С. Цвет в интерьере. Золотые правила дизайна / А. С. Мурзина. – М.: «Харвест», 2006. – 160 с.
8. Форти, А. Объекты желаний. Дизайн и общество с 1750 года / А. Форти. – М.: Издательство студии Артемия Лебедева, 2013. – 455 с.
9. Панеро, Дж. Основы эргономики. Человек, пространство, интерьер. Справочник по проектным нормам / Дж. Панеро, М. Зельник. – М.: Кладезь, 2006. – 320 с.
10. Сохацкая, Д. Г. Предметно-функциональный код как компонент дизайн-кода / Д. Г. Сохацкая // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2019. – № IV-2 (40). – С. 62-66.
11. Димитриади, Е. М. Комплексный подход к формированию колористики городской среды / Е. М. Димитриади // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2020. – № 1-2 (41). – С. 9-13.

Марьин С. Б., Куриный В. В., Вялов А. В.
S. B. Maryin, V. V. Kuriny, A. V. Vyalov

К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «АВИАСТРОЕНИЕ»: ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ

ON THE ANNIVERSARY OF THE AIRCRAFT ENGINEERING DEPARTMENT: HISTORY OF THE DEPARTMENT

Марьин Сергей Борисович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Авиастроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Sergey B. Maryin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Куриный Владислав Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Vladislav V. Kuriny – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Computer-Aided Design Systems, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Вялов Александр Вениаминович – кандидат технических наук, доцент (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: avvs56@mail.ru.

Aleksandr V. Vyalov – PhD in Engineering, Associate Professor (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: avvs56@mail.ru.

Аннотация. В статье представлены сведения по истории кафедры «Авиастроение» (Технология самолётостроения) Комсомольского-на-Амуре государственного университета, которая отмечает в этом году 60-летний юбилей.

Summary. Data on history of Aircraft engineering department (Technology of aircraft construction) of the Komsomolsk-on-Amur state university which celebrates 60-year anniversary this year are presented in article.

Ключевые слова: юбилей, кафедра «Авиастроение», история.

Key words: anniversary, department «Aircraft engineering», history.

УДК 908(470+571.620)

В этом году кафедра «Авиастроение» («Технология самолётостроения») Комсомольского-на-Амуре государственного университета отмечает свой 60-летний юбилей. Несмотря на различные трудности, связанные с изменениями в стране, кафедра продолжает свою работу по подготовке специалистов авиационной промышленности как для авиастроительных предприятий Комсомольска-на-Амуре, так и для предприятий страны.

В 1956 году под эгидой кораблестроительного факультета в Комсомольском-на-Амуре вечернем политехническом институте (КНАВПИ) была открыта специальность «Самолётостроение». Это произошло буквально через год после создания института. В соответствии с Приказом № 116 от 3 июня 1960 года по КНАВПИ, на основании Приказа МВО и СО РСФСР № 390 от 20 мая 1960 года с 1 сентября 1960 года были организованы самолётостроительный факультет и кафедра «Технология самолётостроения». Штат кафедры был укомплектован в основном специалистами авиационного завода «почтовый ящик № 40», известном теперь как Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина. В 1961 году состоялся первый выпуск инженеров по вечерней форме обучения. Тогда же был вручён и первый диплом с отличием.

Стал формироваться костяк кафедры «Технология самолётостроения». Появились молодые преподаватели, приехавшие из разных районов страны. Среди них А. Д. Абрамов – выпускник фи-

зико-математического факультета Казанского университета. Другими известными преподавателями стали выпускники Куйбышевского авиационного института 1959 года Ю. Б. Дробот и Р. М. Бе-
ляшов. В 60-е годы на кафедру пришли работать выпускники Куйбышевского и Казанского авиа-
ционных институтов В. П. Гоголин, К. В. Жеребко, Б. Н. Корнев, А. И. Никитин. В эти же годы
состав кафедры пополнился выпускниками дневного отделения самолётостроительного факульте-
та КНАВПИ. На кафедру пришли работать Г. А. Колыхалов, С. С. Новгородский – выпускники
1964 года, Р. И. Гусева – выпускница 1968 года.

В 1964 году состоялся первый выпуск инженеров по дневной форме обучения. Эта группа
поступила в КНАВПИ в 1958 году на вечернюю форму обучения, но в 1960 году была переведе-
на на дневную форму обучения и окончила институт как первый выпуск самолётчиков-
дневников.

Первым заведующим кафедрой «Технология самолётостроения» стал Р. М. Бе-
ляшов, вы-
пускник Куйбышевского авиационного института (КуАИ) 1959 года, защитивший в 1968 году
кандидатскую диссертацию.

Р. М. Бе-
ляшов руководил кафедрой с 1960 по 1963 год, затем долгие годы работал на ка-
федре «Технология самолётостроения».

В 1963 году кафедру возглавил Ю. Б. Дробот. Он был заведующим кафедрой с 1963 по
1968 годы. Выпускник КуАИ 1959 года, защитивший в 1965 году кандидатскую диссертацию.
Доктор технических наук (1990 г.).

В 1968 году кафедру возглавил С. С. Новгородский, выпускник КНАПИ 1964 года.
С. С. Новгородский был заведующим кафедрой дважды: с 1968 по 1969 и с 1971 по 1972 годы.

В. П. Гоголин был заведующим кафедрой с 1969 по 1971 годы. В. П. Гоголин – выпускник
Казанского авиационного института (КАИ) 1962 года, защитивший в 1968 году кандидатскую
диссертацию.

К. В. Жеребко был заведующим кафедрой с 1972 по 1973 годы. Выпускник КАИ 1961 года,
в 1971 году защитил кандидатскую диссертацию.

А. И. Никитин был заведующим кафедрой с 1973 по 1976 годы. Анатолий Иванович вы-
пускник КуАИ 1968 года, защитивший в 1974 году кандидатскую диссертацию.

Выпускник КАИ 1966 года Б. Н. Корнев был заведующим кафедрой с 1976 по 1981 годы.
Борис Николаевич защитил кандидатскую диссертацию в 1972 году. С 1989 по 1990 годы, и с 1992
по 1993 годы, был деканом самолётостроительного факультета.

А. А. Казанцев был заведующим кафедрой с 1981 по 1983 годы. В 1970 году он закончил
самолётостроительный факультет КНАПИ и работал в институте в должности ассистента кафедры
«Технология самолётостроения». В 1977 году закончил аспирантуру Московского авиационного
института. С 1982 по 1987 годы А. А. Казанцев был деканом самолётостроительного факультета.

Р. И. Гусева возглавляла кафедру с 1983 по 1985 годы. Р. И. Гусева – выпускница КНАПИ
1968 года, защитившая кандидатскую диссертацию в 1975 году. С 1985 года по 1986 год исполня-
ла обязанности декана самолётостроительного факультета. С 1993 по 2007 годы – заместитель де-
кана факультета авиа- и кораблестроения. С 1986 по 1993 годы и с 2007 года по февраль 2020 года –
заместитель декана самолётостроительного факультета.

И. В. Чепурных был заведующим кафедрой «Технология самолётостроения» с 1996 по
2001 год. И. В. Чепурных – выпускник самолётостроительного факультета КНАПИ (1975 г.), в
1985 году защитил кандидатскую диссертацию. Работал на кафедре «Технология самолётострое-
ния» с 1990 по 2018 годы.

С. И. Феоктистов – выпускник самолётостроительного факультета КНАПИ 1971 года. Док-
тор технических наук, профессор. Работал заведующим кафедрой «Технология самолётостроения»
с 1985 по 1995 год, и с 2001 по 2014 год. С 1990 по 1992 год, и с 2007 по 2020 год – декан самолё-
тостроительного факультета. С 1992 по 1999 год работал проректором по научной работе
КНАГТУ, с 2001 по 2007 год – проректором по информатизации и инновациям КНАГТУ.



А. В. Бобков работал заведующим кафедрой «Технология самолётостроения» с сентября 2014 года по февраль 2020 года. Выпускник Сибирского государственного аэрокосмического университета (г. Красноярск), доктор технических наук, профессор.

В связи с изменением организационной структуры университета кафедра получила новое наименование «Авиастроение». С июля 2020 года заведующим кафедрой «Авиастроение» становится доктор технических наук, доцент С. Б. Марьин, который в 2001 году закончил Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет по специальности «Самолёто- и вертолётостроение».

Долгое время на кафедре работал А. А. Семейкин, который был первым деканом дневного отделения. В 1959 году окончил Харьковский авиационный институт, после чего был направлен на авиационный завод. В 1964 году исполнял обязанности, а с 1965 года вступил в должность декана самолётостроительного факультета и работал деканом до 1982 года.

Выпускник первого выпуска дневного отделения Г. А. Колыхалов с 1964 года работал на кафедре «Технология самолётостроения». С 1970 по 1971 год исполнял обязанности декана самолётостроительного факультета КНАПИ, затем длительное время работал старшим преподавателем кафедры «Технология самолётостроения». С 1993 по 2017 год работал начальником научно-исследовательского отдела КНАГТУ.

На кафедре в разное время работали: Ю. И. Болотин, А. Г. Генов, В. Б. Золотухин, В. А. Тихомиров, В. А. Карюкин, С. А. Андреев, А. В. Голоколос, Г. Г. Федорова, В. В. Фролов, А. В. Инзарцев (декан самолётостроительного факультета с марта 1987 по февраль 1989 года), В. И. Елин, К. А. Макаров, А. Н. Тачалов, Е. Е. Поздеева, Д. Ю. Танненберг, А. В. Вялов, В. Е. Леонкин, Д. Г. Колыхалов, С. В. Белых, А. А. Перевалов, Л. А. Зайцева, А. В. Кривушенко, Ю. И. Рудой, Н. А. Дермановская, Е. С. Рамзина.

В феврале 2020 года кафедра «Технология самолётостроения» была переименована на кафедру «Авиастроение» и в состав кафедры вошли сотрудники упразднённой кафедры «Механика и анализ конструкций и процессов».

В настоящее время на кафедре «Авиастроение» работают:

- Бобков А. В., доктор технических наук, профессор;
- Бормотин К. С., доктор физико-математических наук, профессор;
- Гусева Р. И., кандидат технических наук, профессор;
- Леонкин Е. В., заведующий лабораториями факультета авиационной и морской техники;
- Лопатин А. А., техник 1-й категории;
- Погарцева М. М., старший преподаватель;
- Потянихин Д. А., кандидат технических наук, доцент;
- Марьин С. Б., доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Авиастроение»;
- Феоктистов С. И., доктор технических наук, профессор;
- Щербатюк Г. А., кандидат технических наук, доцент;
- Колошенко Ю. Б., старший преподаватель.

Совместителями на кафедре «Авиастроение» работают:

- Буренин А. А., доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН;
- Зотов Е. Н., доцент;
- Козин В. М., доктор технических наук, профессор;
- Куриный В. В., кандидат технических наук, доцент;
- Лозовский И. В., старший преподаватель;
- Макаренко С. В., старший преподаватель.

Всего за время своего существования кафедра выпустила более 3500 авиационных инженеров. В период стабильного существования, который пришёлся на 70–80-е годы, кафедра осуществляла ежегодный набор по специальности «Самолёто- и вертолётостроение» на дневное отделение в количестве 50 человек, на вечернюю и заочную форму обучения – по 30 человек. Ежегод-

ный выпуск специалистов составлял не менее 80–90 человек. Это позволяло кафедре иметь до 12 штатных преподавателей. В настоящее время набор осуществляется по специальности 24.05.07 «Самолёто- и вертолётостроение» (30 студентов, обучающихся на бюджетной основе) на очную форму обучения, и 15-20 студентов обучаются заочно, также с 2017 года открыто направление 24.03.04 «Авиастроение» по подготовке бакалавров (16-20 студентов обучающихся на бюджетной основе) на очную форму обучения, и 15 студентов обучаются на очно-заочной форме обучения.

Кроме того, в последние годы кафедра проводит набор на ускоренную заочную форму обучения (3,5 года) на базе среднего профессионального образования. При сложившихся нормативах на учебную нагрузку это позволяет на сегодняшний день иметь в штате кафедры 9 преподавателей, 1 заведующего лабораториями, 1 техника.

Сегодня учебный процесс на кафедре «Авиастроение» осуществляют 9 преподавателей: 5 профессоров (среди них 4 доктора наук и 1 кандидат наук), 2 доцента (все они – кандидаты наук) и 2 старших преподавателя. Пять преподавателей ведут руководство аспирантами, где обучение проходят как молодые инженеры, недавно окончившие вуз, так и ведущие специалисты Комсомольского-на-Амуре авиационного завода им. Ю. А. Гагарина и Производственного центра Филиала ПАО «Корпорация «Иркут» «Региональные самолёты», а также 2 иностранных аспиранта из Сирии и Республики Союз Мьянма. С 2008 года кафедра начала подготовку студентов из КНР по направлению «Авиа- и ракетостроение». В настоящее время по направлению «Авиастроение» обучаются студенты из КНР, Киргизии и Таджикистана.

Ряд выпускников кафедры связали свою дальнейшую деятельность с высшей школой. В КнАГУ работало около 30 инженеров-авиастроителей: П. Г. Ткаченко, М. И. Разумовская, В. И. Сенина, С. В. Золотарева и др. Некоторые из выпускников кафедры продолжают работать и в настоящее время: В. П. Котляров, В. А. Тихомиров, В. А. Инзарцев, В. И. Зайков, Л. В. Тихомирова, Б. В. Шишкин, Е. Е. Поздеева, Н. Н. Грязнова. За годы существования кафедры более 40 выпускников защитили кандидатские диссертации, 10 человек – докторские диссертации. Выпускники кафедры были директорами авиазаводов: КнААПО им. Ю. А. Гагарина, ААПО «Прогресс» им. Н. И. Сазыкина (г. Арсеньев), АО «Вертолёт России» (г. Москва). Начиная с 1981 года и по настоящее время руководителями филиала ОКБ им. П. О. Сухого в г. Комсомольске-на-Амуре (в настоящее время отделение ОКБ им. П. О. Сухого) являются выпускники кафедры «Авиастроение» КнАГУ.

Около 80 % начальников цехов, отделов, главных специалистов на Комсомольском-на-Амуре авиационном заводе им. Ю. А. Гагарина, Производственном центре ПАО «Корпорации «Иркут» – Филиал «Региональные самолёты» и Арсеньевском авиационном производственном объединении им. Н. И. Сазыкина являются выпускниками кафедры.

Среди выпускников кафедры – губернатор, депутаты Государственной думы, глава г. Комсомольска-на-Амуре, три почётных гражданина г. Комсомольска-на-Амуре. Выпускники кафедры трудятся не только в сфере авиастроения и занимаются преподавательской деятельностью, но и в других областях, например, банковской сфере, работают юристами. Главный редактор журнала «САПР и графика», директор «Комсомольских тепловых сетей» также являются выпускниками кафедры.

В статье представлены лишь некоторые сведения по истории кафедры «Авиастроение» КнАГУ. Возможно, в тексте имеются неточности, к сожалению не так много данных о составе преподавателей и сотрудников кафедры за период с 1960 по 1980 год. Работа по сбору материалов о кафедре «Авиастроение» продолжается, все замечания и дополнительную информацию можно передать лично авторам статьи или выслать на электронную почту по адресу: as@knastu.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко, В. Пора зрелости: Комсомольскому-на-Амуре государственному техническому университету 50 лет / В. Иващенко. – Хабаровск: Дальневосточное книжное издательство «Приамурские ведомости», 2005. – 192 с.
2. Колыхалов, Д. Г. Взлётная полоса университета: Самолётостроительному факультету КнАГТУ-50 лет / Д. Г. Колыхалов, С. И. Феоктистов. – Комсомольск-на-Амуре, 2010. – 138 с.

*Посвящается светлой
памяти выдающегося
учёного
**Владимира Алексеевича
Кима***



Ректорат и коллектив Комсомольского-на-Амуре государственного университета, редакция журнала «Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета» глубоко скорбят по поводу кончины доктора технических наук, профессора

**КИМА ВЛАДИМИРА
АЛЕКСЕЕВИЧА**
(07.06.1952 – 07.01.2021)

7 января 2021 года ушёл из жизни доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного университета Ким Владимир Алексеевич. Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, член-корреспондент Российской инженерной академии.

Владимир Алексеевич прожил достойную жизнь, был человеком блестящего интеллекта и огромной эрудиции. Его больше нет с нами. Но осталось его богатое научное наследие, его ученики, которые будут продолжать дело своего наставника. Осталась добрая память об этом прекрасном, светлом, душевно щедром, подлинно интеллигентном человеке.

Владимир Алексеевич родился 07 июня 1952 года в г. Дальнегорске Приморского края Тетюхинского района. В 1974 году окончил Ташкентский политехнический институт по специальности технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты. В 1984 году защитил кандидатскую диссертацию в Киевском политехническом институте по специальности 05.03.01 – «Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент», а в 1995 году защитил докторскую диссертацию в Донском техническом университете по той же специальности. В 1997 году ему было присвоено учёное звание профессора по кафедре «Технология конструкционных материалов».

С 1974 по 1993 годы В. А. Ким работал в Ташкентском политехническом институте на кафедре «Технология машиностроения» вначале учебным мастером, затем старшим инженером, ассистентом и доцентом. С 1993 по 1999 годы работал в Амурском государственном университете (г. Благовещенск) заведующим кафедрой «Технология конструкционных материалов», а впоследствии директором Института наукоёмких технологий и заведующим кафедрой «Физическое материаловедение и лазерные технологии». С 1999 по 2000 годы работал в Институте материаловедения ДВО РАН (г. Хабаровск) заместителем директора по научной работе, а также заведующим лабораторией



«Физическое материаловедение». В 2000 году стал заведующим кафедрой «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

Профессор В. А. Ким являлся высококвалифицированным специалистом, обладающим глубокими профессиональными знаниями, большим жизненным опытом и организаторскими способностями. Стаж научной и педагогической работы составил более 40 лет. Владимир Алексеевич вёл все виды учебных занятий и спецкурсов, читал разработанные и поставленные им на кафедре материаловедения специальные курсы, такие как «Механические и физические свойства материалов», «Технология обработки поверхностей», «Электротехнология в машиностроении», «Компьютерная металлография», «Проектирование и производство заготовок». Под его руководством были разработаны и внедрены учебные планы двухуровневой системы подготовки бакалавров и магистров по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

Под его руководством осуществлялась реорганизация работы кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», были модернизированы новые учебные лаборатории, создана кафедральная библиотека учебно-методической литературы, организованы базы учебно-производственных практик на предприятиях г. Комсомольска-на-Амуре. При его участии были созданы совместная с Институтом материаловедения ДВО РАН научно-исследовательская лаборатория «Композиционные материалы» и совместная с ООО «РН-Комсомольский НПЗ» лаборатория «Неразрушающие методы контроля». В течение всего периода научной и педагогической деятельности профессор В. А. Ким занимался решением важной научно-технической проблемы повышения износостойкости режущего инструмента и поверхностей трения, упрочнённых концентрированными потоками энергии и вещества. С приходом в 2000 году на кафедру материаловедения КНАГТУ им было начато и по сей день продолжается направление в области разработки количественных методов компьютерной металлографии, разработана математическая модель дислокационной структуры металлических материалов при импульсном тепловом воздействии, позволяющая рассчитывать упрочнение материала при импульсном лазерном воздействии и электроискровом легировании. На основании этой модели обоснованы и экспериментально подтверждены режимы лазерного локального легирования, позволяющие создавать модифицированные структуры с помощью лазеростимулированной восходящей диффузии в твёрдофазной среде без оплавления материала; предложена методика выбора состава легирующей шликерной обмазки, исключающая после лазерной обработки финишную механическую обработку; на основе теоретических обобщений и развития представлений о механизмах упрочнения металлов и сплавов разработана методика сравнительной оценки и упрочнения металлов и сплавов за счёт микролокального легирования и деформационного наведения различных дефектов кристаллического строения; обобщён анализ образования поверхностей при электроискровом легировании и установлена активная роль газовой межэлектродной среды в формировании упрочнённых структур; исследована роль вторичных структур на рабочих поверхностях легирующего электрода при электроискровом легировании и электрода-инструмента при электроэрозионной обработке; на основании полученных результатов разработаны методы повышения эффективности электроискрового упрочнения, производительности и точности электроэрозионной обработки, а также стойкости электрода-инструмента. В. А. Кимом разработана термодинамическая модель адгезионного изнашивания режущего инструмента и пары трения, учитывающая процесс структурной приспособляемости поверхностей в период приработки.

В период работы профессором В. А. Кимом были разработаны методы повышения стойкости путём предварительной приработки, эффективность которых наиболее высока применительно к зуборезным и прецизионным инструментам, научная новизна этих исследований подтверждена авторскими свидетельствами. Разработана методика ускоренного определения износостойкости материала, позволяющая получать зависимость между скоростью и интенсивностью изнашивания и номинальными нормальными контактными нагрузками. На основе термодинамики фазо-структурных превращений предложены количественные показатели микроструктуры поликристаллических материалов и разработан комплект компьютерных программ для их вычисления, повышающие степень объективности при анализе микро- и мезоструктур. На основе полученных количественных структурных показателей уточнён деформационный механизм стружкообразования и развития

обработанной поверхности при резании металлов; выявлены особенности функционирования ротационно-поворотных вихрей и механизм объединения зёрен в кластеры при высокоскоростной пластической деформации; раскрыт механизм повышения твёрдости при магнитной обработке закалённых сталей; получена количественная связь между микроструктурой и характеристиками акустического сигнала при ультразвуковом сканировании материала; на основании выполненных исследований разработаны технологии неразрушающего метода контроля, которые периодически выставлялись на Всероссийских выставках инновационных проектов и были удостоены серебряной медали и грамот. Все эти исследования входят в Федеральную программу научно-экономического и социального развития Дальнего Востока.

Коллективы под научным руководством профессора В. А. Кима работали по программе развития Дальнего Востока России, отраслевым грантам Министерства энергетики, плану АН СССР (1985–1992) и РАН (1993–2009) единым заказ-нарядам Министерства образования РФ и хозяйственным проектам Хабаровского края. На основании выполненных исследований разработаны технологии лазерного и электроискрового упрочнения режущего инструмента и поверхностей пар трения. При его участии был спроектирован и внедрён участок лазерного упрочнения поворотной опоры кабины экскаватора на Ташкентском тракторном заводе, а также участок электроискрового упрочнения прецизионных развёрток на Ташкентском инструментальном заводе в период с 1985 по 1990 гг.

Разработанные В. А. Кимом методики количественной оценки микроструктур используются на ряде машиностроительных и металлургических предприятий Хабаровского края, в частности ООО «Амурсталь» и Филиал ПАО «Компания «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод им. Ю. А. Гагарина».

За годы работы в вузе профессором В. А. Кимом внесён большой вклад в становление и развитие научной школы, подготовку и повышение квалификации научно-педагогических кадров, укрепление связей вуза с научными учреждениями и вузами дальнего и ближнего зарубежья, в частности с Киевским национальным техническим университетом, Харьковским национальным техническим университетом, Крымским индустриально-педагогическим университетом, Ташкентским государственным техническим университетом, Харбинским институтом науки и технологии и др.

Под руководством В. А. Кима функционировала и в настоящее время продолжает свою работу аспирантура и докторантура по специальности 05.19.09 – Материаловедение (в машиностроении). Под его руководством было защищено 9 кандидатских и одна докторская диссертация.

Большое внимание Владимир Алексеевич уделял связям высшей школы с институтами РАН, являлся членом совета Института машиноведения и металлургии ДВО РАН. Профессор В. А. Ким выступал с докладами на международных, всесоюзных, республиканских, региональных, отраслевых и краевых съездах, симпозиумах, конференциях, совещаниях и семинарах.

В. А. Ким является автором более 200 научных работ. За большую работу по подготовке высококвалифицированных специалистов, научно-педагогическую деятельность В. А. Ким награждён нагрудным знаком «Почётный работник высшего и профессионального образования РФ». Являлся председателем Амурского филиала Лазерной ассоциации России, член Ассоциации материаловедов России.

Владимир Алексеевич был разносторонне одарённым, творческим и деятельным человеком. Он увлекался рисованием, лепкой, знал несколько языков: английский, корейский, узбекский.

Это большая утрата для родных, близких, друзей, коллег и учеников, для отечественной науки. Он всегда останется в наших сердцах как светлый, добрый человек с большой буквы и профессионал своего дела.

Теперь и всегда каждый из нас будет вспоминать о Киме Владимире Алексеевиче, о том, каким он был и какой след оставил в душе каждого из нас.

Ректорат, факультет машиностроительных и химических технологий,
кафедра «Материаловедение и технологии новых материалов»,
отдел редакции журнала «Учёные записки КНАГТУ»,
коллеги и друзья

Содержание

Научное издание

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

Андрианов И. К.

ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЁННОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНКУРИРУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО И СИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ 4

Попова О. В., Григорьев Я. Ю., Жарикова Е. П., Григорьева А. Л.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОСВЕЩЁННОСТИ..... 10

Григорьева А. Л., Григорьев Я. Ю., Ломакина Н. С., Хряпенко К. Д.,

Альхименко И. Н., Чепурных М. А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И СУДАХ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ 19

Иванов С. Н., Колесник М. Б., Колошенко Ю. Б., Просолович А. А., Ким К. К.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С УЧЁТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ 29

Максимова Н. А., Черный С. П., Сухоруков С. И.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТЫХ НЕЧЁТКИХ СИСТЕМ С АЛГОРИТМОМ ВЫВОДА МАМДАНИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА..... 37

Мүллер Н. В., Младова Т. А.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА..... 51

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Иванищев Ю. Г., Давыдов В. М.

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ (НОРМАЛИЗОВАННОЙ И НАТУРАЛЬНОЙ) НА ИХ АДЕКВАТНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ 58

Пицык В. С., Дмитриев Э. А., Муравьев В. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФИЗИЧЕСКОГО КОНТАКТА НЕРАЗЪЁМНОГО СОЕДИНЕНИЯ, СОЗДАННОГО ХОЛОДНОЙ ТУГОЙ ПОСАДКОЙ ВАЛА ВО ВТУЛКУ ИЗ СПЛАВА ОТ4-1 69

Феокистов С. И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТЯГИВАЮЩИХ УСИЛИЙ ВДОЛЬ ОБРАЗУЮЩЕЙ ПУАНСОНА С УЧЁТОМ ТРЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ 76

Щелкунов Е. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Е., Карпенко В. А., Красиков Н. А.

МЯГКИЕ РОБОТЫ..... 83

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Кычкин А. А., Лебедев М. П., Ананьева Е. С., Кычкин А. К., Туисов А. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО 92

Ри Хосен, Ри Э. Х., Живетьев А. С., Ким Е. Д.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БОРИДОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВ ХРОМА МАГНИЙТЕРМИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ В ИОННЫХ РАСПЛАВАХ..... 98

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Коротеева Л. И.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРИОСТАНОВЛЕНИЙ И ОТКАЗОВ В ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО КАДАСТРОВОГО УЧЁТА ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ 102

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Гринкруг Н. В., Чусова Е. А.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕРЬЕРОВ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ 107

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

Марьин С. Б., Куриный В. В., Вялов А. В.

К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «АВИАСТРОЕНИЕ»: ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ 116

ПОСВЯЩАЕТСЯ СВЕТОЙ ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЁНОГО ВЛАДИМИРА АЛЕКСЕЕВИЧА КИМА.....120

Учёные записки КНАГТУ
2021 № I (49)
Науки о природе и технике

Выпускающий редактор
С. Н. Иванов

Подписано в печать 25.03.2021
Дата выхода в свет 29.03.2021

Формат А4.
Бумага офисная 80 г/м².
Усл. печ. л. 13,63.
Уч.-изд. л. 17,18.
Тираж 200. Заказ 30259.

Отпечатано в типографии
КНАГУ
681013,
г. Комсомольск-на-Амуре,
пр. Ленина, д. 27.

