

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА
AVIATION, ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

Колыхалов Д. Г., Марьин Б. Н., Сысоев О. Е.
D. G. Kolykhalov, B. N. Maryin, O. Ye. Sysoyev

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖИДКОСТНО-ГАЗОВЫХ СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF THE AIRCRAFT LIQUID-GAS
SYSTEMS**

Колыхалов Дмитрий Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); +7(962)2868966. E-mail: dgk.knastu@mail.ru.

Mr. Dmitrii G. Kolykhalov – PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Computer Aided Design, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7(962)2868966. E-mail: dgk.knastu@mail.ru.

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(914)1778755. E-mail: mariynsb@mail.ru.

Mr. Boris N. Maryin – Doctor of Engineering, Professor, Department of Mechanical Engineering and Metallurgy, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7 (914)1778755. E-mail: mariynsb@knastu.ru.

Сысоев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); +7 (4217) 241-141. E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Oleg Ye. Sysoyev – Doctor of Engineering, Professor, Dean of the Faculty of Cadastre and Civil Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7 (4217) 241-141. E-mail: fks@knastu.ru.

Аннотация. Данная работа посвящена жидкостно-газовым системам летательных аппаратов и их конструктивно-технологическому анализу. В работе приведена характеристика трубопроводных магистралей, рассмотрены типы рабочих жидкостей и газов, приведен диапазон воспринимаемых внутренних давлений. В работе приведена классификация трубопроводов летательных аппаратов по условиям их работы, с учетом воспринимаемого внутреннего давления, приведена классификационная схема основных групп и типов соединений трубопроводов и патрубков. В работе рассмотрены схемы неразъемных соединений, выполненных при помощи пайки и сварки, а также разъемных подвижных и неподвижных соединений различного типа. Также в работе рассмотрены комбинированные соединения. На основе проведенного анализа были разработаны классификационные схемы трубопроводов систем летательных аппаратов в зависимости от типа системы, давления. Разработана классификационная схема соединений трубопроводов в зависимости от способа разъема соединения, подвижности, наличия прокладок. Работа иллюстрирована примерами соединений различного типа.

Summary. This article is devoted to the gas-liquid systems of the aircraft and their structural and technological analysis. The paper shows the characteristics of pipelines, considers the types of working fluids and gases and covers the range of perceived internal pressures. The paper presents the classification of pipelines of flying vehicles from the point of view of their working conditions, taking into account the perceived internal pressure. The article also shows the classification scheme of major groups and types of pipe connections and fittings. The article focuses on the scheme of permanent joints made with soldering and welding, as well as the split of mobile and fixed joints of different types. The authors study the combined connections. The authors have also developed classification schemes of aircraft piping systems that depend on the system pressure. A classification scheme of piping connections, depending on the method of connection, mobility, presence of seals is singled out. The research is illustrated with examples of compounds of different types.

Ключевые слова: жидкостно-газовые системы, трубопроводы, соединения трубопроводов, рабочее давление, классификационная схема.

Key words: liquid-gas systems, piping, piping connections, operating pressure, the classification scheme.

УДК 621.7.04

Трубопроводные магистрали жидкостно-газовых систем летательных аппаратов (ЛА) предназначены для соединения источников энергии систем (насосов, гидроаккумуляторов, баллонов) с потребителями энергии или исполнительными механизмами (силовыми цилиндрами, гидроусилителями, демпферами, гидромоторами и др.). Эта связь осуществляется подачей от источников к потребителям рабочего вещества (жидкости или газа) под давлением через управляющие и распределительные устройства (краны, клапаны, золотники и др.) по системе трубопроводов.

В зависимости от функций, выполняемых бортовыми системами, в трубопроводах находятся под давлением различные типы жидкостей или газов. Например, в топливных системах применяется керосин Т-1 (Т-2) или бензин Б-70, в гидравлических – минеральное масло АМГ-10 или масло 7-50С-3, в воздушных – сжатый воздух или азот, в противопожарных – углекислый газ или смесь паров бромистого этила, хлороформа и т.д.

Рабочее давление в трубопроводах современных самолетов (вертолетов) может достигать значительных величин. Например, в гидравлических системах используются рабочие давления порядка 16...24 МПа. Газогазовые системы работают под давлением 15 МПа. При относительно низком давлении работают топливные, масляные, противообледенительные, высотные и другие системы [1].

Трубопроводы различных систем могут быть классифицированы по условиям их работы на изделия в зависимости от эксплуатационного рабочего давления. Построенный по этому признаку классификатор приведен на рис. 1.

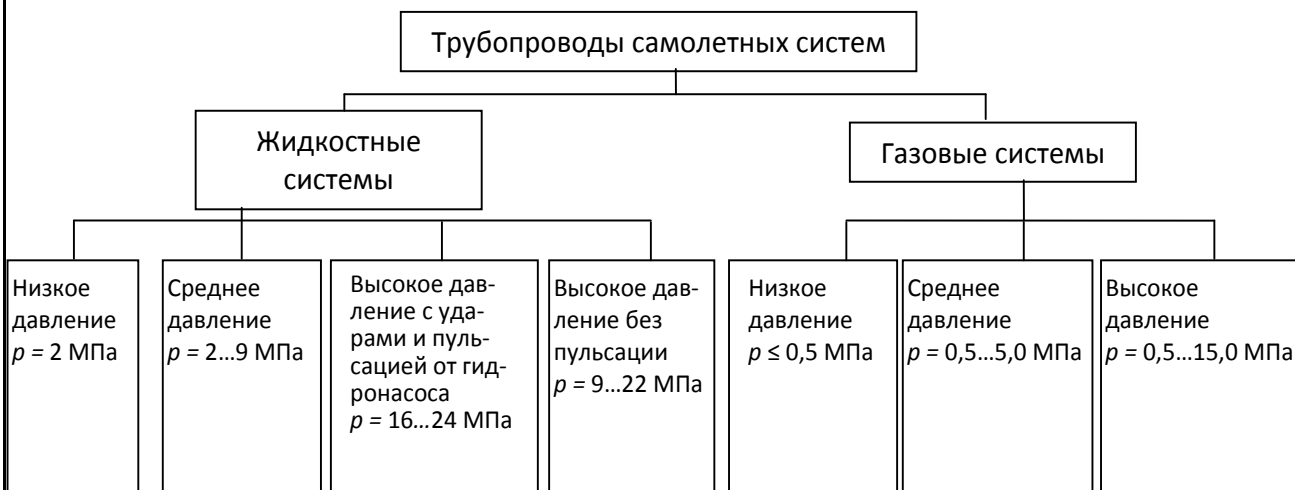


Рис. 1. Классификатор трубопроводов (по условиям работы)

По своей конструкции трубопроводы различных типов ЛА в общем аналогичны. Отдельный трубопровод состоит из самой трубы и деталей соединительной арматуры, служащих для соединения трубопроводов агрегатами и между собой. В конструкции некоторых соединений трубопроводов применяются уплотнительные детали (кольца, прокладки), изготавливаемые из металла или различных эластичных неметаллических материалов.

Трубопроводы изготавливаются из бесшовных холоднокатанных или холоднотянутых заготовок труб. Трубопроводы необходимой формы (конфигурации) изготавливаются путем гибки заготовок труб различными методами. При гибке труб различных систем современных изделий должны строго выдерживаться их геометрические размеры и контуры [2].

В конструкциях современных изделий применяется множество типов соединений трубопроводов и патрубков между собой и с агрегатами систем. На рис. 2 приведена классификационная схема основных групп и типов соединений трубопроводов и патрубков [3].

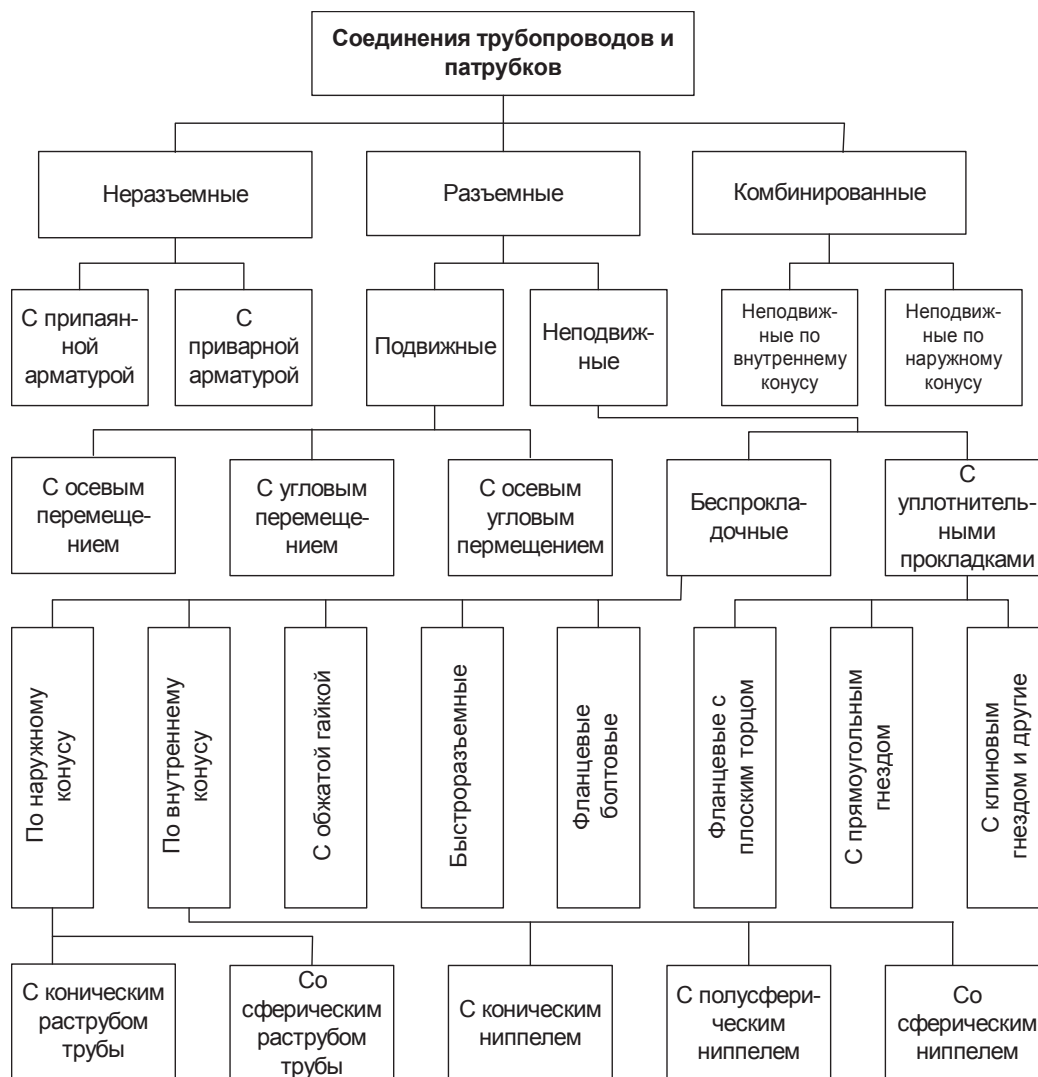


Рис. 2. Классификационная схема основных групп и типов соединений трубопроводов и патрубков

В настоящее время используются соединения трубопроводов самого различного типа, которые можно подразделить на три группы: разъемные, неразъемные и комбинированные.

К первой группе относятся все виды паяных и сварных соединений. Их надежность зависит в основном от выбора конструкции соединяемых элементов, а также от технологии и режимов пайки и сварки. Соединения этого типа наиболее просты по конструкции, но не допускают ремонта трубопроводных коммуникаций (рис. 3).

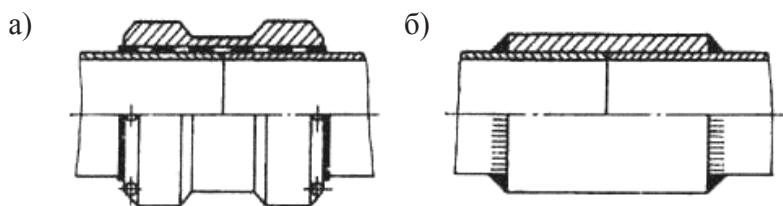


Рис. 3. Схемы неразъемных соединений трубопроводов, выполненных с помощью пайки (а) и сварки (б)

Во вторую группу входят разъемные соединения всех типов, которые могут быть собраны и демонтированы без применения каких-либо технологических приемов, связанных с исправлением элементов соединения. Допускается замена уплотнительных элементов (колец, прокладок и т.д.).

Разъемные соединения могут быть подвижными и неподвижными [3]. К подвижным относятся соединения, у которых во время работы изделия происходит относительное перемещение контактных поверхностей, обеспечивающих герметичность (рис. 4).

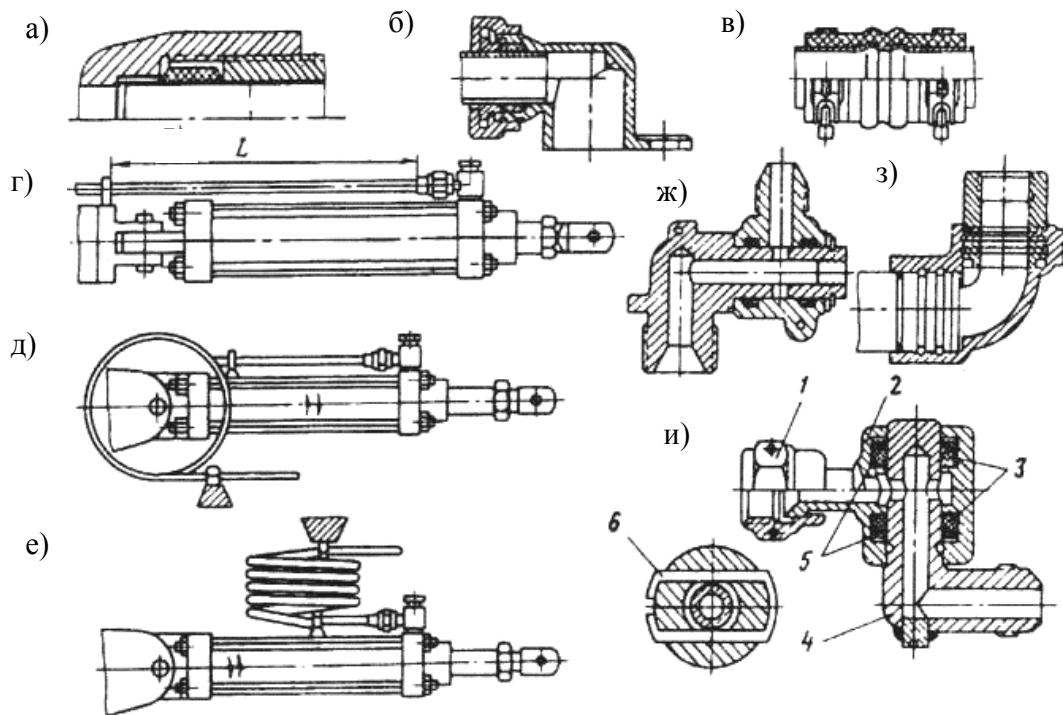


Рис. 4. Схемы разъемных подвижных соединений трубопроводов:

- а – с уплотнительными кольцами; б – с телескопическими соединениями;
- в – с дюритовой муфтой; г – пружинного типа; д – со спиральной пружиной;
- е – с цилиндрической пружиной; ж, з – шарнирные соединения с одной и двумя степенями свободы соответственно; и – поворотные соединения: 1 – обжимная гайка; 2 – муфта;
- 3 – уплотнительное кольцо; 4 – угольник; 5 – защитная шайба; 6 – шпилька

С помощью подвижных соединений компенсируются осевые и угловые неточности, возникающие во время сборки коммуникаций в месте соединения трубопроводов, а также термическое расширение последних. К подвижным соединениям относятся телескопические соединения различного типа.

В разъемных неподвижных соединениях контактирующие поверхности не испытывают относительных перемещений во время работы системы. С помощью этих соединений нельзя компенсировать неточность изготовления и термические изменения коммуникаций. К соединениям такого типа относятся различные беспрокладочные соединения по внутреннему и наружному конусам (рис. 5), быстроразъемные беспрокладочные соединения (рис. 6), фланцевые соединения (рис. 7), а также соединения с уплотнительными элементами (рис. 8).

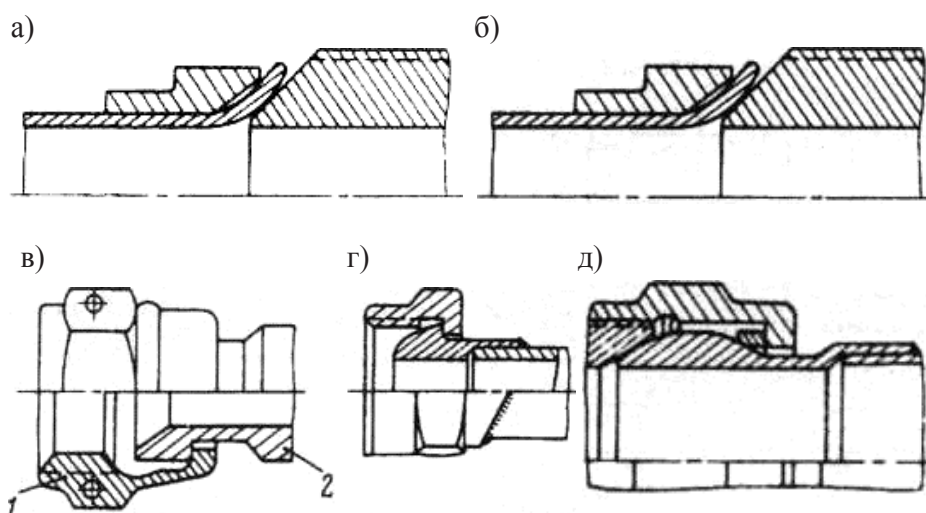


Рис. 5. Схемы разъемных неподвижных беспрокладочных соединений трубопроводов по наружному конусу с конусной (а) и сферической (б) развальцовками; по внутреннему конусу с обжатой гайкой (в: 1 – гайка; 2 – ниппель-труба), с полусферическим (г) и сферическим (д) ниппелями

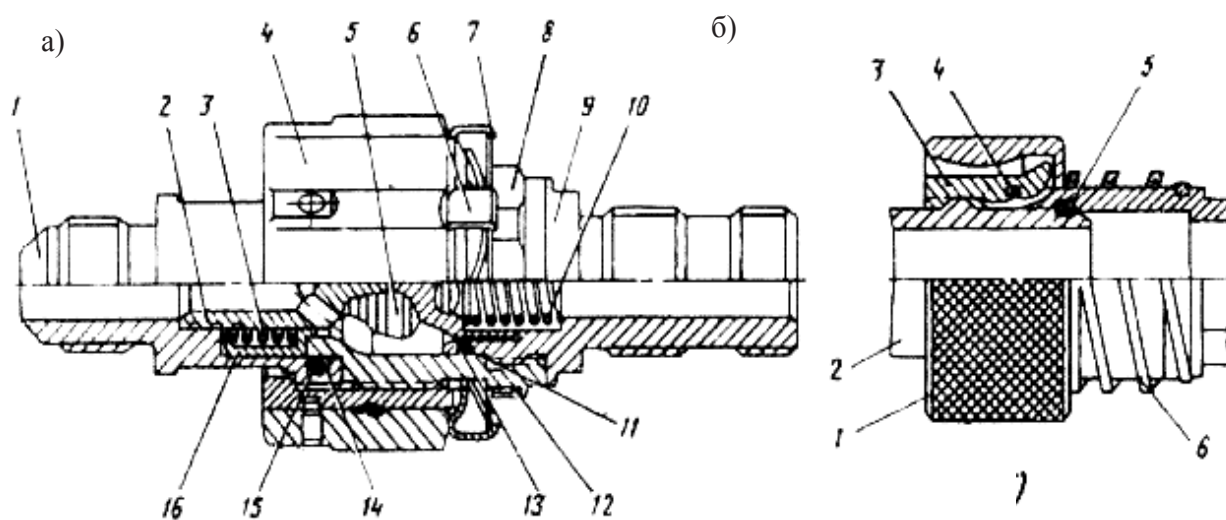


Рис. 6. Схемы быстроразъемных неподвижных беспрокладочных соединений трубопроводов: а – разъемный клапан: 1 – штуцер; 2 – клапан; 3, 10 – пружины; 4 – гайка в сборе (гайка, обойма, штифт); 5 – клапан; 6 – пружина; 7 – контрольная шайба; 8 – корпус; 9 – штуцер; 11, 15 – уплотнительные кольца; 12 – обойма; 13, 14 – защитные шайбы; 16 – втулка; б – цангового типа: 1 – обойма; 2 – наконечник; 3 – кулачок; 4 – кольцо; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – пружина

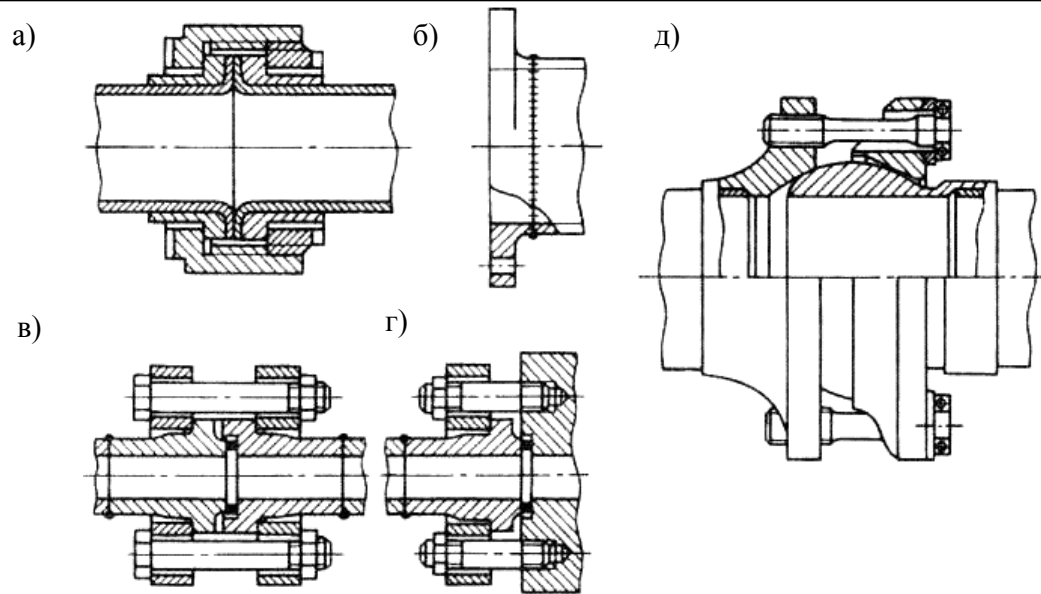


Рис. 7. Схемы разъемных неподвижных беспрокладочных фланцевых соединений с развальцовкой труб на торен (а), сварных соединений (б), с накидным фланцем (в, г) и сферического соединения (б)

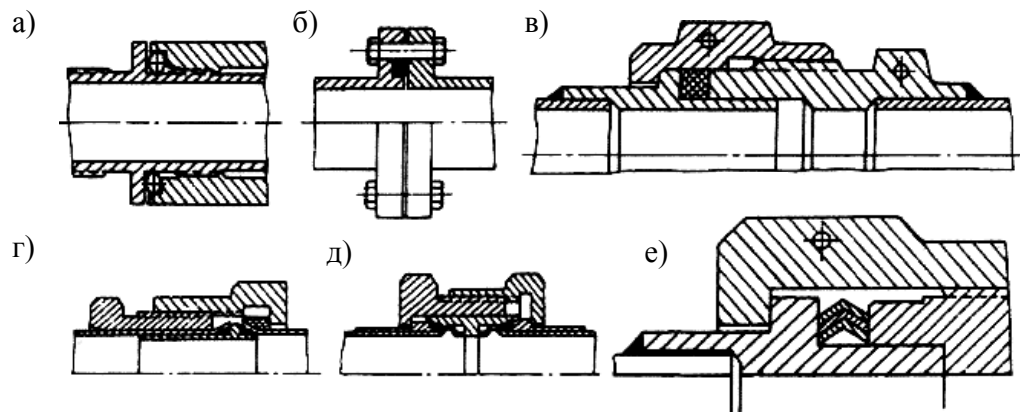


Рис. 8. Схемы разъемных неподвижных фланцевых соединений трубопроводов с уплотнительными прокладками: а – с трубчатыми кольцевыми уплотнениями; б – с резиновыми кольцами; в – с прямоугольными гнездами; г, д – с клиновыми гнездами; е – с упругими пластинчатыми элементами

Разъемные соединения трубопроводов составляют многочисленную группу и широко применяются в различных областях народного хозяйства. Большое распространение в изделиях авиационной техники получили соединения по наружному и внутреннему конусам.

Комбинированные соединения трубопроводов составляют третью группу (рис. 9). Эти соединения по герметичности так же надежны, как и неразъемные (паяные или сварные), но в то же время допускают переборки. Комбинированные соединения предназначены для стыковки трубопроводов, транспортирующих агрессивные среды, а также для работы в условиях вакуума.

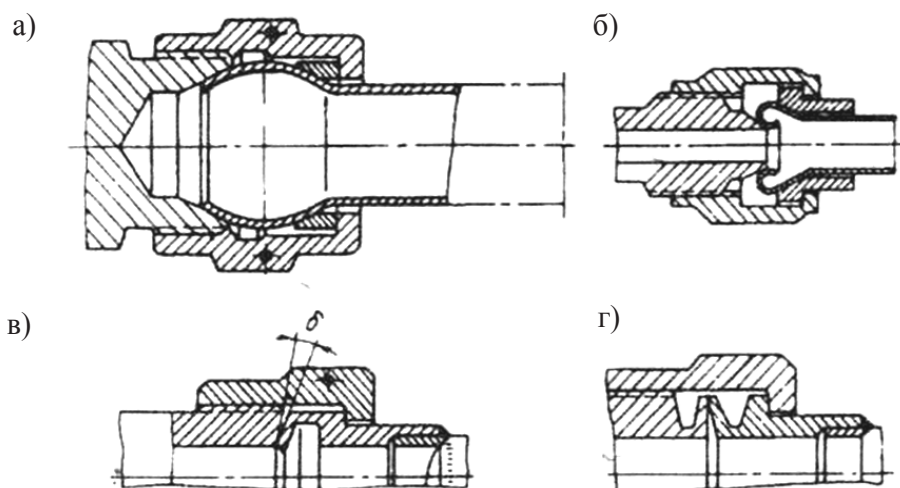


Рис. 9. Схемы комбинированных неподвижных соединений трубопроводов по внутреннему (а) и наружному (б) конусам, с упругими ниппелями (в) и упругим ниппелем и штуцером (г)

В качестве материалов для изготовления труб и арматурных деталей применяются стали и сплавы из цветных металлов различных марок [4].

Наружные и внутренние поверхности деталей трубопроводов защищаются от коррозии различными способами в зависимости от марки материала детали и рабочего вещества, находящегося в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьин, Б. Н. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов / Б. Н. Марьин, В. М. Сапожников, Ю. Л. Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1998. – 400 с.
2. ОСТ 1.42378-88...ОСТ 1.42386-88. Трубы и патрубки авиационные бортовые. Классификация по группам точности. – М.: Изд-во НИАТ, 1988. – С. 39-42.
3. Хейн Вин Зо Анализ процессов и интенсификация изготовления деталей летательных аппаратов методом обжима и раздачи трубных заготовок / Хейн Вин Зо // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2015. – № II-1(22). – С. 13-19.
4. Марьин, Б. Н. Интенсификация формообразования деталей из трубчатых заготовок / Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов, В. М. Сапожников; под ред. Б. Н. Марьина. – М.: Машиностроение, 1996. – 176 с.

Скрипилев А. А., Скрипилев А. А., Ткаченко А. В.
A. A. Skripilev, A. A. Skripilev, A. V. Tkachenko

ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

PARAMETERS OF RELIABILITY OF ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS

Скрипилев Александр Александрович – доцент кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Aleksandr A. Skripilev – Associate Professor, Electrical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin str. E-mail: kem@knastu.ru.

Скрипилев Александр Александрович – старший диспетчер Центральной диспетчерской службы «филиал Дальневосточный» ОАО «Оборонэнерго» (Россия, Хабаровск); 680014, г. Хабаровск, Восточное шоссе, 30А. E-mail: info@dv.oln.sv.

Mr. Aleksandr A. Skripilev – Chief controller, Central Control Unit, Far East Branch, JSC «Oboronenerg» (Russia, Khabarovsk); 680014, Khabarovsk, 30A, Vostochnoye road. E-mail: info@dv.oln.sv.

Ткаченко Андрей Владимирович – главный инженер муниципального унитарного производственного предприятия электрических сетей г. Комсомольска-на-Амуре (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Просвещения, 1. E-mail: mupes@td-net.ru.

Mr. Andrey V. Tkachenko – Chief Engineering Officer, municipal unitary production enterprise of Komsomolsk-on-Amur electrical power systems (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Komsomolsk-on-Amur, 1, Prosveshchenia Str. E-mail: mupes@td-net.ru.

Аннотация. В статье приводятся теоретические основы надежности систем электроснабжения, качественные и количественные показатели надежности, понятия и определения, характерные для объектов электроснабжения. Дается оценка влияния перерывов электроснабжения на ущерб, наносимый потребителям электроэнергии. Показано, что эффективность электроэнергетики страны зависит от надежности систем электроснабжения. Определены причины ненадежности основного и вспомогательного оборудования централизованных и автономных источников электроэнергии, к которым относятся старение и износ элементов, трудности технологического характера. Показаны пути совершенствования и повышения надежности электроснабжения потребителей в современных условиях. Определены принципы и средства обеспечения надежности, представлены унифицированные методы анализа и оценки показателей надежности на протяжении жизненного цикла систем электроснабжения на основе показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости отдельных элементов с учетом их структурирования.

Summary. This article describes the theoretical basis of reliability of power supply system. It also provides qualitative and quantitative indicators of reliability, concepts and definitions, specific to the objects. The authors evaluate the impact of the interruption of electricity supply on damage to consumers of electricity. It is shown that the effectiveness of the country's electricity depends on the reliability of power supply systems. The authors determine causes of unreliability of main and auxiliary equipment of centralized and autonomous power sources, which include aging and wear-prone components, difficulties of technological nature. The research shows ways to improve and enhance the reliability of electricity in modern conditions. The authors identify the principles and means to ensure the reliability, represent universal methods of analysis and measurement of reliability during the life cycle of electrical systems based on reliability indicators, durability, reparability and persistence of units, taking into account their structuring.

Ключевые слова: система электроснабжения, надежность, резервирование, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, численные показатели надежности.

Key words: power supply system, reliability, redundancy, durability, maintainability, persistence, numerical indicators of reliability.

УДК 621.316.1

Проблема надежности любой технической системы, в том числе электрических станций, подстанций, линий электропередач, силовой, защитно-коммутационной управляющей, контрольно-диагностической информационной аппаратуры, представляет в настоящее время одну из главных проблем современной энергетики. Обеспечение необходимого уровня надежности систем электроснабжения имеет большое народнохозяйственное значение, т.к. перерывы в подаче электроэнергии могут привести к значительному материальному ущербу для потребителей, обусловленному недостатком электроэнергии в результате аварий, исчисляемому несколькими миллиардами киловатт-часов в год. И только постоянное совершенствование методов проектирования, технологии производства, монтажа, эксплуатации и прогнозирование развития энергетических систем позволяет в некоторой степени повысить их надежность.

Проблема надежности применительно к системам электроснабжения понимается как бесперебойное и качественное электрическое питание потребителей, поэтому к системам электроснабжения предъявляются следующие основные требования:

- системы электроснабжения должны быть по возможности наиболее простыми, удобными в эксплуатации, пригодными для ремонта и оперативного обслуживания;
- схемы подстанций и сетей должны обеспечивать вывод электрооборудования с минимальными перерывами в электроснабжении;
- система электроснабжения должна обеспечивать потребителей электроэнергией после соответствующих переключений с учетом использования резервирования.

Надежность электроснабжения напрямую определяет возможность нормального функционирования потребителей. Перебои в электрообеспечении могут привести к значительному экономическому ущербу. С этой точки зрения надежность является экономической категорией, связанной с анализом материальных потерь потребителей. В связи с этим проблему повышения надежности следует рассматривать как комплексную технико-экономическую проблему, сопоставляя при этом затраты на проведение дополнительных мер с уменьшением ущерба от перерывов электроснабжения.

Основным способом повышения надежности на сегодняшний день является введение избыточности, которая на практике проявляется в следующих формах:

- 1) резервирование элементов, устройств и систем, т.е. повышение надежности путем введения структурной, функциональной, временной, информационной избыточности;
- 2) совершенствование схемно-конструктивных решений и качества используемых электротехнических решений;
- 3) совершенствование системы планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания электрооборудования;
- 4) разработка и внедрение автоматизированных систем контроля и управления процессами в электроэнергетических системах.

Избыточность в системах электроснабжения обеспечивается с помощью широкого спектра технических средств:

- релейной защиты от коротких замыканий;
- автоматического повторного включения;
- автоматического включения резерва;
- автоматического регулирования возбуждения;
- автоматической частотной разгрузки;
- увеличения пропускной способности межсистемных связей;
- использования резервных дизельных электростанций и т.д.

Второй не менее важной задачей, которую осуществляют электроэнергетические системы, является снабжение потребителей электроэнергией заданного качества. К понятию качества электроэнергии относятся как отказы в электроснабжении, так и нарушения и искажения формы питающего напряжения, поступающие из энергосистемы (грозовые разряды, различные коммута-

ционные напряжения, провалы напряжения). Искажения в электрическую систему нередко вносят и сами электроприемники с нагрузкой резкопеременного характера (преобразователи, мощные дуговые печи, электрический транспорт).

Требования по надежности электротехнических изделий в целом изложены в ГОСТ 20.39.312-85 «Комплексная система общих технических требований. Изделия электротехнические. Требования по надежности», а требования к системам электроснабжения потребителей – в нормативном документе «Правила устройства электроустановок». В соответствии с последними все электроприемники разделяются на три категории.

I категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой:

- опасность для жизни людей;
- значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования;
- массовый брак продукции;
- нарушение сложного технологического процесса или функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Особо выделяется группа электроприемников I категории, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. К данной группе электроприемников относятся, например, электродвигатели насосов водоохлаждения доменных печей и электродвигатели механизмов поворота конвертеров в черной металлургии. Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. Это местные электростанции, электростанции энергосистем (шины генераторного напряжения), специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

II категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит:

- к массовому недоотпуску продукции;
- массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта;
- нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для электроприемников II категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады. Допускается питание электроприемников II категории по одной воздушной линии, в том числе с кабельной вставкой, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта этой линии за время не более суток. Кабельные вставки этой линии должны выполняться двумя кабелями, каждый из которых выбирается по наибольшему длительному току воздушной линии. Допускается питание электроприемников II категории по одной кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, присоединенных к одному общему аппарату. При наличии централизованного резерва трансформаторов и возможности замены поврежденного трансформатора за время не более суток допускается питание электроприемников II категории от одного трансформатора.

III категория – все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий.

Для электроприемников III категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают одних суток.

Качество электрической энергии нормируется по ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Сводная информация о категориях надежности приведена в табл. 1.

Таблица 1

Категории надежности электроснабжения

Категория	Количество источников	Примечание
Особая группа первой категории	3	В качестве третьего (второго) независимого источника можно использовать дизель-электрические станции или источники бесперебойного питания
Первая категория	2	
Вторая категория	2 (1)	Рекомендуется питание от двух источников
Третья категория	1	Количество источников питания не нормируется

Вопросы обеспечения надежности возникают при эксплуатации любого технического устройства, поэтому для использования унифицированных методов анализа и воспроизводимости оценки показателей надежности принята единая терминология, которая приведена в национальном стандарте РФ ГОСТ Р 53480-2009 «Надежность в технике. Термины и определения». При этом основными терминами, характерными для объектов электроснабжения, наряду с общими терминами, определениями и основными понятиями, можно считать следующие:

- понятия, относящиеся к состоянию и временам;
- понятия, относящиеся к отказам и неисправностям;
- величины и показатели безотказности, долговечности и сохраняемости;
- понятия, величины и показатели, относящиеся к техническому обслуживанию и его поддержке;
- показатели готовности;
- понятия, относящиеся к разработке и анализу.

Вышеуказанный стандарт позволяет рассматривать надежность как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, которые характеризуют способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения, транспортирования и после ремонтов.

Традиционно считается, что надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения состоит из сочетаний следующих свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости. Кроме того, для объектов, являющихся потенциально опасными, к которым следует отнести и электроэнергетические объекты, важными понятиями являются «безопасность», «живучесть» и «устойчивость», которые требуют их учета при проектировании и эксплуатации.

Безотказность характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при регламентированной системе технического обслуживания и производимых ремонтов.

Ремонтпригодность – это приспособленность объекта к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость – свойство объекта, характеризующее его способность выполнять в заданных пределах требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

С позиции теории надежности изделие может находиться в исправном состоянии, неисправном, работоспособном и неработоспособном, причём термин «исправное состояние» шире, чем понятие «работоспособное состояние». Работоспособный объект (в отличие от неисправного) удовлетворяет лишь требованиям нормативно-технической документации. Эти требования обеспечивают его нормальное функционирование. Работоспособное изделие может быть неисправным, однако его повреждения не настолько существенны, чтобы могли препятствовать его функционированию.

Объект переходит из работоспособного в неработоспособное состояние вследствие события, которое называется отказом. В теории надежности понятие отказа занимает одно из главных мест, т.к. теория надежности – это наука, изучающая закономерности появления отказов в различных технических системах. Время возникновения отказа зависит от большого числа случайных факторов, зачастую между собой никак не связанных. В связи с этим рассчитывать время возникновения отказа достаточно трудно, а еще труднее его измерить.

Отказы классифицируются:

- по характеру проявления (внезапные и постепенные);
- связи с параллельно появляющимися отказами (зависимые и независимые);
- физической картине процесса (катастрофические и параметрические);
- степени влияния на работоспособность объекта (полные и частичные).

Кроме того, отказы подразделяются на конструкционные, производственные и эксплуатационные. Следует заметить, что границы между категориями отказов достаточно условны. Одни и те же отказы могут трактоваться по-разному в зависимости от того, рассматривается изделие отдельно или является составной частью другого изделия.

Отличительной особенностью понятия «сбой» от понятия «отказ» является то, что восстановление работоспособного состояния может быть обеспечено без производства ремонта.

Для ряда элементов, составляющих энергетическую систему, физическое изнашивание связано и с календарной продолжительностью эксплуатации, и с объемом работы изделия. В связи с этим наработку изделия, работающего непрерывно, следует измерять в единицах календарного времени, в то время как для изделий, работающих в повторно-кратковременном и кратковременном режимах, наработку можно выражать через объем произведённой работы или число рабочих циклов. Строго говоря, принципиальная разница между наработкой и временем отсутствует, поэтому наработка, ресурс и остаточный ресурс относятся к категории временных понятий.

Применительно к конкретному изделию в качестве временных показателей применяются термины «наработка до отказа», «наработка между отказами», «время восстановления», «ресурс», «срок службы», «срок сохраняемости», «остаточный ресурс», причём опыт эксплуатации электротехнических изделий показывает, что вышеуказанные показатели характеризуются значительным статистическим разбросом.

Показатели надежности имеют количественные характеристики, которые определяются в соответствии со статистической теорией надежности, причём эти параметры могут оцениваться как единичными, так и комплексными показателями, которые в отличие от единичных количественно характеризует не менее двух свойств, составляющих надежность. В качестве таких показателей обычно рассматриваются:

- коэффициент готовности, характеризующий вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме времени, в течение которого его применение по назначению не предусмотрено;
- коэффициент оперативной готовности, характеризующий надежность изделия;
- коэффициент вынужденного простоя, определяющий вероятность того, что в произвольный момент времени объект окажется в неработоспособном состоянии;
- коэффициент технического использования.

Коэффициент готовности k_{Γ} позволяет учесть время, затраченное на восстановление объекта, и определяется следующим соотношением:

$$k_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} = \frac{T_p}{T_p + T_B},$$

где t_{pi} – i -й интервал времени исправной работы элемента (наработка на отказ); t_{bi} – интервал времени восстановления элемента после i -го отказа; n – число отказов.

Таким образом, коэффициент готовности показывает относительное время нахождения электрооборудования в состоянии готовности к применению в процессе эксплуатации, характеризуя два свойства электрооборудования: его безотказность и ремонтпригодность, но не учитывает простои электрооборудования при проведении плановых мероприятий по эксплуатации электроустановок.

Коэффициент оперативной готовности k_{OG} представляет собой вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени и, начиная с этого момента времени, будет безотказно работать в течение заданного интервала. Заметим, что вероятность нахождения объекта в работоспособном состоянии в любой момент времени характеризуется коэффициентом готовности, а работоспособность объекта в течение заданного интервала времени $(t + \Delta t)$ определяется вероятностью безотказной работы, следовательно

$$k_{OG} = k_{\Gamma} \cdot \left(1 - \frac{n(t)}{N}\right), \quad (1)$$

где $n(t)$ – число объектов, отказавших на интервале времени Δt ; N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени t .

Кроме стационарного коэффициента оперативной готовности, определяемого по выражению (1), различают нестационарный коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в заданный момент времени t , отсчитываемый от начала работы, и будет работать безотказно в течение заданного интервала времени Δt , и средний коэффициент оперативной готовности, т.е. усредненное на заданном интервале времени Δt значение нестационарного коэффициента оперативной готовности.

Коэффициент вынужденного простоя k_{Π} представляет собой отношение времени вынужденного простоя к сумме времен работоспособного состояния и вынужденных простоев за один и тот же календарный отрезок времени

$$k_{\Pi} = 1 - k_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{в}}}.$$

Коэффициент готовности и вынужденного простоя связаны между собой относительным коэффициентом простоя $k_{\Pi O}$:

$$k_{\Pi O} = \frac{k_{\Pi}}{k_{\Gamma}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{р}}}.$$

Коэффициент технического использования $k_{\text{ТИ}}$ представляет собой отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, связанных с техническими обслуживаниями и ремонтами объекта за тот же период времени. На основании статистических данных коэффициент технического использования определяется следующим соотношением:

$$k_{\text{ТИ}} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + T_{\text{р}\Sigma} + T_{\text{ТО}\Sigma}},$$

где T_{Σ} – суммарная наработка объекта (например, за год); $T_{p\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за плановых и неплановых ремонтов; $T_{ТО\Sigma}$ – суммарное время простоев оборудования из-за проведения планово-предупредительных технических обслуживаний.

Коэффициент технического использования по сравнению с коэффициентом готовности является более универсальным и общим показателем, т.к. учитывает все виды простоев объекта.

К потребительским качествам систем электроснабжения относится способность системы к обеспечению надежного питания электропотребителей, поэтому оценка дефицита мощности и недоотпуск электроэнергии и связанная с этим показателем оценка ущерба от ненадежности электроснабжения приобретают особую важность и актуальность.

В технической литературе по надежности систем электроснабжения [1; 2] рекомендуется рассматривать две составляющие ущерба, одна из которых определяется числом перерывов при заданной мощности нагрузки (до перерыва) и стоимостью ущерба от внезапного перерыва, а вторая зависит от величины удельного ущерба и математического ожидания недоотпущенной энергии.

Для годовых графиков нагрузки предприятий с трёхсменным режимом работы и коэффициентом заполнения графика, близким к единице, недоотпуск электроэнергии (дефицит мощности) $P_g(t)$ может быть определён при известном среднем ожидаемом числе перерывов электроснабжения и соответствующих величинах отключаемых нагрузок. Для предприятий с резко изменяющимся графиком потребления электроэнергии технико-экономические расчёты ведутся по количеству недоотпущенной энергии. Если отказ в работе объекта произошёл в момент t_0 , а восстановление работоспособного состояния длилось t_b , то возникает дефицит мощности $P_g(t)$:

$$P_g(t) = P(t) - P_p,$$

где $P(t)$ – текущее значение мощности; P_p – резервное значение мощности.

Так как время возникновения отказа и время восстановления работоспособного состояния объекта – случайные величины, то значение дефицита мощности $P_g(t)$ и соответствующее значение недоотпуск электроэнергии $\Delta W_a(t)$ также являются случайными величинами:

$$\Delta W_a(t) = \int_{t_0}^{t_0+t_b} P_g(t) dt.$$

Если за рассматриваемый период недоотпуск электроэнергии составляет Δt , то интегральное значение недоотпущенной электроэнергии составит

$$\Delta W_a(t) = [P(t) - P_p] \cdot \Delta t.$$

Эффективность работы электроснабжающих организаций по обеспечению надежного электроснабжения оценивается показателем относительного удовлетворения потребителя электроэнергией:

$$\Pi = \frac{W_a(t) - \Delta W_a(t)}{W_a(t)},$$

где $W_a(t)$ – суммарное заявленное потребителем количество электроэнергии за рассматриваемый период.

Ущерб, наносимый потребителю в результате недоотпуска электроэнергии по причине отказа системы электроснабжения, можно определить по формуле

$$Y = y_0 [P(t) - P_p] \cdot \Delta t = y_0 \cdot \Delta W_a(t),$$

где y_0 – удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям 1 кВт·ч электроэнергии, р./кВт·ч, величина которого рекомендована научно-техническим советом Минэнерго при экономическом обосновании решений, связанных с повышением надежности распределительных электрических сетей, в том числе при расчётах экономического эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности проектируемых и действующих электрических сетей.

Следует заметить, что перерывы в подаче электрической энергии (помимо ущерба от нарушения технологического процесса потребителей) связаны с недоиспользованием оборудования системы электроснабжения и необходимостью проведения аварийно-восстановительных работ:

$$Y_p = \tau_\Sigma \cdot N_{p.п} \cdot S_\text{ч} \cdot \mu \left(1 + \frac{\mu_c}{100}\right) \cdot k_{p.м},$$

где τ_Σ – суммарная продолжительность отключений во всех элементах сети за год, определяемая по среднестатистическим показателям годовой продолжительности отключений элементов сети [3]; $N_{p.п}$ – число ремонтного персонала, задействованного на устранение аварии; $S_\text{ч}$ – часовая тарифная ставка ремонтного персонала, р./ч; μ – коэффициент дополнительных начислений на зарплату; μ_c – процент отчислений в фонд социального страхования; $k_{p.м}$ – коэффициент затрат на материалы, транспортные и накладные расходы.

Определение показателей надежности систем электроснабжения позволяет принимать рациональные решения в процессе их эксплуатации. Для решения задач по оценке надежности и прогнозированию работоспособности объекта необходимо составить математическую модель, для получения которой необходимо провести испытания, вычислить статистические оценки и аппроксимировать их аналитическими функциями. Основной особенностью оценки показателей надежности по статистическим данным является ограниченность материала для точного определения характеристик, поэтому все методы оценки надежности систем электроснабжения, основанные на аналитических расчётах и натурных испытаниях, имеют два основных недостатка: большую трудоёмкость и невысокую точность. Испытания на надежность в общем позволяют исключить перечисленные недостатки, если их проводить достаточно длительно и на очень большом количестве изделий, но такие испытания по своей сути представляют собой физическое моделирование [4; 5].

Наиболее распространёнными в теории надежности являются статистическое и численно-аналитическое моделирование надежности систем электроснабжения. В первом случае используется метод Монте-Карло, который заменяет физический эксперимент математическим исследованием, сохраняя сущность и характер эксперимента с использованием статистических методов для обработки результатов, по которым оцениваются показатели надежности. Метод статистических испытаний получил широкое распространение благодаря своей универсальности, простой вычислительной схеме и весьма простой оценке полученных результатов.

Численно-аналитические методы основаны на использовании теории вероятностей и математического моделирования, они позволяют найти зависимости между вероятностями безотказной работы элементов системы в зависимости от режимов ее работы.

Независимо от метода определения показателей надежности основу расчёта составляют экспериментальные данные, получаемые либо при эксплуатации электроэнергетических систем, либо при испытаниях. Испытания на надежность – это заключительная часть процесса исследований, связанная с определением показателей надежности. Методики проведения испытаний на надежность определяются различными нормативно-техническими документами различных уровней – от государственных стандартов до технических условий. В качестве контролируемых вы-

ходных параметров надежности обычно выбираются средняя наработка на отказ, интенсивность отказов отдельных элементов, число отказов однотипных элементов, которые являются основой для установления закона распределения вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, среднего времени безотказной работы и плотности распределения вероятности отказов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фокин, Ю. А. Вероятностные методы в расчётах надежности электрических систем / Ю. А. Фокин. – М.: МЭИ, 1983. – 216 с.
2. Голоколос, Д. А. Анализ влияния конструкционных факторов на надежность герметичных электромеханических преобразователей / Д. А. Голоколос [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2013. – № IV-1 (16). – С. 29-34.
3. Водяников, В. Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК: учеб. пособие / В. Т. Водяников. – М.: Колосс, 2008. – 263 с.
4. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА, 2014. – 128 с.
5. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике: учеб. пособие / Ю. Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.



Иванов С. Н., Скрипилев А. А.
S. N. Ivanov, A. A. Skripilev

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

RELIABILITY EFFICIENCY OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

Иванов Сергей Николаевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВО «КНАГТУ» (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681021, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Котовского, 1-60; тел. 8(4217)24-11-00. E-mail: isn@initkms.ru.

Mr. Sergey N. Ivanov – Doctor of Engineering, Professor, Electrical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681021, Komsomolsk-on-Amur, Kotovsky str. 1-60; tel. 8(4217)24-11-00. E-mail: isn@initkms.ru.

Скрипилев Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВО «КНАГТУ» (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681036, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Дикопольцева 36-47. E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Aleksandr A. Skripilev – PhD in Engineering, Associate Professor, Electrical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, Dikopolcheva str. 36-47. E-mail: kem@knastu.ru.

Аннотация. В статье рассмотрены общие вопросы определения и обеспечения показателей эффективности электроэнергетических систем с учетом требуемых показателей надежности электроснабжения со стороны потребителей и возможностей генерирующих предприятий и смежных поставщиков электроэнергии. Приведены основные традиционные и перспективные методы обеспечения надежности и оценки ее эффективности. Сформулированы критерии оценки эффективности надежности с позиций производителей, поставщиков, потребителей и других участников процесса генерации, транспортирования и преобразования электроэнергии. Выделены характерные задачи, связанные с надежностью в питающих узлах электроэнергетической системы, относящиеся к схемам внешнего и внутреннего электроснабжения, и показана возможность теоретического анализа вариантов схем внутреннего электроснабжения с учетом нормативных требований по надежности электроснабжения электроприемников различных категорий, отличающихся затратами для обеспечения требуемой надежности как за счет надежности элементов, структурных решения и резервирования, управления в схеме внутреннего электроснабжения, так и за счет уровня надежности, предоставляемого электроснабжающей организацией.

Summary. The article deals with the general issues of definition and ensures power systems performance indicators, taking into account the required security of supply on the part of consumers and businesses generating opportunities and related electricity providers. The main traditional and advanced methods to ensure the reliability and evaluation of its effectiveness are provided. The authors formulate criteria for evaluating the effectiveness of reliability from the perspective of manufacturers, suppliers, consumers and others involved in the generation, transportation and transformation of electricity. The article points to specific tasks associated with reliability in supplying power system sites related to the schemes of internal and external power supply, and the possibility of theoretical analysis of internal power supply schemes, taking into account regulatory requirements on reliability of power supply mains of different categories, different costs to ensure the required reliability. The reliability is defined taking into account the reliability of elements, structural solutions and the redundancy, control in the circuit of the internal power supply, and the level of reliability provided by the electricity supply company.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, электроснабжение, эффективность надежности.

Key words: electric power system, electrical supply, reliability efficiency.

УДК 621.311

Эффективность обеспечения надежности в электроэнергетике непосредственно связана с требованиями потребителей, не только учитывающими особенности реализуемого ими технологического процесса, но и предусматривающими конкретные рекомендации по схеме электроснабже-

ния (например, питание от нескольких независимых источников, техническую длительность перерыва электроснабжения, необходимость автоматического ввода резервного питания, неавтоматизированные переключения на резервный источник и т.д.). Однако в ряде случаев существуют объективные причины, ограничивающие выполнимость требований по обеспечению и поддержанию надежности и приводящие к отсутствию возможностей создания запасов электроэнергии, высокой зависимости предприятий от своевременной подачи электроэнергии и в конечном итоге к значительным экономическим убыткам. Для обеспечения надежности электроснабжения используются в основном традиционные методы, такие как повышение надежности элементов системы, недогрузка оборудования, резервирование систем, проведение планово-предупредительных ремонтов.

«Надежность» как рыночная категория представляет собой выполнение необходимых требований по качеству электроснабжения потребителей, стоимость которой определяется с учетом взаимных обязательств электроснабжающей организации и потребителя и взаимной материальной ответственности за их выполнение через многосторонние договоры, отражающие частоту, продолжительность и глубину перерывов электроснабжения, что выражается затем в требованиях к схеме электроснабжения и уровню надежности в питающих узлах, закрепляется через категорирование электроприемников и предполагает одновременное использование рыночных и нормативных подходов при вспомогательной роли последних [1].

Системная надежность обеспечивается структурой электроэнергетической системы (ЭЭС), резервами генерирующей мощности и пропускной способности коммуникаций, а также средствами управления. В ее обеспечении задействованы все компоненты: генерирующие предприятия, коммуникационные электрические сети, конкретные потребители, системные операторы, при этом последние, отвечающие за системную надежность, имеют ограниченные технические возможности и должны находить необходимые средства у других участников процесса. Отвечающий за системную надежность оператор и несущая ответственность за надежность электроснабжающая организация составляют «дорожную карту» распределения затрат по обеспечению надежности, включающую соотношение цен за услуги по обеспечению системной надежности и за электроэнергию, отпускаемую потребителям, и компенсацию соответствующих убытков за счет страховых договоров. Общим принципом при этом является оплата надежности через цены при наиболее вероятных ситуациях и компенсация убытков в ЭЭС и у потребителей за счет страховых фондов при форс-мажорных ситуациях. Комплексная задача обеспечения надежности ЭЭС в той или иной степени затрагивает генерирующие, федеральные, региональные сетевые компании, потребителей электроэнергии, сбытовые компании, представителей торговой системы, оптового и потребительского рынка, административные и законодательные органы, страховые компании.

Надежное электроснабжение основывается на системном подходе, рассматривающем ЭЭС как совокупность основных процессов (процессов преобразования, передачи, распределения, потребления электроэнергии) и организационных (установление цели, выработка решений, регулирование). Требования надежности, обеспечиваемые на стадии проектирования системы электроснабжения, формируются исходя из анализа процессов, протекающих в ее элементах, и последующего выбора соответствующих элементов ЭЭС. Системы электроснабжения, проектируемые под определенные нагрузки (токовые, напряжения, механические и т.д.), априорно могут быть приняты надежными, если действительные нагрузки не превышают расчетные. Очевидно, что наличие трудно учитываемых дефектов проектирования, конструирования, технологии, сборки, монтажа, перенапряжений требует увеличения запасов надежности систем электроснабжения на уровне ее элементов. Однако поскольку надежность системы определяется структурой ЭЭС, то элементарно однотипные электрические сети, построенные по радиальной, кольцевой или смешанной схеме будут иметь разные показатели надежности, т.е. структуризация системы является средством обеспечения надежности.

Традиционные, в том числе аппаратные, методы обеспечения надежности ЭЭС предполагают не только прямое, смежное или смешанное включение резервных элементов, входящих в структуру системы, например установку дополнительных генераторов или вспомогательных трансформаторов на подстанциях, сооружение добавочных цепей линий электропередач, но и



предусматривают использование избыточного времени, например дополнительный генератор по прямому назначению используется небольшую часть общего времени в ЭЭС, а остальную часть времени находится в состоянии ожидания отказов работающих генераторов, в том числе и в другой системе, связанной с первой. Нагрузочное резервирование обеспечивается возможностью дополнительных нагрузок выше номинальных.

Информационное резервирование обеспечивает отключение части нагрузки с возможностью максимальной загрузки сети исходя из информации об отказе и отключении какого-либо элемента электрической сети и перегрузке оставшихся. Если дополнительно имеется информация о предаварийной загрузке сети, то после отказа элемента отключение нагрузки возможно в соответствии с реальной максимальной загрузкой сети.

Функциональное резервирование, т.е. способность элементов выполнять дополнительные функции, осуществимо, например, для межсистемной линии электропередачи; это может быть взаимное резервирование генераторов в системах или совмещение максимумов нагрузок. Другим примером является использование трансформаторов на отдельных подстанциях для плавки гололедных образований током на проводах и тросах воздушных линий.

Программные методы обеспечения надежности реализуются средствами управления. Если два одинаковых генератора нагружать неравномерно, то их суммарный ресурс будет выработан быстрее, чем при равномерной загрузке, обеспечиваемой качеством работы системы управления и непосредственно определяющей время локализации повреждения и восстановления работоспособности, скорость и объем ввода, и степень использования резервов. Строго говоря, к системе управления относится и производственный персонал, обеспечивающий диагностику состояния оборудования, организацию технического обслуживания и ремонта, ликвидацию повреждений, аварийный запас оборудования и материалов, квалификация которого является эффективным средством обеспечения надежности.

Рассматривая надежность электроснабжения с точки зрения потребителя, отметим, что основное влияние имеет распределительная сеть, т.к. электроэнергия может поставляться и с оптового рынка электроэнергии, и от сбытовых компаний, при этом в обоих случаях надежность электроснабжения потребителя определяется безотказностью распределительной сети и электроэнергетической системы.

Федеральным законом «Об электроэнергетике» ответственность за надежность разграничена между системным оператором, отвечающим за системную надежность, и сбытовой компанией, отвечающей за надежность электроснабжения потребителя, причем последняя в принципе сама не является участником процессов генерации, транспортирования и распределения электроэнергии, что приводит к необходимости наличия у нее договоров с электросетевыми предприятиями и с генерирующими компаниями. Экономическая ответственность за надежность выполнения функций также разделена: генерирующая компания – соответственно, генерация электроэнергии, системообразующая электрическая сеть – передача электроэнергии распределительным электрическим сетям от генерирующих компаний, распределительная электрическая сеть – надежность передачи электроэнергии потребителю от узла системообразующей сети. Федеральный закон предусматривает экономически обоснованные отношения на основе платы за надежность и полного восстановления убытков из-за ненадежного электроснабжения между всеми субъектами ЭЭС.

Таким образом, в общей проблеме обеспечения надежности электроснабжения потребителей можно выделить три задачи, соответственно связанные с надежностью в питающих узлах электроэнергетической системы, относящиеся к схемам внешнего (ассоциируемой с электроснабжающей организацией) и внутреннего электроснабжения.

С одной стороны, задача потребителя, использующего электроприемники от третьей категории до особой группы, например, персональные компьютеры, подключаемые через источники бесперебойного питания, определить требуемые параметры надежности по длительности, частоте и глубине аварийного ограничения электроснабжения и сформировать информацию для проектирования внутренней и внешней схем электроснабжения с учетом максимальной нагрузки и возможных последствий от перерывов электроснабжения. С другой стороны, электроснабжающая ор-

ганизация предлагает потребителю электроэнергию в узлах питания схемы внутреннего электро-снабжения с установленным уровнем надежности, определяемым надежностью в питающих узлах ЭЭС, обеспечиваемой системным оператором, и надежностью схемы внешнего электроснабжения (распределительной электрической сети) по различной цене (выше надежность – выше цена электроэнергии). Именно поэтому теоретически может быть несколько вариантов схем внутреннего электроснабжения с учетом нормативных требований по надежности электроснабжения электроприемников различных категорий, отличающихся затратами для обеспечения надежности как за счет надежности элементов, структурного резервирования, управления в схеме внутреннего электроснабжения, так и за счет уровня надежности, предоставляемого электроснабжающей организацией.

В схемах внешнего электроснабжения, характеризующихся обобщенными частотой, длительностью и глубиной перерывов электроснабжения в выходных узлах и требующих независимости питания выходных узлов электроприемников I и II категорий, обеспечиваемой замкнутой структурой распределительной электрической сети, одним из средств обеспечения надежности являются установки распределенной генерации.

Другое направление поддержания уровня безотказности, обеспечиваемого при проектировании ЭЭС, связано не только с анализом эксплуатационных режимов системы электроснабжения, оперативными изменениями схем в различных нормальных и послеаварийных режимах, переводом в аварийных режимах установок распределенной генерации на питание наиболее ответственных потребителей, выбором уставок устройств автоматики, но и формированием экономических механизмов взаимной ответственности за обеспечение надежности электроснабжения между электроснабжающей организацией и потребителями.

Для обеспечения так называемого нормативного уровня надежности используется подход, при котором для потребителя последствия от ненадежности оцениваются опосредованно в нормативах надежности. Требование необходимости обеспечения нормативного уровня надежности электроснабжения с учетом оплаты потребителя выполнимо, если объем реализованной продукции или выручка от проданной электроэнергии потребителям не меняются. При сравнительном анализе вариантов систем электроснабжения или мероприятий по обеспечению надежности электроснабжения предполагается, что одинаковая надежность – это нормативный уровень надежности, и при одинаковых затратах и выполнении нормативных требований по надежности выбирается вариант с более высоким уровнем надежности. Если точная оценка величины удельного убытка задана диапазоном возможных значений, то может быть использован так называемый интервальный метод сопоставления вариантов.

Эффективность обеспечения надежности электроэнергетических систем характеризуется их способностью выполнять требуемые функции с минимальными затратами. Количественная оценка эффективности определяется соотношением входных и выходных показателей системы и может отличаться для разных субъектов по отношению к одному и тому же объекту. Для установления приемлемого баланса используют несколько подходов, учитывающих, что электроснабжающая организация ориентирована по отношению к системе электроснабжения на получение максимальной оплаты за электроэнергию, а для потребителя эффективность, наоборот, связана с минимальной оплатой за потребляемую электроэнергию.

Экономический подход предполагает, что обеспечение надежности требует затрат со стороны электроснабжающей организации, соответственно, потребитель, зная, что недостаточная надежность электроснабжения ведет к убыткам, должен сопоставлять плату за надежность электроснабжения и убытки от недостаточной надежности и компенсировать затраты на обеспечение требуемой надежности электроснабжения. Для реализации такого подхода необходима информация о зависимости убытка от ненадежности и цены электроэнергии в функции от надежности электроснабжения. Это позволяет определить рациональный уровень надежности, причем для электроснабжающей организации это действительные затраты на обеспечение надежности, для потребителя – цена на электроэнергию, соответствующая реальным затратам. Убытки от ненадежности для электроснабжающей организации – платежи, которые она вынуждена нести в случае не-

обеспечения требуемой надежности электроснабжения, для потребителя – это реальные убытки от недостаточной надежности.

Электроснабжающая организация в качестве критерия эффективности по стандартной методике оценки эффективности инвестиционных проектов рассматривает величины, являющиеся функциями надежности: K_i – капиталовложения в i -м году, обеспечивающие требуемый уровень надежности P ; Z_i – текущие эксплуатационные затраты; O_i – объем реализованной электроэнергии потребителям; E – норма дохода на инвестиционный капитал или годовая цена капитала на рынке; T – средний срок службы.

При этом суммарные капиталовложения, эксплуатационные затраты, убытки потребителю вследствие отказа и обобщенный результат функционирования объекта соответственно вычисляются по следующим формулам:

$$K = \sum_{i=0}^T (1 + E)^{-t} K_i, \quad Z = \sum_{i=0}^T (1 + E)^{-t} Z_i, \quad Y = \sum_{i=0}^T (1 + E)^{-t} Y_i, \quad O = \sum_{i=0}^T (1 + E)^{-t} O_i.$$

Критериями эффективности надежности ЭЭС принимаются количественные показатели чистого дисконтированного дохода, который должен быть положителен и максимален, индекса доходности (не меньше единицы и максимален), внутренней нормы доходности (не меньше нормы дисконта и максимальна) и срок окупаемости, который должен быть минимальным и не превышать период T .

Нахождение локальных и глобальных оптимумов при наличии условий ограничений и равенств (неравенств) возможно в случае, если объем реализованной электроэнергии потребителю остается постоянным при детерминированной величине затрат. На практике стохастический характер затрат не позволяет непосредственно использовать приведенные критерии, и для устранения этой неопределенности заменяют случайную величину на ее математическое ожидание, допуская возможность того, что фактический убыток окажется больше среднего и тем выше, чем значительнее разброс значений случайной величины.

При определении эффективности потребителем оцениваются реальные затраты, возможные из-за ненадежности электроснабжения, закладываемые в договорные отношения с электроснабжающей организацией и смежными предприятиями в случае нарушения поставок из-за недополученной электроэнергии. Для оценки этих затрат предприятие – потребитель электроэнергии представляется в виде одного компонента, а все остальные, включая электроэнергетику, объединены в общий блок, между которыми связями показаны потоки перетоки электроэнергии. Продукция выделенного компонента поступает в объединенную систему, которая снабжает выделенное предприятие необходимым объемом электроэнергии. Количество выпускаемой предприятием продукции пропорционально получаемой им электроэнергии и зависит от длительности перерывов электроснабжения, приводящих к снижению объема выпускаемой продукции, нарушениям технологического процесса и другим убыткам внутри рассматриваемого предприятия. Соответственно, величина убытка, учитывающая недовыработку продукции за счет недополучения электроэнергии и внезапности отключения, характеризует экономические последствия для потребителя и количественно оценивается изменением дохода. Основные факторы, определяющие величину убытка, включают тип и характер производства потребителя, величину недополученной электроэнергии, время и глубину ограничения по мощности, момент наступления ограничения и степень его внезапности, наличие технологических резервов.

Экономический подход определения рациональной надежности требует разносторонней объемной информации и сложных профессиональных расчетов. Однако практика проектирования и эксплуатации ЭЭС позволяет применять эмпирический метод, основанный на нормативах (установленных Российской Федерацией в правилах устройства электроустановок категорированием потребителей), форма которых в разных странах может быть различной, исключение составляет универсальный норматив «n-1», означающий, что отказ одного любого элемента не является критическим для системы электроснабжения в целом. Нормативный подход существенно упрощает

оценку эффективности обеспечения надежности, но снижает точность, например, соответствия электроприемников к различным категориям, поэтому при расчетах объединяют экономические и нормативные требования.

Степень надежности при сравнении вариантов, целесообразная с экономической точки зрения, соответствует минимуму приведенных затрат с учетом убытка:

$$Z_i = E_H K_i + Z_T + m(t) \rightarrow \min,$$

где E_H – нормативный коэффициента эффективности капиталовложений, равен 0,12 (для новой техники 0,15); K_i – капиталовложения; Z_T – текущие затраты; $m(t)$ – математическое ожидание убытка вследствие нарушений электроснабжения в течение года.

Основой анализа вариантов по текущим затратам и капиталовложениям при соблюдении полной сопоставимости вариантов является равенство потребительского эффекта. Применительно к проблеме надежности в электроэнергетике сравниваться должны варианты, обеспечивающие одинаковую надежность электроснабжения потребителей. Современные ЭЭС, оснащенные устройствами релейной защиты, автоматики и телемеханики, представляют собой сложные многократно резервируемые сети, получающие питание от нескольких источников. В то же время отказ в электроснабжении даже одного потребителя приводит к нарушению снабжения потребителей электроэнергией в нужном количестве и снижению количества отпущенной в соответствии с требованиями потребителей электроэнергии. Разность между идеальным и реальным с учетом отказов эффектами представляет собой количество недоотпущенной потребителям электроэнергии в результате отказов и является мерой оценки надежности ЭЭС. Количество отпущенной электроэнергии при отсутствии отказов:

$$W_u = \sum_{i=1}^N W_{ui} = \sum_{i=1}^N P_{pi} \cdot T_{\max i},$$

где W_{ui} – планируемый отпуск электроэнергии; P_{pi} – расчетная нагрузка i -го потребителя; $T_{\max i}$ – длительность максимума нагрузки.

Ожидаемый недоотпуск электроэнергии за год определяется как сумма недополученной электроэнергии всеми потребителями, присоединенными к данной ЭЭС, а ожидаемый недоотпуск i -му потребителю – как произведение средней величины нагрузки на эквивалентную длительность простоя за рассматриваемый период времени. Эквивалентная продолжительность простоя i -го потребителя

$$\Theta_{\Delta i} = \lambda_i \cdot T_{vi} + \xi \cdot \lambda_{пп} \cdot T_{oi},$$

где λ_i , T_{vi} , $\lambda_{пп}$, T_{oi} – интенсивность отказа и долговечность i -го потребителя; ξ – коэффициент (в расчетах принимается 0,33), отражающий последствия от планово-предупредительных отключений по сравнению с внезапными отказами.

Размер прямого и дополнительного убытков зависит от характера технологического процесса и длительности перерыва. Прямой убыток связан с перерывами электроснабжения и выражается в виде выхода из строя оборудования, потери качества, снижения технико-экономических показателей и определяется по формуле

$$Y_{пр} = Y_{пр(0)} + Y_{пр(1)}(t_3) + Y_{пр(2)}(t_{втт}),$$

где $Y_{пр(0)}$ – постоянная составляющая прямого убытка из-за отказа в электроснабжении; $Y_{пр(1)}(t_3)$ – составляющая прямого убытка за время восстановления электроснабжения t_3 ; $Y_{пр(2)}(t_{втт})$ – составляющего прямого убытка от момента восстановления электроснабжения до выхода установки в нормальный режим.

Дополнительные убытки связаны с длительностью перерыва электроснабжения, простоем, повреждением материалов и комплектующих и определяется по формуле

$$Y_d = \Delta\Pi(\Delta t_{вз})\Delta Y,$$

где $\Delta\Pi(\Delta t_{вз})$ – потери за время восстановления электроснабжения в виде разницы между плановыми и фактическими величинами; ΔY – удельный убыток на единицу недовыпущенной продукции, т.е. величина убытка, отнесенная к единице выпускаемой продукции.

Для ряда производств большое значение имеет время простоя, для других величина убытка определяется самим фактом отказа и мощностью отключенного оборудования. Если известны вероятность отказа $q_{\Sigma o}$ и средняя вероятность планово-предупредительного отключения $q_{\Sigma п}$, то для расчета на основе удельного убытка применима формула

$$Y_d = (y_o \cdot q_{\Sigma o} + y_{п} \cdot q_{\Sigma п}) \cdot \Delta \mathcal{E},$$

где $y_o, y_{п}$ – удельные убытки от внезапных и планово-предупредительных перерывов в зависимости от длительности перерыва; $\Delta \mathcal{E}$ – недоотпуск электроэнергии потребителю.

Вероятность отказа и вероятность планово-предупредительного отключения рассчитываются по формулам

$$q_{в} = \lambda \cdot T_{в}, \quad q_{п} = \lambda_{п} \cdot T_{п},$$

где $T_{в}, T_{п}$ – длительности восстановления и планово-предупредительных простоев.

Следует отметить, что в Российской Федерации отсутствуют нормативные показатели удельной стоимости компенсации убытков от аварийных ограничений потребителей электроэнергии, поэтому в расчетах экономической эффективности стоимость убытка в сетях общего пользования с разным составом потребителей может оцениваться усредненными данными в размере 100...250 р./кВт·ч.

При модернизации производства вместо убытка необходимо оценивать экономический эффект от повышения надежности, а под экономической эффективностью технических средств следует понимать степень выгодности экономических затрат на их освоение, внедрение и использование. Техничко-экономические расчеты позволяют определить экономический эффект от каждого из мероприятий, улучшающих основное производство и энергетические показатели предприятия. Наиболее эффективной является замена старого оборудования на новое с улучшенными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающее не только повышение надежности и снижение затрат на ремонтное обслуживание, но и предотвращающее экономические убытки от аварийных перерывов электроснабжения [2].

Интегральный экономический эффект от повышения надежности электроснабжения определяется сравнением дополнительных капиталовложений K_n и дополнительных расходов при эксплуатации устройств Z_n , повышающих надежность, с величиной, которая предотвращает средний экономический убыток от перерывов электроснабжения, умноженный на интенсивность отказов в системе:

$$\mathcal{E}_n = \lambda \cdot Y - (E_n \cdot K_n + Z_n).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 24 с.
2. Анализ влияния конструкционных факторов на надежность герметичных электромеханических преобразователей / Д. А. Голоколос, Н. С. Карпова, С. Н. Иванов, К. К. Ким // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2013. – № IV-1(16). – С. 29-34.

Тихомиров В. А., Александров С. Ю.
V. A. Tikhomirov, S. Yu. Aleksandrov

**АДАПТИВНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ИМИТАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ**

**ADAPTIVE ASYNCHRONOUS SIMULATED AND METRICAL SOFTWARE
PACKAGE IN AIRCRAFT**

Тихомиров Владимир Александрович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(914)179-04-14. E-mail: kmopevm@knastu.ru.
Mr. Vladimir A. Tikhomirov – PhD in Engineering, Professor, Head of the Department of Mathematical Software and Computing, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7 (914) 1790414. E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Александров Сергей Юрьевич – старший преподаватель кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 8(909)865-46-47. E-mail: sandrov@mail.ru.
Mr. Sergey Yu. Aleksandrov – Senior Lecturer, Department of Mathematical Software and Computing, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); +7 (909) 8654647. E-mail: sandrov@mail.ru.

Аннотация. Статья посвящена особенностям и проблемам разработки прикладных измерительных программных комплексов на стадии серийного производства для проведения контрольно-измерительных операций по тестированию самолетного бортового оборудования.

Summary. The article is devoted to the peculiarities and problems of development of applied measuring software packages at the stage of mass production for aircraft avionics testing and measuring.

Ключевые слова: программный комплекс, имитация сигналов, *ARINC-429*, МКИО, *Fibre Channel*, потери данных.

Keywords: software package, stimulation of signals, *ARINC-429*, МКИО, *Fibre Channel*, loss of data

УДК 681.3

При развертывании серийного производства современного летательного аппарата производителем на стадии организации контрольно-тестовых и наладочных работ бортового оборудования, в большей части, приходится использовать имеющееся (или вновь приобретаемое) универсальное оборудование. Особенно это характерно для малых серий специализированных аппаратов.

В связи со своей универсальностью такое оборудование не всегда наглядно и полно предоставляет тестировщику информацию о состоянии элементов бортовых систем самолета. Речь идет об анализаторах бортовых компьютерных протоколов типа *ARINC-429*, МКИО, *Fibre Channel* и т.п., содержимое информационных потоков которых содержит большой объем данных о качестве функционирования бортового оборудования. Универсальные контрольные стенды представляют эту информацию в числовом виде (обычно двоичном, восьмеричном или шестнадцатеричном), что требует от тестировщика больших усилий по восприятию, анализу и интерпретации этих данных.

На этом фоне видятся актуальными разработка и создание прикладных программных комплексов, ориентированных непосредственно на производителей, которые бы, с одной стороны, улучшили качество отображения и представления измеряемых и контролируемых данных, поступающих от бортовых систем самолета, с другой – имели бы механизм адаптации

комплекса под текущие задачи тестировщика: настройка на анализ, заданных тестировщиком отдельных слов или кадров протоколов, выбор метода представления данных (графика, анимация, текст) и т.п.

Пятилетний опыт разработки и реализации подобных программных комплексов (ПК) для авиационных предприятий определил достаточно оптимальную структуру таких ПК, которая может быть проиллюстрирована схемой, представленной на рис. 1.

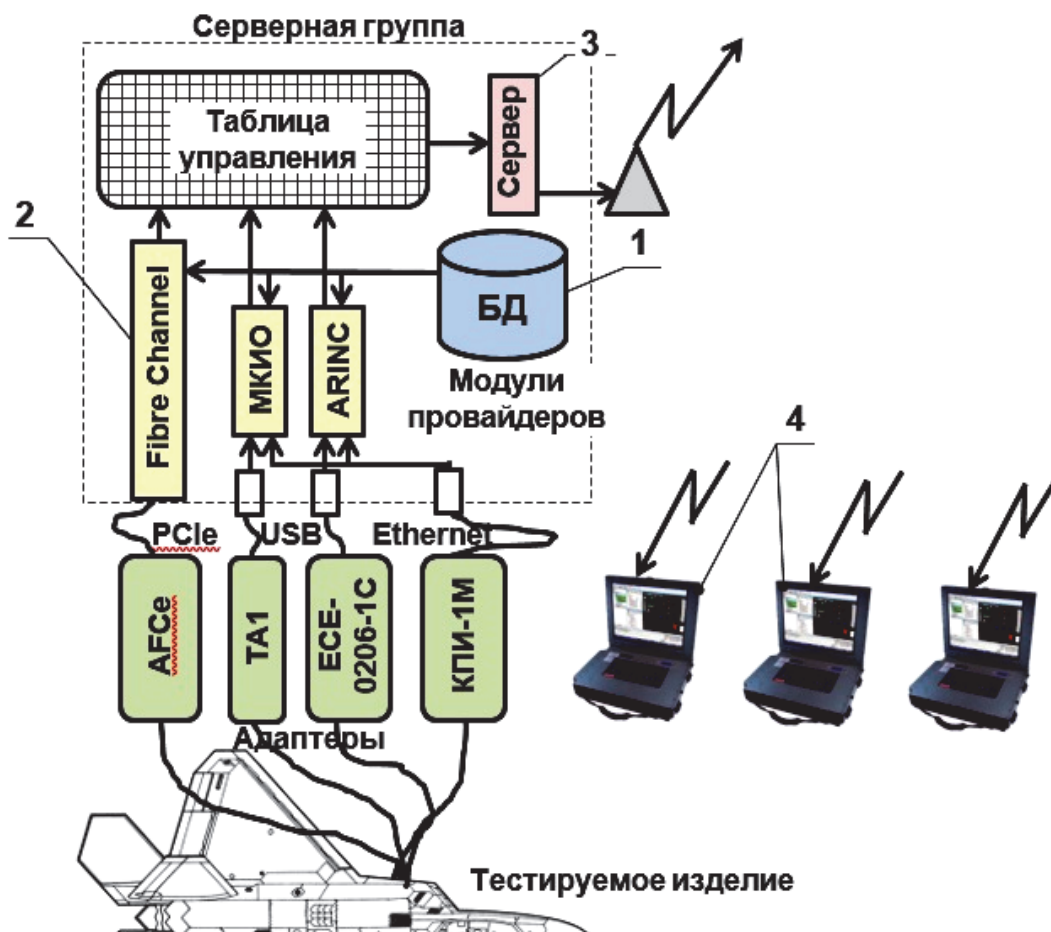


Рис. 1. Схема имитационно-измерительного комплекса

Основу комплекса составляет серверная группа приложений, расположенная на отдельном ноутбуке, непосредственно присоединяемом к тестируемому борту через устройство сопряжения, зависящего от протокола используемого обмена. Например, для МКИО может использоваться TA1-USB [1] или КПИ-1М [2], для ARINC-429 – USB адаптер ECE-0206-1C [3]. Состав приложений, входящих в серверную группу следующий:

1. База данных с параметрами тех сигналов, которые необходимы тестировщику для контроля и анализа в текущий момент испытаний.

2. Программные модули работы с адаптерами протоколов. Модули обеспечивают выборку из бортовой сети самолета тех сигналов, которые тестировщик внес в базу данных параметров сигналов (см. предыдущий п. 1), и перенос этих данных в специальную таблицу управления ПК, представляющую собой файл проекции в оперативной памяти компьютера.

3. Сервер раздачи данных из таблицы управления внешним программным модулям 4, которые могут выполняться удаленно (на другом компьютере) и предназначены для отображения передаваемых от сервера данных тестировщикам для контроля, анализа и принятия решений.

Эти модули в ПК называются «визуализаторами». Они могут отображать информацию обычным образом (числа и текст) или каким-либо специальным образом: графиками, рисунками, анимацией, аудиосигналами и т.п.

Структура визуализатора индивидуальна для конкретной задачи тестирования, поэтому, в состав ПК введен отдельный модуль: «конструктор визуализаторов». Этот модуль позволяет технологу цеха испытаний без привлечения программистов, самостоятельно скомпоновать из элементов стандартной библиотеки схему визуализатора и настроить каждый элемент в нем на реакцию от значений заданного сигнала из базы данных контролируемых параметров. Это может быть, например, кран топливной системы, который поворачивается на экране визуализатора и меняет свой цвет, если из бортовой системы поступил соответствующий сигнал.

Таким образом, «конструктор визуализаторов» вносит элемент адаптивности в разрабатываемый программный комплекс.

Разработчик при создании программного комплекса может добавить в него произвольное количество аналогичных конструкторов, решающих задачи расширения адаптивности ПК, чем обеспечивает цехового технолога большими возможностями по глубине, качеству и целенаправленности тестирования бортовой системы самолета. Причем эти возможности ПК не изменяются при смене объекта производства, если на объекте остались те же протоколы обмена в бортовой сети, что и ранее.

Вторым (наряду с конструкторами) элементом ПК, повышающим уровень адаптивности ПК к текущим задачам тестирования, является модуль-генератор, поставляемый в составе ПК в виде шаблона исходного программного кода.

На схеме тестирования (рис. 2) бортовой системы самолета по *Fibre Channel* представлена последовательность прохождения имитационного информационного потока через программные модули адаптивного ПК. Источником информационного потока является модуль 1.

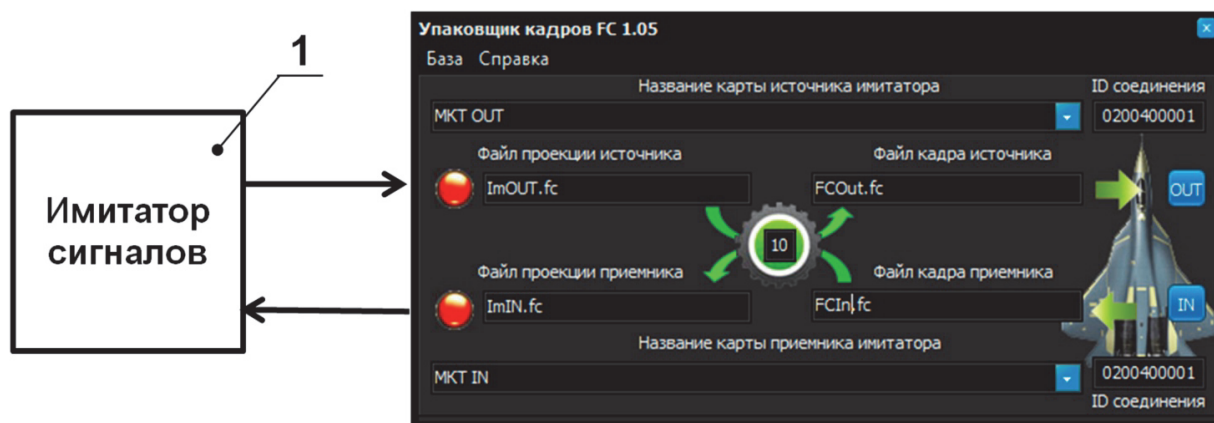


Рис. 2. Схема тестирования бортовой системы по каналу *Fibre Channel*

Модуль предоставляется технологу испытательного цеха в виде шаблона, куда технолог может вставить собственный алгоритм расчета и генерации нужного ему сигнала (или набора сигналов). Шаблон компилируется в соответствующем компиляторе, и полученный модуль используется в качестве генератора сигнала в ПК. Сам комплекс обеспечивает при этом правильную раскладку сигналов имитатора по полям кадра *Fibre Channel*, передачу его в бортовую сеть самолета, прием ответных сигналов из бортовой сети и доставку их к имитатору в виде обратной связи.

При такой схеме работы ПК его адаптивность к текущим задачам технолога испытательного цеха имеет высокое значение и полностью удовлетворяет запросы цеховых испытателей на тестирование нестандартных задач.

Отличительной особенностью схемного решения предлагаемого ПК является асинхронная передача данных по его каналам. Серверная группа приложений, представленная на рис. 1, наполняет таблицу управления данными, поступающими из бортовой сети самолета, асинхронно с удаленными визуализаторами, которые выбирают эти данные из таблицы без использования каких-либо объектов синхронизации. Это существенно ускоряет работу ПК и устраняет задержки

визуализации данных, однако такая схема работы ПК порождает вопросы: имеются ли потери данных при такой передаче, если да, то какой процент они составляют и как влияют на них факторы используемой операционной системы?

Для работы описываемого ПК используется операционная система общего назначения *Windows*. Работа программных потоков в таких операционных системах основана на принципе вытесняющей многозадачности, и, следовательно, имеются промежутки времени, в которые потоки ПК стоят в ожидании переключения задач. Если время ожидания будет достаточно большое, возможна потеря некоторых данных в двух местах ПК – в буфере накопления данных устройства сопряжения и в таблице управления программного комплекса. В обоих местах имеется возможность перезаписи пришедших с борта самолета данных до того, как они будут считаны сервером и отправлены к устройствам с визуализаторами.

Решение проблемы потери данных в устройствах сопряжения с циклическим буфером описывалось в [4].

Для оценки значимости второй проблемы – условий перезаписи данных в таблице управления ПК – были спланированы и проведены натурные эксперименты по оценке влияния основных факторов операционной системы общего назначения на потери информации в областях файла проекции памяти компьютера, работающей в условиях асинхронной передачи данных.

В качестве факторов (x_1, x_2, \dots, x_6), влияющих на вышеуказанную передачу данных, экспертным путем были установлены величины, представленные в табл. 1. Целевой функцией эксперимента являлась величина ($y = f(x_1, x_2, \dots, x_6)$) относительных потерь данных при передаче по ПК, которая при выполнении эксперимента использовала для крутого восхождения линейную модель $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$.

Таблица 1

Перечень факторов, влияющих на потерю данных при передаче в программном комплексе на платформе *Windows*

Обозначение	Наименование фактора
x_1	Количество ядер процессора
x_2	Объем оперативной памяти
x_3	Количество запущенных процессов
x_4	Загруженность процессора (%)
x_5	Подаваемая частота

Относительные потери определялись по зависимости:

$$y = \frac{N_0 - N_i}{N_0},$$

где N_0 – число байт информации, отправленных по тестируемому каналу ПК; N_i – число байт информации, полученных на визуализаторе тестируемого канала.

На первом этапе исследования в качестве плана эксперимента была принята 1/4-реплика (2^{5-2}) от полного факторного эксперимента 2^5 . Реплика задавалась генерирующими соотношениями $x_4 = x_1x_2$, $x_5 = x_1x_2x_3$. Матрица планирования и осредненные результаты опытов приведены в табл. 2.

В этой матрице содержится столбец фиктивной переменной x_0 , который вводится для оценки свободной переменной b_0 .

Значения коэффициентов находили по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} y_j}{n},$$

где x_{ij} – значение i -того фактора в j -м опыте; y_j – значение параметра оптимизации в j -м опыте; n – число опытов в матрице планирования.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	+	–	–	–	+	–	0,685
2	+	+	–	–	–	+	0,171 73
3	+	–	+	–	–	+	0,466 17
4	+	+	+	–	+	–	0,3
5	+	–	–	+	+	+	0,198 96
6	+	+	–	+	–	–	0,336
7	+	–	+	+	–	–	0,301
8	+	+	+	+	+	+	0,313 15

После проведения дробнофакторного эксперимента и обработки его результатов методами теории планирования эксперимент, было получено уравнение регрессии с кодированными переменными: $y = 0,5455 - 0,3179 \cdot x_1 - 0,1414 \cdot x_2 + 0,0346 \cdot x_3 + 0,2662 \cdot x_4$.

Коэффициент b_5 (частота передаваемого сигнала) оказался меньше доверительного интервала, был признан статистически не значимым и исключён из уравнения регрессии.

Проверку гипотезы адекватности найденной модели проводили по F -критерию Фишера, который подтвердил адекватность при 5 % уровне ошибки.

Полученная зависимость численно подтверждает, что качество и точность работы создаваемых адаптивных асинхронных имитационно-измерительных программных комплексов, выполненных по вышеописанной схеме, при использовании их в среде операционной системы общего назначения повышается при применении процессоров с большим количеством ядер и большим объемом памяти (рис. 3).

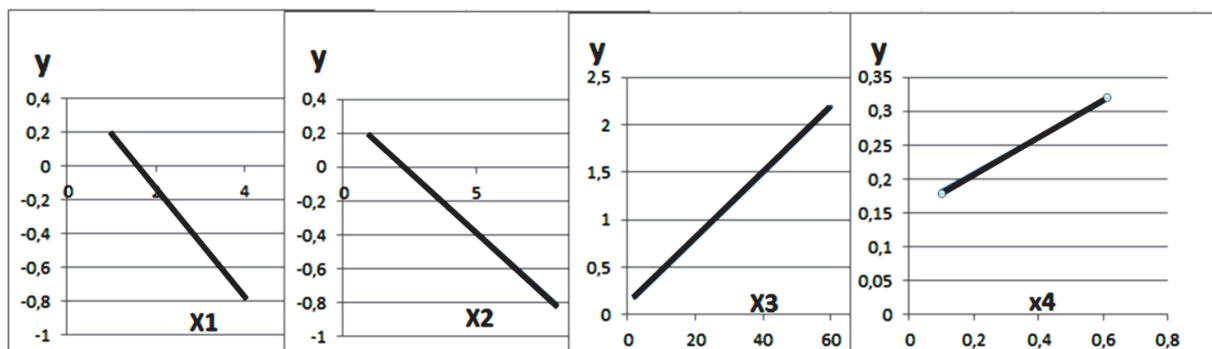


Рис. 3. Качественное влияние исследованных факторов на потери данных в разработанных ПК

Загруженность процессора и увеличение количества параллельно работающих процессов ухудшают работу ПК. Однако результаты, полученные к настоящему времени, следует считать предварительными.

Правильная количественная оценка влияния внешних факторов на функционирование ПК требует дополнительного моделирования и экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. TA1-USB // Электронная компания ЭЛКУС. URL: <http://www.elcus.ru/boards.php?ID=ta1-usb> (дата обращения 20.03.2016).
2. КПИ-1М // TNLAB, URL: <http://tnlab.ru/kpi1m.php> (дата обращения 20.03.2016).
3. ECE-0206-1C // Электронная компания ЭЛКУС. URL: <http://www.elcus.ru/boards.php?ID=ece-0206-1c> (дата обращения 20.03.2016).
4. Тихомиров, В. А. Алгоритм обработки данных циклического буфера сетевого устройства / В. А. Тихомиров, С. Ю. Александров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2015. – № I-1(21). – С. 43-48.



Гусеница Я. Н., Малахов А. В.
Ya. N. Gusenitsa, A. V. Malakhov

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ИНФОРМАЦИИ О МОМЕНТАХ ПОСТУПЛЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
НА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ**

**SIMULATION MODEL OF RECONFIGURABLE METROLOGICAL COMPLEXES
FUNCTIONING IN THE CONDITIONS OF INFORMATION UNCERTAINTY
ON THE RECEIPT OF MEASUREMENT FUNDS FOR METROLOGICAL SERVICE**

Гусеница Ярослав Николаевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, Санкт-Петербург). E-mail: yaromir226@mail.ru.

Mr. Yaroslav N. Gusenitsa – PhD in Engineering, Lecturer, Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment Department, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: yaromir226@mail.ru.

Малахов Александр Владимирович – адъюнкт кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, Санкт-Петербург). E-mail: sanya-mall@yandex.ru.

Mr. Aleksandr V. Malakhov – Post-graduate Student, Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment Department, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: sanya-mall@yandex.ru.

Аннотация. В статье представлена имитационная модель, которая, в отличие от имеющихся, учитывает возможность реконфигурации метрологических комплексов, а также неопределенность информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание.

Summary. The article presents the simulation model, which, unlike available ones, considers possibility of reconfiguration of metrological complexes, as well as information uncertainty on the receipt of measurement funds for metrological service.

Ключевые слова: имитационная модель, реконфигурируемые метрологические комплексы, метрологическое обслуживание, средства измерений, неопределенность информации.

Key words: simulation model, reconfigurable metrological complexes, metrological service, measuring instruments, information uncertainty.

УДК 78.21.35

Введение

Современный этап развития военно-политической обстановки в мире характеризуется острым соперничеством ведущих государств за сферы влияния, источники сырья и рынки сбыта. Данная тенденция уже сейчас определяет серьезные предпосылки для возникновения военных опасностей и угроз для России [2]. Это обуславливает необходимость уделять постоянное внимание вопросам развития технической составляющей Вооруженных Сил Российской Федерации, их оснащению вооружением, военной и специальной техникой (ВВСТ) в таком количестве и таком качестве, которые позволят обеспечить парирование любых военных опасностей и военных угроз.

Важное место в техническом оснащении отводится метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации, под которым понимается комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм,

необходимых для достижения единства и требуемой точности, полноты, своевременности и экономичности измерений в войсках [4].

Организованность и целенаправленность процесса метрологического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации ориентированы на поддержание боеспособности воинских частей и здоровья личного состава, обеспечение боевой готовности войск (сил), готовности к применению, эффективности использования по назначению и безаварийности эксплуатации ВВСТ, экономии всех видов ресурсов при боевом, а также материально-техническом обеспечении и, в конечном итоге, на обеспечение превосходства в прогнозируемых военных конфликтах, в какие может быть втянуто государство (либо на завершение этих военных конфликтов на приемлемых уровнях).

Одним из приоритетных направлений развития метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации является широкое применение метрологических комплексов (МК) военного назначения (ВН), предназначенных для метрологического обслуживания ВВСТ, а также средств измерений (СИ) ВН [5].

Эффективность метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН в значительной степени зависит от технического облика МК ВН, который определяется составом рабочих мест (РМ), применяемых для аттестации эталонов, поверки СИ ВН, а также ремонта этих эталонов и СИ ВН. Таким образом, обеспечение требуемого уровня эффективности метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН на основе выбора оптимального технического облика является актуальной военно-научной задачей.

Формализация задачи

В формализованном представлении данная задача имеет следующий вид:

$$x^* = \arg \max_{\substack{K_n(x) \leq K_n^d \\ \Pi(x) \leq \Pi^d \\ C_{\text{эксп}}(x) \leq C_{\text{эксп}}^d}} P_{\text{обс}}(x),$$

где x – вариант технического облика МК ВН; $P_{\text{обс}}(x)$ – вероятность метрологического обслуживания ВВСТ и СИ ВН; $K_n(x)$ – коэффициент простоя МК ВН; K_n^d – допустимое значение коэффициента простоя МК ВН; $\Pi(x)$ – производительность МК ВН; Π^d – допустимое значение производительности МК ВН; $C_{\text{эксп}}(x)$ – затраты на эксплуатацию, включающие ущерб из-за отклонения значений метрологических характеристик от предъявляемых к МК ВН требований; $C_{\text{эксп}}^d$ – допустимые затраты на эксплуатацию, включающие ущерб из-за отклонения метрологических характеристик от предъявляемых к МК ВН требований.

Решение поставленной задачи может быть реализовано по схеме, приведенной на рис. 1.

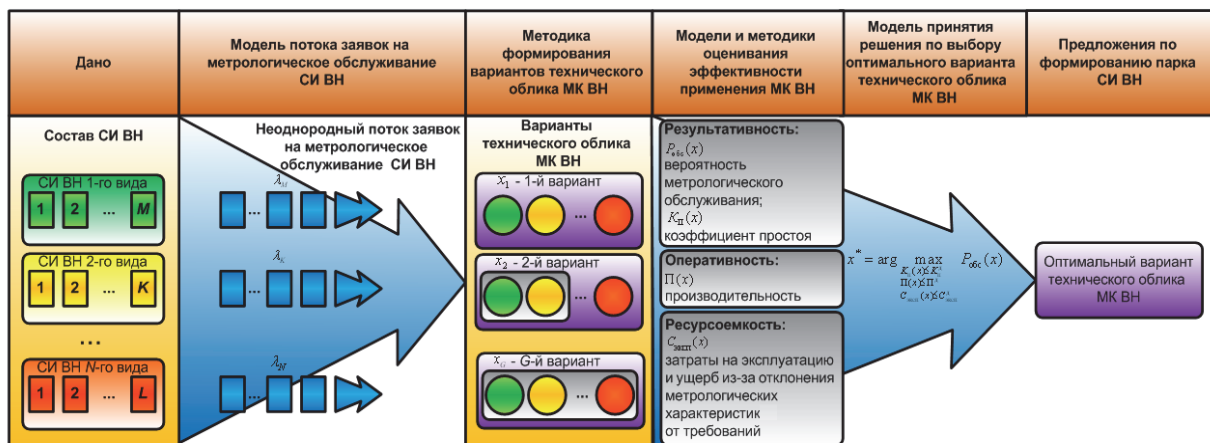


Рис. 1. Схема решения задачи обоснования технического облика к метрологическим комплексам военного назначения

Обоснование имитационного моделирования

Сложнейшей задачей при обосновании технического облика МК ВН является вычисление показателей результативности, в роли которых выступают:

- $P_{\text{обс}}(x)$ – вероятность метрологического обслуживания СИ ВН;
- $K_{\text{п}}(x)$ – коэффициент простоя МК ВН.

Сложность решения задачи расчета перечисленных показателей результативности МК ВН объясняется рядом причин. Во-первых, $P_{\text{обс}}(x)$ и $K_{\text{п}}(x)$ должны рассчитываться для всех вариантов технического облика МК ВН, количество которых может достигать нескольких сотен. Ко всему прочему в некоторых из вариантов необходимо учитывать возможность реконфигурации МК ВН путем замены одних РМ на другие. Во-вторых, при вычислении $P_{\text{обс}}(x)$ и $K_{\text{п}}(x)$ должна учитываться неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание. Такая неопределенность обусловлена территориальным распределением воинских частей (подразделений), эксплуатирующих СИ ВН, а также отсутствием данных о конкретных днях представления СИ ВН воинскими частями (подразделениями) на метрологическое обслуживание.

Представленные факторы не позволяют получить исчерпывающие решения на базе аналитических методов даже при численной реализации последних. В такой ситуации приходится прибегать к использованию имитационной модели функционирования реконфигурируемых МК в условиях неопределенности информации о моментах поступления СИ на метрологическое обслуживание.

В ней неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание разрешается на основе применения датчиков случайных чисел (ДСЧ) в ходе моделирования неоднородного потока заявок. Эти ДСЧ формируют псевдослучайные значения для моментов поступления СИ ВН в каждом календарном месяце.

Кроме того, реализующий имитационную модель алгоритм для каждой конфигурации каждого варианта технического облика МК ВН воспроизводит процесс его функционирования во времени и пространстве. При этом имитируются следующие составляющие процесса функционирования: поступление очередного СИ ВН определенного вида измерений на метрологическое обслуживание; проверка наличия РМ, не занятых метрологическим обслуживанием; непосредственно метрологическое обслуживание СИ ВН. Результаты каждого шага имитационного моделирования интерпретируются как состояние МК ВН в определенный момент времени. Это роднит имитационное моделирование с физическим экспериментом [6].

В ходе имитационного моделирования каждая конфигурация каждого варианта технического облика МК ВН представляется как разомкнутая однофазная многоканальная система массового обслуживания с отказами $\mathbf{GI} / \mathbf{G} / \mathbf{n} / \mathbf{0} / \mathbf{m}$, функционирующая по принципу FIFO (обслуживаются заявки в порядке поступления).

Здесь время распределения интервалов между заявками является произвольным, однако в первом приближении может использоваться \mathbf{D} закон равномерной плотности. Причем применение данного закона позволяет моделировать максимальную нагрузку на МК ВН по метрологическому обслуживанию СИ ВН.

Время распределения интервалов обслуживания заявок также является произвольным. Хотя и в этом случае возможно применение \mathbf{D} постоянного времени обслуживания заявок.

Количество каналов обслуживания \mathbf{n} для каждой конфигурации каждого варианта технического облика МК ВН различно. Оно соответствует числу видов измерений, для метрологического обслуживания которых предназначены РМ из состава МК ВН. Поэтому допускается, что при наличии в конфигурации нескольких РМ, предназначенных для метрологического обслуживания СИ ВН одного вида измерений, они объединяются в один канал обслуживания с суммарной производительностью.

Очередь в системе массового обслуживания не предусмотрена – $\mathbf{0}$, что объясняется территориальным распределением заявок.

Количество потоков m равно общему числу видов измерений, т.е. 18.

Структура имитационной модели

Имитационное моделирование реализуется на основе метода статистических испытаний Монте-Карло. Согласно этому методу имитация осуществляется путем многократного отображения единичного действия МК ВН через заданный дискретный шаг времени, позволяющего отражать на основе статистических выходных данных вероятностный характер процесса функционирования МК ВН [3].

Для получения результатов для каждой k -й конфигурации каждого x -го варианта технического облика МК ВН проводится I независимых испытаний. Проведение независимых испытаний осуществляется по алгоритму, схема которого представлена на рис. 2:

Шаг 1. Формирование неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание. Этот шаг предполагает выполнение алгоритма моделирования неоднородных потоков СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание.

Шаг 2. Установка начального значения номера варианта технического облика МК ВН:

$$x = 1.$$

Шаг 3. Проверка окончания перебора вариантов технического облика МК ВН исходя из условия

$$x > X,$$

где X – общее количество вариантов технического облика МК ВН.

Если номер варианта технического облика МК ВН больше общего количества вариантов, то выполнение алгоритма завершается. В противном случае выполняется шаг 4.

Шаг 4. Установка начального значения номера конфигурации варианта технического облика МК ВН:

$$k = 1.$$

Шаг 5. Проверка окончания перебора конфигураций варианта технического облика МК ВН исходя из условия

$$k > K_x,$$

где K_x – общее количество вариантов x -го технического облика МК ВН.

Если номер конфигурации варианта технического облика МК ВН больше общего количества конфигураций, то осуществляется переход на шаг 6. В противном случае реализуется шаг 9.

Шаг 6. Вычисление вероятности метрологического обслуживания СИ ВН x -м вариантом технического облика МК ВН:

$$P_{\text{обс}}(x) = \frac{\sum_{k=1}^K P_{\text{обс}k}(x)}{K},$$

где $P_{\text{обс}k}(x)$ – вероятности метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурацией x -го варианта технического облика МК ВН.

Шаг 7. Вычисление коэффициента простоя x -го варианта технического облика МК ВН:

$$K_{\text{п}}(x) = \frac{\sum_{k=1}^K K_{\text{п}k}(x)}{K},$$

где $K_{\text{п}k}(x)$ – коэффициент простоя k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН.

Шаг 8. Переход к очередному варианту технического облика МК ВН:

$$x = x + 1.$$



Шаг 9. Установка начального значения счетчика независимых испытаний:

$$i = 1.$$

Шаг 10. Проверка окончания проведения независимых испытаний исходя из условия

$$i > I,$$

где I – общее количество испытаний.

Если данное условие является истинным, то выполняется шаг 18. Иначе выполняется шаг 11.

Шаг 11. Установка начального значения счетчика модельного времени:

$$t = 1,$$

при этом единицей модельного времени являются сутки.

Шаг 12. Проверка условия окончания моделирования:

$$t > T,$$

где T – допустимое модельное время.

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 13. Иначе реализуется шаг 14.

Шаг 13. Проведение очередного независимого испытания:

$$i = i + 1.$$

Шаг 14. Для всех РМ обнуление флага «занято обслуживанием»:

$$\forall j: \text{PM}_j = 0,$$

где PM_{jm} – флаг j -го РМ, который указывает на то, что оно занято метрологическим обслуживанием.

Шаг 15. Обнуление счетчиков событий, характеризующих результаты метрологического обслуживания СИ ВН:

$$N = 0, \quad M = 0, \quad G = 0, \quad H = 0,$$

где N – количество событий, при которых СИ ВН успешно обслужены; M – количество событий, при которых СИ ВН не обслужены; G – количество событий, при которых k -я конфигурация x -го варианта технического облика МК ВН занята метрологическим обслуживанием; H – количество событий, при которых k -я конфигурация x -го варианта технического облика МК ВН свободна от метрологического обслуживания.

Шаг 16. Обнуление производительности канала обслуживания:

$$\Pi = 0.$$

Шаг 17. Установка начального значения счетчика видов измерений:

$$m = 1.$$

Шаг 18. Вычисление частоты метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурацией x -го варианта технического облика МК ВН:

$$P_{\text{обск}}(x) = \frac{N}{N + M}.$$

Шаг 19. Вычисление коэффициента простоя k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН:

$$K_{\text{пк}}(x) = \frac{G}{G + H}.$$

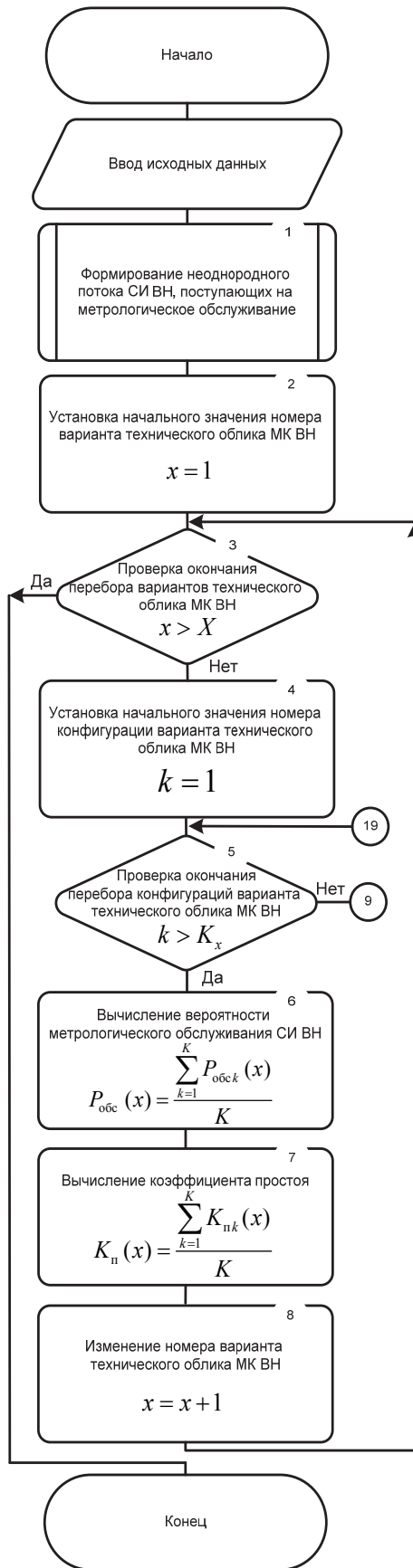


Рис. 2. Схема имитационной модели (начало)

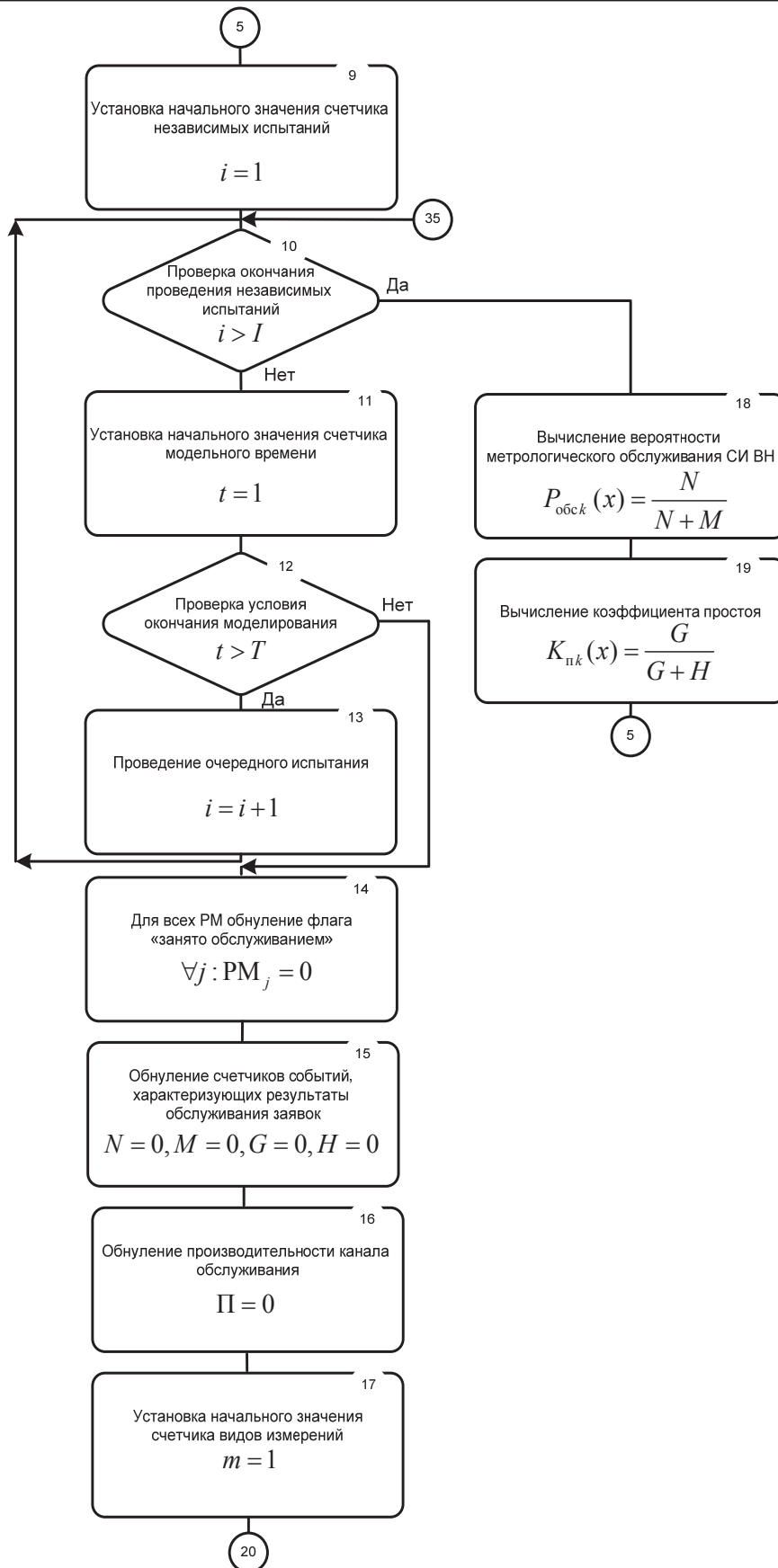


Рис. 2. Схема имитационной модели (продолжение)

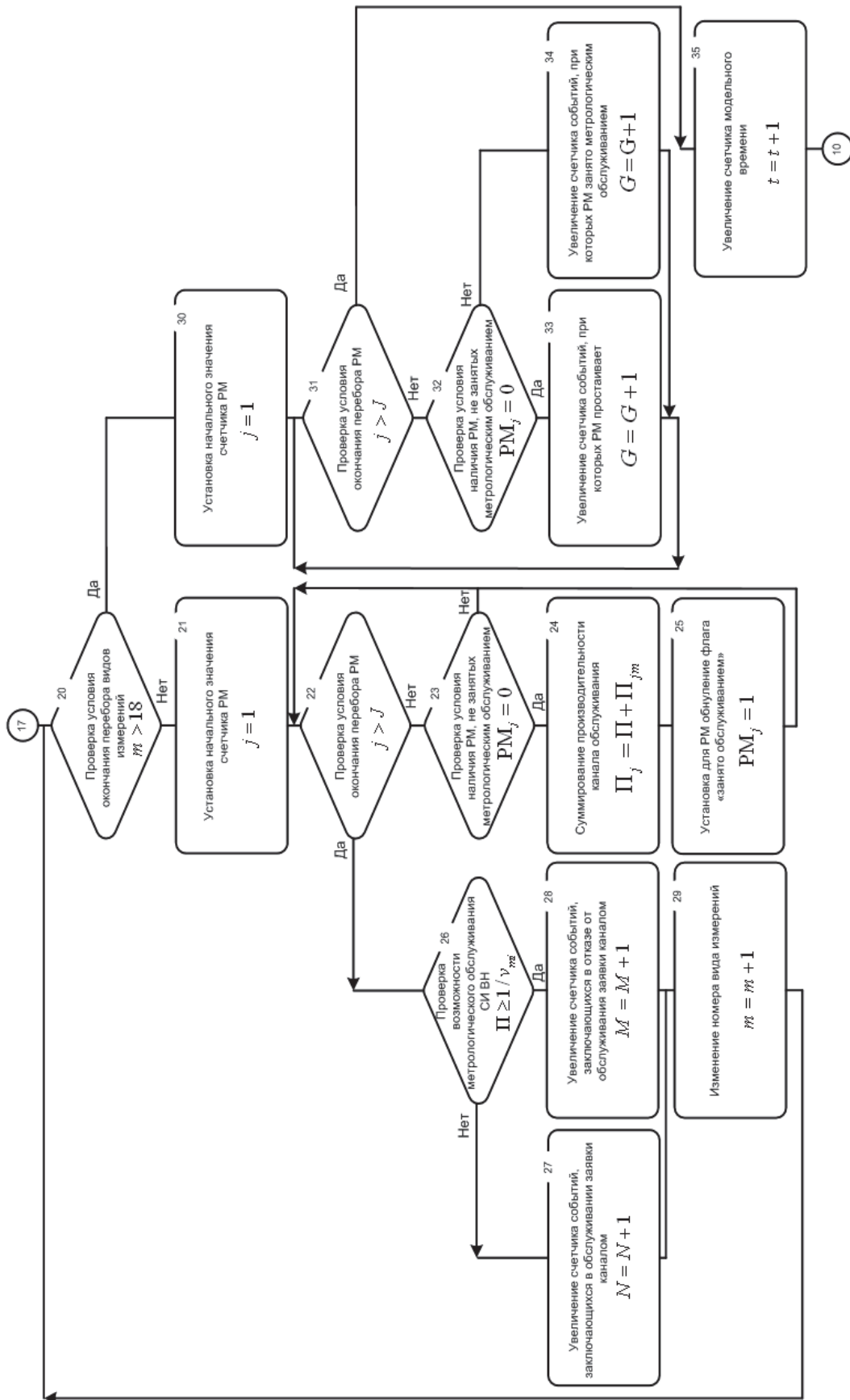


Рис. 2. Схема имитационной модели (окончание)



Шаг 20. Проверка окончания перебора видов измерений исходя из следующего условия:

$$m > 18.$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 30. В противном случае реализуется шаг 21.

Шаг 21. Установка начального значения счетчика РМ:

$$j = 1.$$

Шаг 22. Проверка условия окончания перебора РМ:

$$j > J.$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 26. Иначе реализуется шаг 23.

Шаг 23. Проверка того, что j -е РМ не занято метрологическим обслуживанием:

$$PM_j = 0.$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 24. В противном случае реализуется шаг 22.

Шаг 24. Суммирование производительности канала обслуживания:

$$\Pi_j = \Pi + \Pi_{jm},$$

где Π_{jm} – производительность (количество СИ ВН в сутки) j -го РМ по метрологическому обслуживанию СИ ВН m -го вида измерений.

Шаг 25. Установка для j -го РМ обнуления флага «занято обслуживанием»:

$$PM_j = 1.$$

Шаг 26. Проверка возможности метрологического обслуживания СИ ВН k -й конфигурации x -го варианта технического облика МК ВН исходя из условия

$$\Pi \geq \frac{1}{v_{mi}},$$

где v_{mi} – интенсивность поступления на метрологическое обслуживание СИ ВН m -го вида измерений.

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 27. Иначе реализуется шаг 28.

Шаг 27. Увеличение счетчика событий, заключающихся в обслуживании заявки каналом:

$$N = N + 1.$$

Шаг 28. Увеличение счетчика событий, заключающихся в отказе от обслуживания заявки каналом:

$$M = M + 1.$$

Шаг 29. Переход к очередному виду измерений:

$$m = m + 1.$$

Шаг 30. Установка начального значения счетчика РМ:

$$j = 1.$$

Шаг 31. Проверка условия окончания перебора РМ:

$$j > J .$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 35. Иначе реализуется шаг 32.

Шаг 32. Проверка того, что j -е РМ не занято метрологическим обслуживанием:

$$PM_j = 0 .$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 33. В противном случае реализуется шаг 34.

Шаг 33. Увеличение счетчика событий, при которых j -й РМ простаивает:

$$G = G + 1 .$$

Шаг 34. Увеличение счетчика событий, при которых j -й РМ занято метрологическим обслуживанием:

$$H = H + 1 .$$

Шаг 35. Сначала осуществляется увеличение счетчика модельного времени:

$$t = t + 1 .$$

Затем выполняется переход на шаг 10.

Алгоритм моделирования неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание, включает следующие действия (см. рис. 3):

Шаг 1. Установка начального значения счетчика независимых испытаний:

$$i = 1 .$$

Шаг 2. Проверка окончания проведения независимых испытаний исходя из условия

$$i > I .$$

Если данное условие является истинным, то алгоритм завершается. Иначе выполняется шаг 3.

Шаг 3. Установка начального значения счетчика модельного времени:

$$t = 1 .$$

Шаг 4. Проверка условия окончания моделирования:

$$t > T .$$

В случае выполнения условия осуществляется переход на шаг 5. Иначе реализуется шаг 6.

Шаг 5. Проведение очередного независимого испытания:

$$i = i + 1 .$$

Шаг 6. Установка начального значения счетчика видов измерений:

$$m = 1 .$$

Шаг 7. Проверка окончания перебора видов измерений исходя из следующего условия:

$$m > 18 .$$

Если это условие выполняется, то осуществляется переход на шаг 9. В противном случае реализуется шаг 8.

Шаг 8. Проверка предельного значения случайной величины:

$$N_{СИ} = 0 .$$

Если данное условие является истинным, то выполняется шаг 7. Иначе выполняется шаг 10.

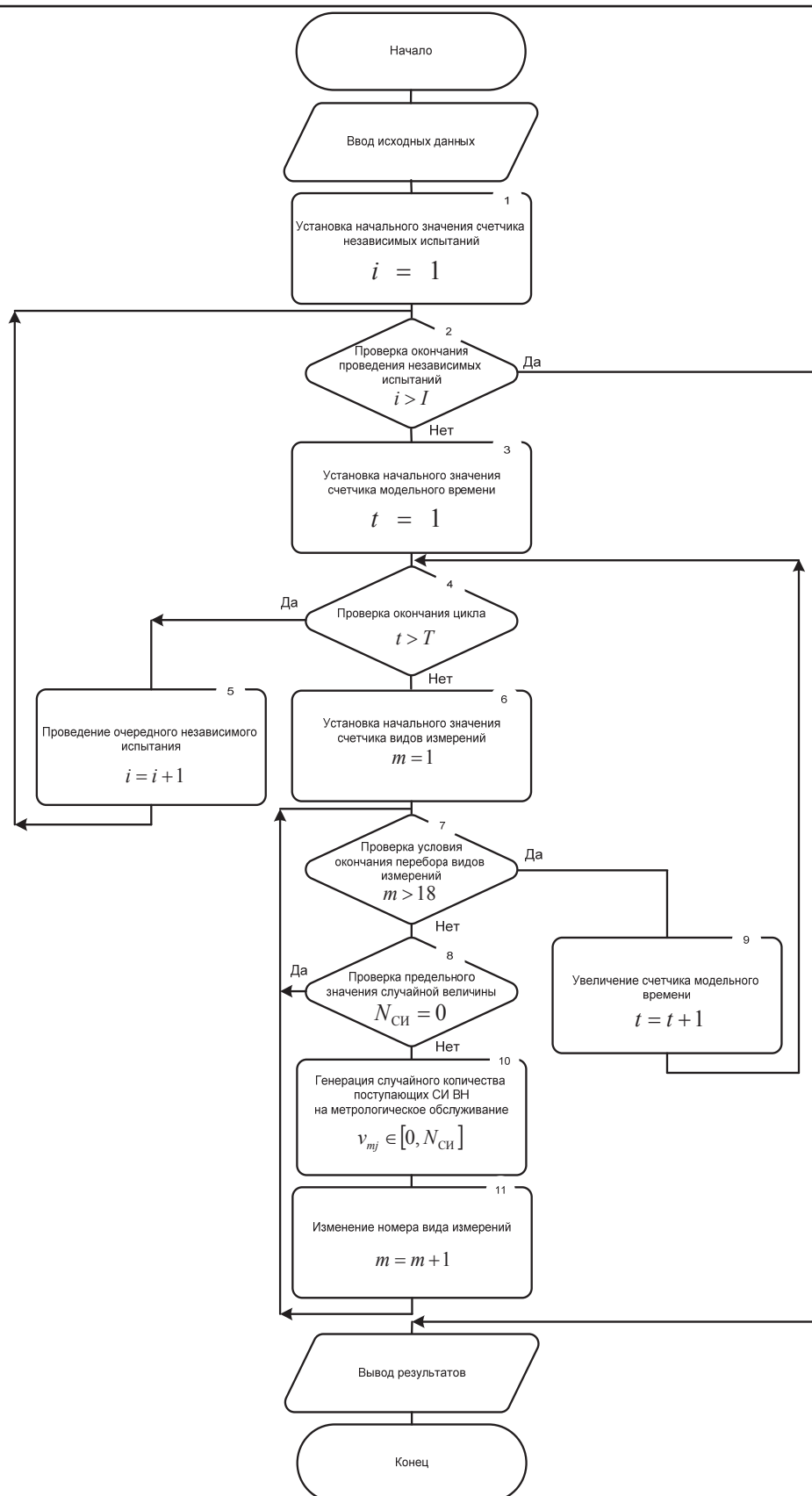


Рис. 3. Алгоритм моделирования неоднородного потока СИ ВН, поступающих на метрологическое обслуживание

Шаг 9. Увеличение счетчика модельного времени:

$$t = t + 1.$$

Шаг 10. Генерация с помощью ДСЧ случайного количества поступающих СИ ВН на метрологическое обслуживание $v_{mj} \in [0, N_{СИ}]$.

Шаг 11. Изменение номера вида измерений:

$$m = m + 1.$$

Обоснование адекватности имитационной модели

Для проверки адекватности имитационного моделирования используется метод получения статистически значимых выводов относительно выходных данных имитационного моделирования. Этот метод ориентирован, прежде всего, на анализ степени однородности данных, получаемых в ходе проведения серии независимых испытаний. В частности, в рамках метода анализируется количественное содержание аномальных результатов в получаемой совокупности (выборке) для одной и той же конфигурации варианта технического облика. При этом в ходе независимых испытаний оцениваются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение вероятностных показателей результативности $P_{обск}(x)$ и $K_{ПК}(x)$ конфигурации варианта технического облика по формулам

$$M[*] = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I M_i[*];$$

$$\sigma[*] = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (u_i - M_i[*])^2,$$

где $M_i[*]$ – математическое ожидание показателя результативности конфигурации варианта технического облика в i -м испытании; u_i – значение показателя результативности конфигурации варианта технического облика в i -м испытании.

Оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения $P_{обск}(x)$ и $K_{ПК}(x)$ представлены на рис. 4-6. Данные оценки подставляются в критерий согласия Колмогорова-Смирнова, который позволяет определить в полученной выборке значение u^* показателя результативности конфигурации варианта технического облика, максимально отклоняющееся от оценки $M[*]$. При этом u^* считается аномальным, если выполняется следующее неравенство [1]:

$$\xi_i > \xi_{п},$$

где $\xi_i = \frac{|u^* - M[*]|}{\sigma[*]}$ – i -я статистика; $\xi_{п}$ – пороговое значение статистики. Пороговое значение статистики при $I > 50$ определяется по формуле

$$\xi_{п} = V \cdot \sqrt{\frac{2(I-1)}{2I-5+V^2 + \frac{(3+V^2+2V^4)}{6(2I-5)}}},$$

где $V = \Phi^{-1}(1 - \alpha/2I)$ – функция, обратная функции нормального распределения, аргумент которой включает $\alpha \leq 0,2$ (ошибку первого рода).

Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения $P_{обск}(x)$ и $K_{ПК}(x)$ представлены на рис. 7 и 8.

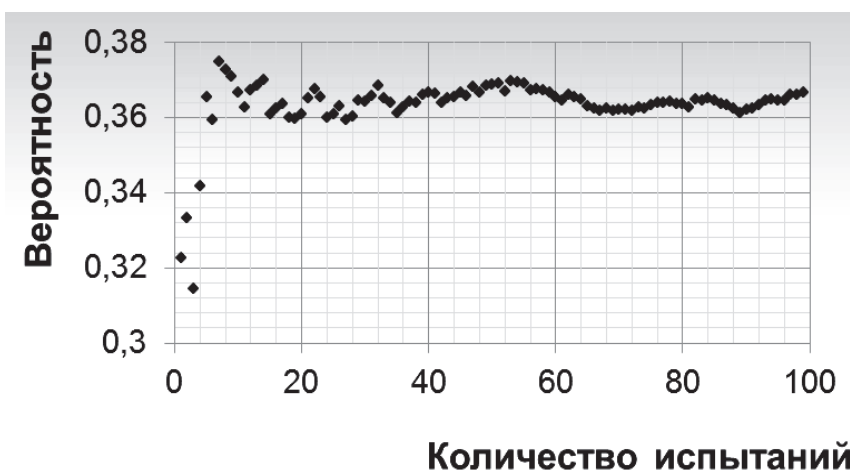


Рис. 4. Математическое ожидание вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

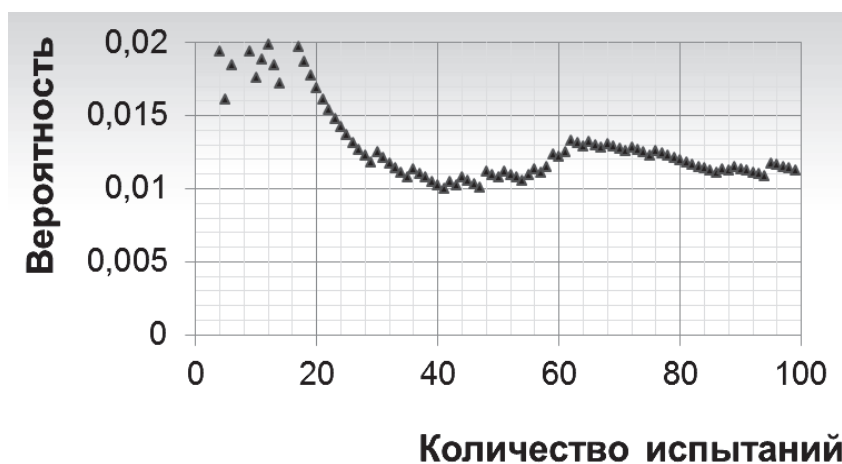


Рис. 5. Математическое ожидание коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

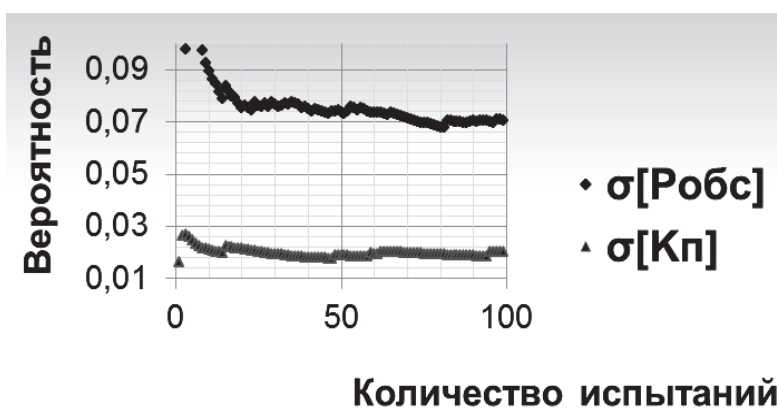


Рис. 6. Среднеквадратические отклонения вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика и коэффициент простоя

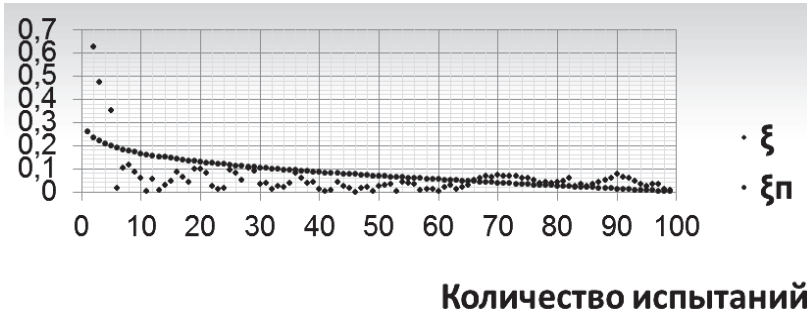


Рис. 7. Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

Как видно из рис. 7 и 8, результаты имитационного моделирования позволяют получить достаточную совокупность (выборку) для вычисления вероятности обслуживания СИ ВН $P_{обск}(x)$ и коэффициента простоя $K_{пк}(x)$ для произвольной конфигурации варианта технического облика МК ВН, что указывает на достоверность имитационной модели.

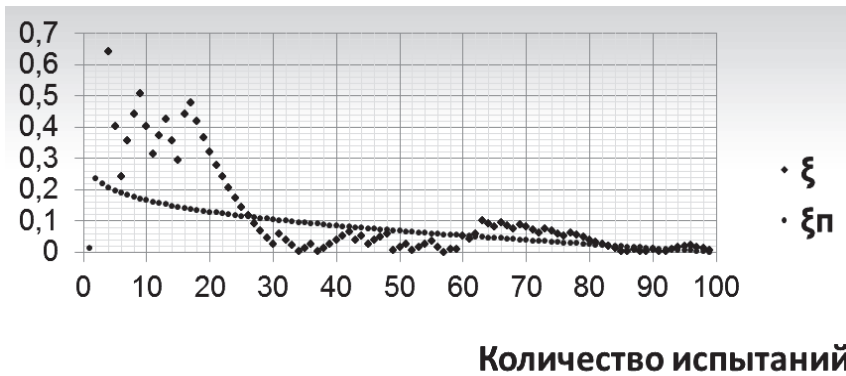


Рис. 8. Статистики и пороговые значения статистик для полученных оценок математического ожидания коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

Подтверждением этому является и достаточно низкое значение доверительных интервалов для оценок математического ожидания $P_{обск}(x)$ и $K_{пк}(x)$. Так, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение $P_{обск}(x)$ при выборке большего объема не выйдет за пределы интервала (0,35; 0,38), приведенного на рис. 9.

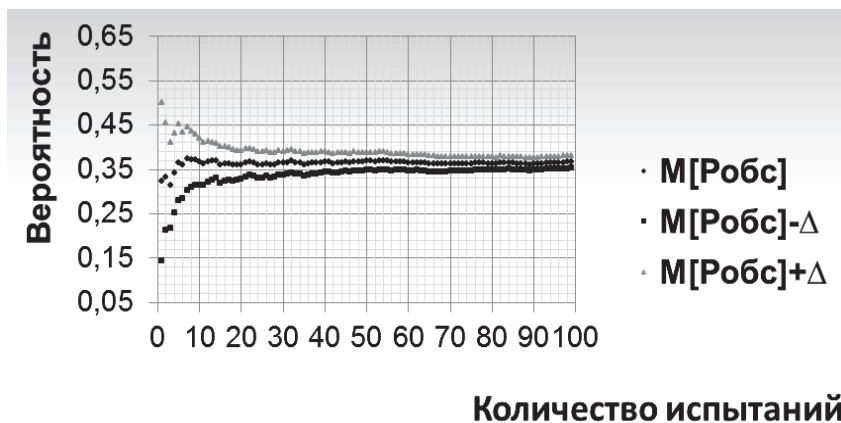


Рис. 9. Доверительные границы для вероятности обслуживания СИ ВН конфигурацией варианта технического облика

Кроме того, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что среднее значение $K_{пк}(x)$ при выборке большего объема не выйдет за пределы интервала (0,00735; 0,0152), приведенного на рис. 10.

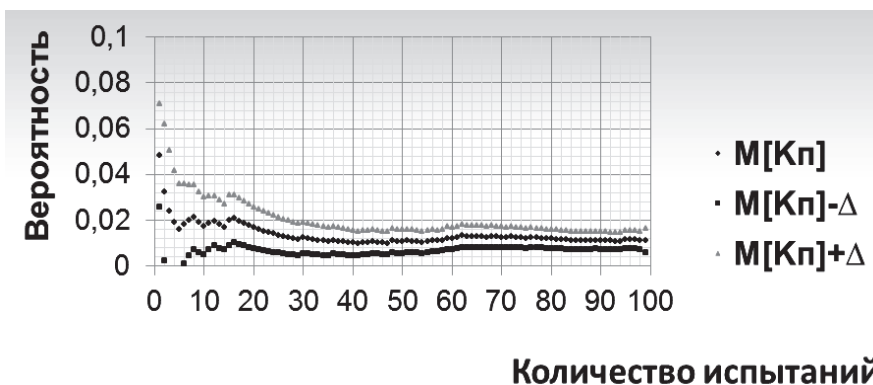


Рис. 10. Доверительные границы для коэффициента простоя конфигурации варианта технического облика

Заключение

Таким образом, предлагаемая имитационная модель, в отличие от имеющихся, учитывает возможность реконфигурации МК ВН, а также неопределенность информации о моментах поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание. Данная модель может быть использована при военно-научном обосновании разработки перспективных МК ВН и повышении эффективности функционирования существующих, при разработке методов и технических средств метрологического обслуживания СИ ВН, оценивании тактико-технических характеристик МК ВН при их контроле и испытаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алгазинов, Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э. К. Алгазинов, А. А. Сирота; под общ. ред. А. А. Сироты. – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.
2. Анализ военных угроз и военных опасностей Российской Федерации на долгосрочную перспективу / Я. Н. Гусеница, Ю. Л. Кругляк, Д. О. Петрич, О. В. Беленович // СРДР. Сер. Б. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2014. – Вып. 107.
3. Бусленко, Н. П. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах / Н. П. Бусленко, Ю. А. Шрейдер. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1970. – 228 с.
4. ГОСТ РВ 8.572-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение обороны. Термины и определения. – Взамен ГОСТ ВД 16263-82; введ. 1999-10-14. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.
5. Лесун, И. В. Основные направления развития метрологического обеспечения вооружения и военной техники / И. В. Лесун // Оборонный комплекс Российской Федерации: состояние и перспективы развития. – 2011. – Т. 7. – С. 447-454.
6. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю. И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 384 с.

Шерстобитов С. А., Новиков А. Н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧНОСТИ УЗЛОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТИ С УЧЕТОМ КОНТРОЛЯ

Шерстобитов С. А., Новиков А. Н.

S. A. Sherstobitov, A. N. Novikov

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧНОСТИ УЗЛОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТИ С УЧЕТОМ КОНТРОЛЯ

THE CRITICALITY DEFINITIONS OF INFORMATION MANAGEMENT NETWORK UNITS IN VIEW OF CHECKING PROCEDURES

Шерстобитов Сергей Александрович – адъюнкт Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского (Россия, г. Санкт-Петербург). E-mail: radosti_yad@mail.ru.

Mr. Sergey A. Sherstobitov – Post-graduate Student of Faculty of Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky (Russia, St. Petersburg). E-mail: radosti_yad@mail.ru.

Новиков Александр Николаевич – к.т.н., доцент кафедры метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (Россия, г. Санкт-Петербург). E-mail: novalloll@mail.ru

Mr. Alexander N. Novikov – Cand. Tech. Sci., Associate Professor of Faculty of Metrological Maintenance of Arms, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky (Russia, St.Petersburg). E-mail: novalloll@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ проблемы повышения качества работы сложной системы в зависимости от элементов системы, оказывающих наибольшее влияние на ее работоспособность. Обоснована актуальность решения задачи определения критических элементов системы при известных вероятностных показателях их работы. Рассмотрена вероятностная модель информационной управляющей системы (сети). Исследовано влияния контроля на различных этапах цикла управления. Предложен подход к определению критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля ее параметров на различных этапах. В качестве показателя критичности принята чувствительность вероятности безошибочной работы системы по отношению к вероятностям контроля этапов. В заключении приведен численный пример расчета чувствительностей вероятности безошибочной работы системы по отношению к вероятностям контроля этапов на основе предложенной модели.

Summary. The problem of improving quality of work of a complex system, depending on system components that have the greatest influence on its performance is being analyzed in the paper. The author justifies the urgency of solving the problem of determining the critical elements of the system under certain probabilistic performance of their work. The probable model of information management system is considered, the effect of checking procedures at different stages of the management cycle is investigated. The article discusses an approach to the definition of critical components of information management network in view of checking its parameters at different stages. The sensitivity of the probable error-free system operation in relation to the probabilities of stage checking is adopted as an indicator of the criticality. Finally, a numerical example of the sensitivity calculation of probable error-free system operation in relation to the probable checking of stages based on the proposed model is submitted.

Ключевые слова: информационная управляющая система, информационный процесс принятия решения, контроль, критичность, чувствительность, граф состояний.

Key words: information management system, information decision-making process, checking procedures, criticality, sensitivity, a state graph.

УДК 621.37

Введение

Цикл управления информационной управляющей сети условно можно разделить на элементарные этапы. Обеспечить повышение качества работы всей системы путем улучшения качества работы одновременно всех этапов затруднительно по причине ограниченности ресурсов, а также больших затрат. Очевидно, что различные этапы в системе играют неодинаковые роли – от-

казы на разных этапах могут приводить к разным по степени влияния на состояние системы последствиям. В этом случае необходимо определить этапы, которые оказывают наибольшее влияние на работоспособность системы. Это позволит сконцентрировать усилия на совершенствовании именно таких критических элементов. При этом под критичностью элемента сложной системы понимается свойство элемента, отражающее возможность возникновения и степень влияния отказа элемента на работоспособность системы [1].

На каждом из этапов такой системы возможно появление ошибок различного рода. Они могут быть обусловлены неопределенностью, неоднозначностью, неполнотой и нечеткостью исходных данных и знаний о состоянии системы, а также значительной динамичностью изменения данных и знаний. Это оказывает влияние на всю систему в целом. Создание перспективной системы с высокими целевыми характеристиками требует разработки новых подходов к решению проблемы обеспечения ее работоспособности. Важнейшим направлением решения данной проблемы является разработка, создание и оптимизация систем контроля, которые позволят при достаточно низком уровне ресурсных затрат с требуемой максимальной достоверностью и полнотой оценивать текущее состояние системы, а также формировать воздействие по управлению состоянием системы в процессе ее целевого применения [3].

В этом случае, помимо количественного оценивания информационного процесса принятия решения, важен вопрос оценивания критичности элемента контроля, то есть *влияния контроля* на этапах цикла принятия решения, его «вклад» в конечный целевой показатель – вероятность безошибочной работы системы в целом. Критичность элемента контроля может быть оценена как чувствительность вероятности безошибочной работы системы по отношению к надежности узла контроля. Решение этой задачи позволит найти «слабое звено» в системе контроля и определить, какому этапу необходимо уделить внимание, потратить дополнительный ресурс, чтобы эффективно повысить качество работы всей системы. При простых прямых переходах между этапами цикла принятия решения поставленная задача решается достаточно легко и очевидно. Однако при усложнении системы, наличии обратных и перекрестных связей такая задача не выглядит столь тривиальной.

Целью настоящей статьи является рассмотрение модели информационной управляющей системы (сети) и исследование влияния контроля на различных этапах цикла управления. В статье будет использована математическая модель – вероятностная матричная модель для определения вероятности получения конечного результата с учетом влияния контроля на различных этапах цикла управления.

Модель информационной управляющей системы

В работе [4] предложен подход к количественному оцениванию работоспособности сложной системы – цикла управляющей сети. За основу модели цикла управления приняты идеи, заложенные J.R. Boyd и описанные в монографии [2]. В соответствии с ними любая деятельность в сфере управления с целью достижения результата может быть представлена в виде кибернетической модели. Указанная модель предполагает многократное повторение петли – цикла действий, составленного из четырех последовательных взаимодействующих этапов: наблюдение (observation), ориентация (orientation), решение (decision), действие (action). В модели может быть неоднократно реализован принцип обратной связи, в соответствии с которым информация с выходов этапов подается на входы предшествующих этапов, чтобы уточнить и скорректировать поведение системы на последующих этапах.

Аналогично источнику [4] построим сетевую математическую модель для вероятностного оценивания длительности цикла. Четыре этапа цикла во времени выполняются последовательно друг за другом. Предположим для примера, что второй и третий элементы цикла могут обращаться к предшествующим элементам неоднократно с целью корректировки недостающей информации. В принципе могут предполагаться и любые другие обратные связи в цикле с охватом и большего количества элементов. Кроме того, предположим, что каждый этап подвергается контролю с вероятностью контроля q_i . Пример графа организации цикла показан на рис. 1.

Граф содержит 5 пять узлов: 0 узел является истоком графа, 1 – 4 узлы соответствуют четырём этапам цикла, а узел 5 служит стоком графа. Обозначим вероятности успешных завершений временных процессов в этапах i в течение времён t_i через $P_i(t_i)$, $i = 1, 2, 3, 4$, а вероятности переходов между этапами цикла – соответственно через $r_{01}, r_{12}, r_{21}, r_{23}, r_{32}, r_{34}$. При этом должны выполняться условия $r_{01} = 1; r_{21} + r_{23} = 1; r_{32} + r_{34} = 1, r_{45} = 1$.

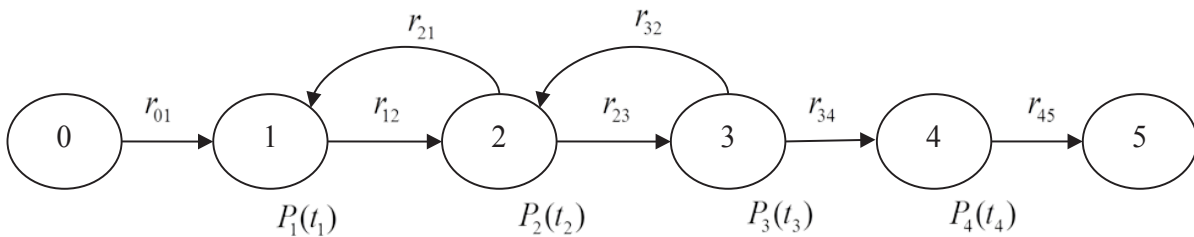


Рис. 1. Граф организации цикла

Тогда с учетом вероятностей контроля матрица переходов между узлами графа $G = G(t)$, $t = (t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$ примет вид:

$$G = \begin{pmatrix} 0 & r_{01}P_0(t_0)q_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{12}P_1(t_1)q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{21}P_2(t_2)q_2 & 0 & r_{23}P_2(t_2)q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{32}P_3(t_3)q_3 & 0 & r_{34}P_3(t_3)q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r_{45}P_4(t_4)q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Введем понятие шага как единичного перехода между этапами цикла. Для того чтобы найти вероятности безошибочной работы за два шага нужно просуммировать с соответствующими вероятностями произведения вероятностей по всем путям, содержащим две вершины, это достигается возведением матрицы G в квадрат. Возводя матрицу G в куб, получаем вероятности безошибочной работы за три шага и т.д.

Построим матрицу

$$T = I + G(t) + G^2(t) + \dots = I(I - G(t))^{-1},$$

где I – единичная матрица.

Элемент матрицы T с номером $(0, 5)$ представляет собой выражение для вероятности безошибочной работы всего цикла с учетом всех возможных последовательностей выполнения его отдельных этапов.

Построим матрицу $(I - G)$:

$$(I - G) = \begin{pmatrix} 1 & -r_{01}P_0(t_0)q_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -r_{12}P_1(t_1)q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r_{21}P_2(t_2)q_2 & 1 & -r_{23}P_2(t_2)q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r_{32}P_3(t_3)q_3 & 1 & -r_{34}P_3(t_3)q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -r_{45}P_4(t_4)q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В соответствии с [4] вероятность безошибочной работы цикла будет равна:

$$P = P(t_1, t_2, t_3, t_4) = \frac{Q(t)}{R(t)},$$

где $Q(t)$ – алгебраическое дополнение элемента с номером (5, 0) матрицы (1); $R(t)$ – главный определитель этой матрицы.

Определение чувствительности

Вспользуемся подходом к определению чувствительности вероятности безошибочной работы системы по отношению к такой вероятности ее отдельного узла, описанным в [5]. Чувствительность s_i вероятности безошибочной работы системы P по отношению к вероятности контроля q_i узла i определим как частную производную P по отношению к q_i :

$$s_i = \frac{\partial P}{\partial q_i}. \quad (2)$$

Попробуем теперь выразить P как функцию q_i .

Алгебраическое дополнение элемента с номером (5, 0) матрицы (1):

$$Q(t) = Q = (-1)^5 M_{5,0},$$

где $M_{5,0}$ – минор матрицы (1). Тогда

$$P = (-1)^5 \frac{M_{5,0}}{R(t)}. \quad (3)$$

Определитель $R(t)$ может быть оценен путем раскрытия его вдоль любой строки i с учетом алгебраических дополнений

$$R(t) = R = R(i, 0)\alpha_{i0} + R(i, 1)\alpha_{i1} + \dots + R(i, 5)\alpha_{i5},$$

где α_{ij} – алгебраическое дополнение $R(i, j)$.

Так как вероятности успешных завершений временных процессов в этапах независимы, то алгебраическое дополнение α_{ij} не является функцией q_i . Следовательно,

$$R = K_{1i} + K_{2i}P_iq_i, \quad (4)$$

где $K_{1i} = \alpha_{ii}$, $K_{2i} = -\sum_{j=0}^5 r_{ij}\alpha_{ij}$, при этом K_{1i} и K_{2i} не являются функциями q_i .

Аналогичным образом может быть оценен определитель минора $M_{5,0}$ путем раскрытия его вдоль любой строки i с учетом алгебраических дополнений B_{ij} в $M_{5,0}(i, j)$:

$$|M_{5,0}| = k_{1i} + k_{2i}P_iq_i, \quad (5)$$

где $k_{1i} = \begin{cases} 0, i = 0 \\ B_{i(i-1)}, i = 1, \dots, 4 \end{cases}$, $k_{2i} = -\sum_{j=1}^5 P_{ij}B_{i(j-1)}$, при этом k_{1i} и k_{2i} не являются функциями q_i .

Таким образом, с учетом формул (3), (4) и (5) вероятность безошибочной работы всей системы будет равна:

$$P = (-1)^5 \frac{k_{1i} + k_{2i}P_iq_i}{K_{1i} + K_{2i}P_iq_i}. \quad (6)$$

Согласно формуле (2), чувствительность s_i может быть рассчитана путем дифференцирования уравнения (6) по отношению к q_i ,

$$s_i = \frac{\partial P}{\partial q_i} = (-1)^5 \frac{P_i(K_{1i}k_{2i} - K_{2i}k_{1i})}{(K_{1i} + K_{2i}P_iq_i)^2},$$

где k_{1i} и k_{2i} , K_{1i} и K_{2i} определены уравнениями (4) и (5) и могут быть рассчитаны из матрицы $(I - G)$.

Пример. Необходимо найти значения чувствительностей вероятности безошибочной работы автоматизированной системы поверки по отношению к вероятностям контроля на этапах поверки.

Представим процесс поверки в виде четырех этапов. На первом этапе происходит наблюдение за объектом (поверяемым средством измерения): осмотр, опробование, получение измеренных значений. На втором этапе происходит вычисление погрешностей по каждой определяемой метрологической характеристике. На третьем этапе происходит сравнение полученных погрешностей с допустимыми и принятие решения о том, входят ли они в допуски, пригодно ли средство измерения к эксплуатации. На четвертом этапе оформляется свидетельство о поверке либо извещение о непригодности на основании принятого решения на этапе три.

Следовательно, процесс поверки может быть представлен в виде цикла, стохастический граф которого рассмотрен на рис. 1.

Заданы следующие значения параметров цикла:

$$r_{01} = 1; r_{12} = 1; r_{21} = 0.1; r_{23} = 0.9; r_{32} = 0.05; r_{34} = 0.95; r_{45} = 1. \\ P_0(t_0) = 1; P_1(t_1) = 0.93; P_2(t_2) = 0.84; P_3(t_3) = 0.97; P_4(t_4) = 0.95.$$

Заданы вероятности контроля на этапах цикла:

$$q_1 = 0.9; q_2 = 0.85; q_3 = 0.95; q_4 = 0.97.$$

Производя вычисления по приведённым формулам, получим значения чувствительностей:

$$s_1 = 0.564; s_2 = 0.616; s_3 = 0.518; s_4 = 0.491.$$

Таким образом, чувствительность вероятности безошибочной работы системы в целом по отношению к вероятности контроля второго этапа является наибольшей. Контроль второго этапа оказывает наибольший вклад в целевой показатель работоспособности системы.



Заключение

Предложенная методика определения критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля позволяет найти «узкие места» в системе, т.е. критические элементы в системе контроля, отказы которых в наибольшей степени влияют на вероятность безошибочной работы всей системы. При этом коэффициенты чувствительности с большими значениями указывают на критические элементы, которые оказывают большее влияние на вероятность безошибочной работы системы. К таким элементам должны применяться более строгие алгоритмы доказательства корректности их работы или методы исчерпывающего тестирования. Обнаруженные критические элементы должны проходить более строгие приемочные испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, В. Г. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем / В. Г. Афанасьев, В. А. Зеленцов, А. Н. Миронов. – СПб.: Министерство обороны, 1992. – 99 с.
2. Ивлев, А. А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации: моногр. / А. А. Ивлев. – М.: Знание, 2008. – 64 с.
3. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем: моногр. / В. В. Мышко, А. Н. Кравцов, Е. В. Копкин, В. А. Чикуров. – СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2013. – 303 с.
4. Смагин, В. А. Оценивание длительности и количества информационной работы в цикле управляющей сети / В. А. Смагин, С.А. Шерстобитов. – СПб.: Информация и космос, 2016. – № 1. – С. 75 – 79.
5. Cheung, R. C. A User-Oriented Software Reliability Model / R. C. Cheung // IEEE Transactions On Software Engineering, 1980, V. 6, ISS. 2. P. 118-125.

МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

Верещагин В. Ю., Мокрицкий Б. Я., Верещагина А. С.
V. Yu. Vereshchagin, B. Yu. Mokritskii, A. S. Vereshchagina

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ СОСТАВНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ
COMPOSITE SHANK CUTTER TEST RESULTS EVALUATION

Верещагин Владислав Юрьевич – студент-магистр направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: Klirickv@gmail.com

Mr. Vladislav Yu. Vereshchagin - Master's Degree Student major in design engineering maintenance of machinery production, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: Klirickv@gmail.com

Мокрицкий Борис Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: boris@knastu.ru.

Mr. Boris Ya. Mokritskii – Doctor of Technical Science, Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: boris@knastu.ru.

Верещагина Александра Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: osa321@gmail.com.

Ms. Alexandra S. Vereshchagina – PhD in Engineering, Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: osa321@gmail.com.

Аннотация. Проведены испытания составных твёрдосплавных фрез на прочность соединения твёрдосплавной режущей части и хвостовика. Испытания проводилось на оборудовании технопарка КнАГТУ с использованием современных станков с ЧПУ.

Summary. The strength of carbide cutting part and shank tests of composite shank cutters have been carried out with the help of the Technopark KnASTU equipment including modern CNC machines.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, прочность, составные твёрдосплавные концевые фрезы.

Key words: experimental study, resistance, composite carbide shank cutters.

УДК 621.9.02

Работа выполнена при поддержке гранта №9.251.2014/К Минобрнауки РФ.

На базе технопарка КнАГТУ совместно с работниками ПАО «Авиационной холдинговой компании «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина» были проведены испытания разработанных составных концевых фрез. В рамках испытаний проверялась в эксплуатационных условиях прочность соединения составной концевой фрезы (твёрдосплавная режущая часть и хвостовик, выполненный из конструкционной стали марки 30ХГСА). Составная концевая фреза имела размеры: диаметр 16 мм, длина 90 мм, материал ВК8, 3 зуба, заточка под обработку алюминиевых малопрочных сплавов. Компьютерное моделирование составной фрезы описано в работе [1].

Испытания проводились на высокопроизводительном фрезерном станке с ЧПУ модели **DMU 50 ecoline**. Общий вид станка показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид станка DMU 50 ecoline

Некоторые характеристики станка DMU 50 ecoline приведены в табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные вертикально-фрезерного станка DMU 50 ecoline

Размеры стола, мм	Мощность привода N , кВт	ω , мм/Н	Допустимое тя- говое усилие, Н	$n_{шп}$, об/мин		$S_{мин.прод.}$ мм/мин	
				min	max	min	max
630 x 500	13	0,1/4500	4500	20	8000	0,01	2400

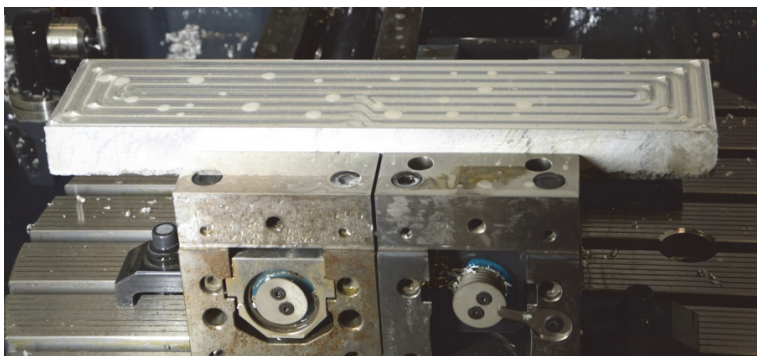
Заготовки для испытания фрезы: бруски прямоугольные, выполненные из алюминиевого переплава, брусок инструментальной стали X12M (HRC 60).

Обзор проведенных экспериментов

Серия 1

Обрабатываемый материал – алюминиевый сплав, фреза составная, диаметр 16 мм, длина 90 мм, 3 зуба, заточка под обработку листового алюминия, BK8, зуб утончен из-за предшествующих заточек, покрытие сложносоставное (см. рис. 2). Обработка чистой поверхности торцом фрезы. Параметры резания: скорость резания $V = 400$ м/мин; глубина резания $t = 2$ мм; ширина фрезерования $b = 11$ мм; величина подачи $s_z = 0,08$ мм/зуб (см. рис. 2, а). Внешний вид фрезы показан на рис. 3.

а)



б)



Рис. 2. Постановка эксперимента 1: а – фото обработанной поверхности; б – фото стружки

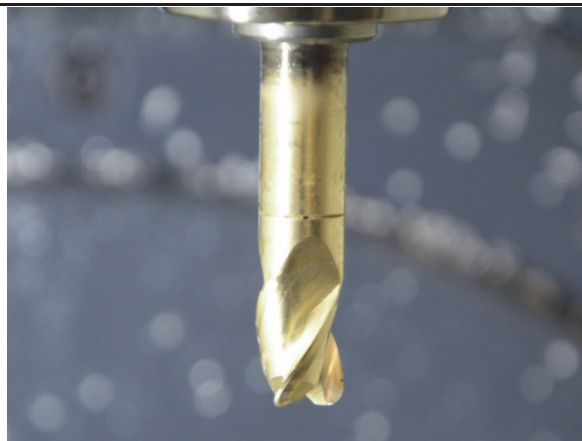
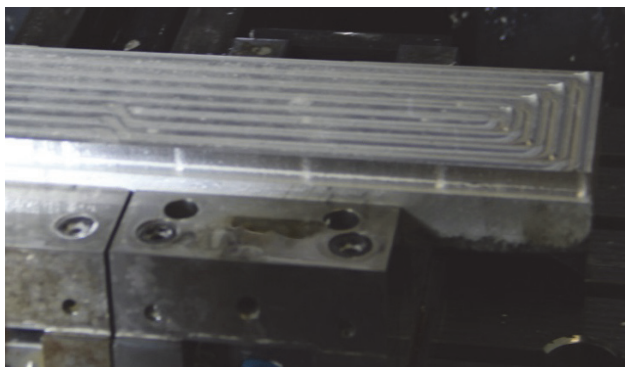


Рис. 3. Вид составной фрезы для серий 1-2

Серия 2

Обрабатываемый материал – алюминиевый сплав, фреза составная, диаметр 16 мм, длина 90 мм, 3 зуба. Параметры резания: скорость резания $V = 400$ м/мин; глубина резания $t = 10$ мм; ширина фрезерования $b = 4$ мм; величина подачи $s_z = 0,1$ мм/зуб (рис. 4, а).

а)



б)



Рис. 4. Постановка эксперимента 2: а – фото обработанной поверхности; б – фото стружки

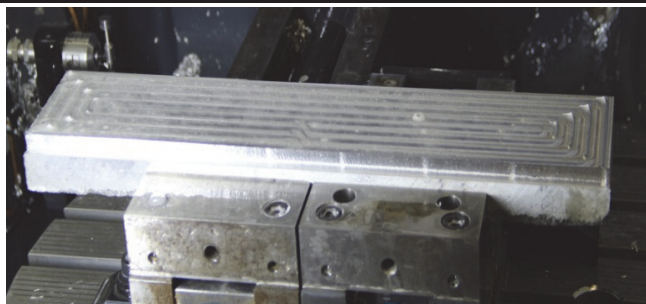
Серия 3

Обрабатываемый материал – алюминиевый сплав, фреза составная, диаметр 16 мм, длина 90 мм, 3 зуба, алмазоподобное композиционное покрытие (см. рис. 5). Параметры резания: скорость резания $V = 400$ м/мин; глубина резания $t = 10$ мм; ширина фрезерования $b = 4$ мм; величина подачи $s_z = 0,1$ мм/зуб (см. рис. 6, а).



Рис. 5. Вид составной фрезы для серий 3-5

а)



б)



Рис. 6. Постановка эксперимента 3: а – фото обработанной поверхности; б – фото стружки

Серия 4

Обрабатываемый материал – инструментальная сталь марки X12M, твёрдость HRC60, фреза составная, диаметр 16 мм, длина 90 мм, 3 зуба (черная) (см. рис. 5). Параметры резания: скорость резания $V = 50$ м/мин; глубина резания $t = 5$ мм; ширина фрезерования $b = 0,5$ мм; величина подачи $s_z = 0,05$ мм/зуб (см. рис. 7, а).

а)



б)

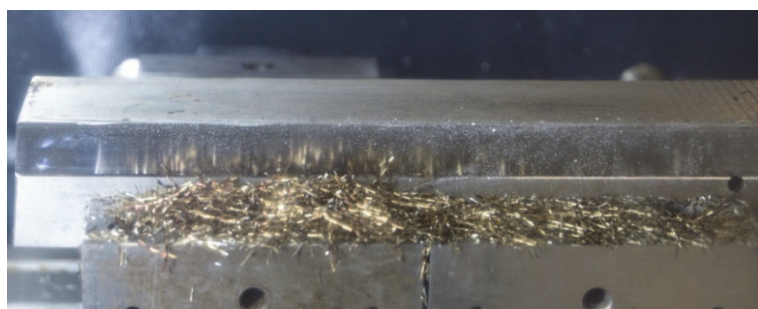


Рис. 7. Постановка эксперимента 4: а – фото обработанной поверхности; б – фото стружки

Серия 5

Обрабатываемый материал – инструментальная сталь марки X12M, твёрдость HRC60, фреза составная, диаметр 15 мм, длина 90 мм, 3 зуба, алмазоподобное композиционное покрытие (см. рис. 5). Параметры резания: скорость резания $V = 50$ м/мин; глубина резания $t = 18$ мм; ширина фрезерования $b = 0,5$ мм; величина подачи $s_z = 0,05$ мм/зуб (см. рис. 8, а).

а)



б)



Рис. 8. Постановка эксперимента 5: а – фото обработанной поверхности; б – фото стружки

По проведенным исследованиям можно сделать вывод: испытания прошли успешно, прочность соединения режущей части фрезы с хвостовиком достаточная, что позволяет использовать составные фрезы в промышленном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мокрицкий, Б. Я. Моделирование напряжений и деформаций твёрдосплавных концевых фрез / Б. Я. Мокрицкий, В. Ю. Верещагин, А. С. Верещагина // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2016. – № 1(25). – С. 82-87.
2. Мокрицкий, Б. Я. Совершенствование твёрдосплавных концевых фрез / Б. Я. Мокрицкий [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – № 1. – С. 49-54.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
METALLURGY AND MATERIALS

Дмитриев Э. А., Живетьев А. С., Ри Э. Х., Ри Хосен
E. A. Dmitriev, A. S. Zhivetev, E. H. Ri, Ri Hosen

**ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРОЕНИЕ ЖИДКОЙ ФАЗЫ,
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И НА ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
КОМПОНЕНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ОЛОВЯННОЙ
БРОНЗЫ**

**EFFECT OF THE MODIFICATION ON THE STRUCTURE OF THE LIQUID PHASE,
CRYSTAL SPECIFICATIONS AND THE COMPONENT DISTRIBUTION IN VARIOUS
STRUCTURAL ELEMENTS OF TIN BRONZE**

Дмитриев Эдуард Анатольевич – доктор технических наук, профессор, ректор Комсомольского-на-Амуре технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Eduard A. Dmitriev – Doctor in Engineering, Professor, Rector of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Живетьев Андрей Сергеевич – заведующий лабораторией кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Andrei S. Zhivetev – Head of Laboratory of the Department «Foundry and metal technology», Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Ри Эрнст Хосенович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Ernst H. Ri – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department «Foundry and metal technology», Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Ри Хосен – доктор технических наук, профессор кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Ri Hosen – Doctor in Engineering, Professor, «Foundry and metal technology» Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования влияния различных модификаторов на строение расплава, процессы кристаллизации и структурообразования синтетической оловянной бронзы. Установлены закономерности изменения строения расплава и кристаллизационных параметров от количества введенных модификаторов – Ti, Zr, Cd, Ca, Al, B.

Summary. The paper presents the results of studies of the effect of different modifiers on the structure of the melt, crystallization and structure formation of synthetic tin bronze. The dependence of changes in the melt structure and crystallization parameters on the amount of imposed modifiers – Ti, Zr, Cd, Ca, Al, B is defined.

Ключевые слова: оловянная бронза, кристаллизационные параметры, степень уплотнения, α -твердый раствор, интерметаллид, объемные изменения.

Key words: tin bronze, crystallization parameters, the degree of compaction, α -solid solution, intermetallic, volume changes.

УДК 669.2/8

Методики исследования

В качестве исходного материала использована оловянная бронза с содержанием олова 6,0 мас.%. Сплав изготовлен на основе меди марки М00 и олова марки О1.

Расплав перегревали до 1300 °С, после выдержки в течение 5 мин вводили в расплав модифицирующие добавки в количестве 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 и 0,25 мас.%. Затем расплав охлаждали

со скоростью 20 °С/мин до температуры 500 °С с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

В процессе охлаждения измерялась интенсивность γ -проникающих излучений J (обратная величина плотности) с фиксацией кристаллизационных параметров и объемных изменений в жидком, жидкотвердом и твердом состояниях. Параллельно автоматически строилась термограмма кристаллизации сплава на установке «Параболоид-3М» конструкции ЦНИИТМАШа.

В качестве модифицирующих добавок использованы:

- чистый титан, кадмий и цирконий;
- сплав Al-Ti (5 мас.%) – В (1 мас.%)
- сплав Cu-Ca (35 мас.%).

Результаты исследований

На рис. 1-3 приведены результаты исследования влияния модификаторов титана (см. рис. 1, А), циркония (см. рис. 1, Б), лигатуры Al-Ti-B (см. рис. 2, А), Cu-Ca (см. рис. 2, Б) и кадмия (см. рис. 3) на строение расплава, кристаллизационные параметры, степень уплотнения расплава при кристаллизации и продолжительность этого процесса. Также были определены температура начала выделения (кристаллизация) из α -твердого раствора вторичной интерметаллидной δ -фазы ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), коэффициенты термического сжатия в интервале температур $t_c - t_{\text{выд}}$ α_1 и $t_{\text{выд}} - 400$ °С α_2 и степень уплотнения оловянной бронзы в твердом состоянии в вышеуказанных температурных интервалах соответственно ($-\Delta J_1$ и $-\Delta J_2$).

Параметры жидкого состояния

В качестве параметров жидкого состояния оценены степень уплотнения $-\Delta J_{\text{ж}}$ и коэффициент термического сжатия $\alpha_{\text{ж}}$ расплава при охлаждении.

Максимальная степень уплотнения жидкой фазы $-\Delta J_{\text{ж}}$ наблюдается при 0,2 мас.% модификатора титана (см. рис. 1, А, а), а значение коэффициента $\alpha_{\text{ж}}$ монотонно возрастает до 0,2 мас.% Ti с последующей стабилизацией на этом уровне до 0,3 мас.% Ti.

При модифицировании оловянной бронзы другими модификаторами значения параметров жидкого состояния изменяются более сложным образом:

- при малой добавке модификаторов (0,05 мас.%) наблюдается резкое увеличение значений $-\Delta J_{\text{ж}}$ и $\alpha_{\text{ж}}$ с последующим их уменьшением до 0,1 мас.%;
- при добавках, превышающих 0,1 мас.% модификаторов, происходит резкий рост этих значений до 0,25 мас.%, превышающих аналогичные значения, полученные при модифицировании сплава модификатором титана. Следовательно, модифицирующие добавки сильно влияют на параметры жидкого состояния.

Кристаллизационные параметры

Из рис. 1 и 2 следует, что концентрационная зависимость кристаллизационного параметра $t_{\text{л}}$ имеет экстремальный характер:

- температура начала кристаллизации α -твердого раствора повышается при модифицировании оловянной бронзы модификатором титана до 0,20 мас.% затем она снижается до 0,3 мас.% (см. рис. 1, А, б);
- при модифицировании сплава цирконием (см. рис. 1, Б, б), Al-Ti-B (см. рис. 2, А, б) и Cu-Ca (см. рис. 2, Б, а) и Cd (см. рис. 3, б) температура $t_{\text{л}}$ снижается до 0,1 мас.% модификаторов;
- температура конца кристаллизации t_c постоянно уменьшается по мере повышения величин добавок модификатора титана до 0,3 мас.%, а для других модификаторов характерен экстремальный вид изменения ее с минимумами значений соответственно при 0,1...0,15 мас.% модификаторов. Следовательно, при модифицировании сплава модификатором титана расширяется температурный интервал кристаллизации $\Delta t = t_{\text{л}} - t_c$, что приводит к увеличению степени уплотнения $-\Delta J_{\text{кр}}$ (см. рис. 1, А, в) и повышению продолжительности кристаллизации $\tau_{\text{кр}}$ до 0,2 мас.% Ti (см. рис. 1, А, б);
- при модифицировании другими модификаторами (Zr, Al-Ti-B, Cu-Ca и Cd) температурный интервал кристаллизации твердого раствора Δt изменяется по экстремальной зависимости с максимумами его при 0,1...0,15 мас.% модификаторов. По этой причине значения

$-\Delta J_{кр}$ и $\tau_{кр}$ возрастают (см. рис. 1, Б, б, рис. 2, Б, б и рис. 3, б). Исключением является сплав, модифицированный Al-Ti-B, где значение $\tau_{кр}$ постоянно увеличивается до 0,25 мас. %.

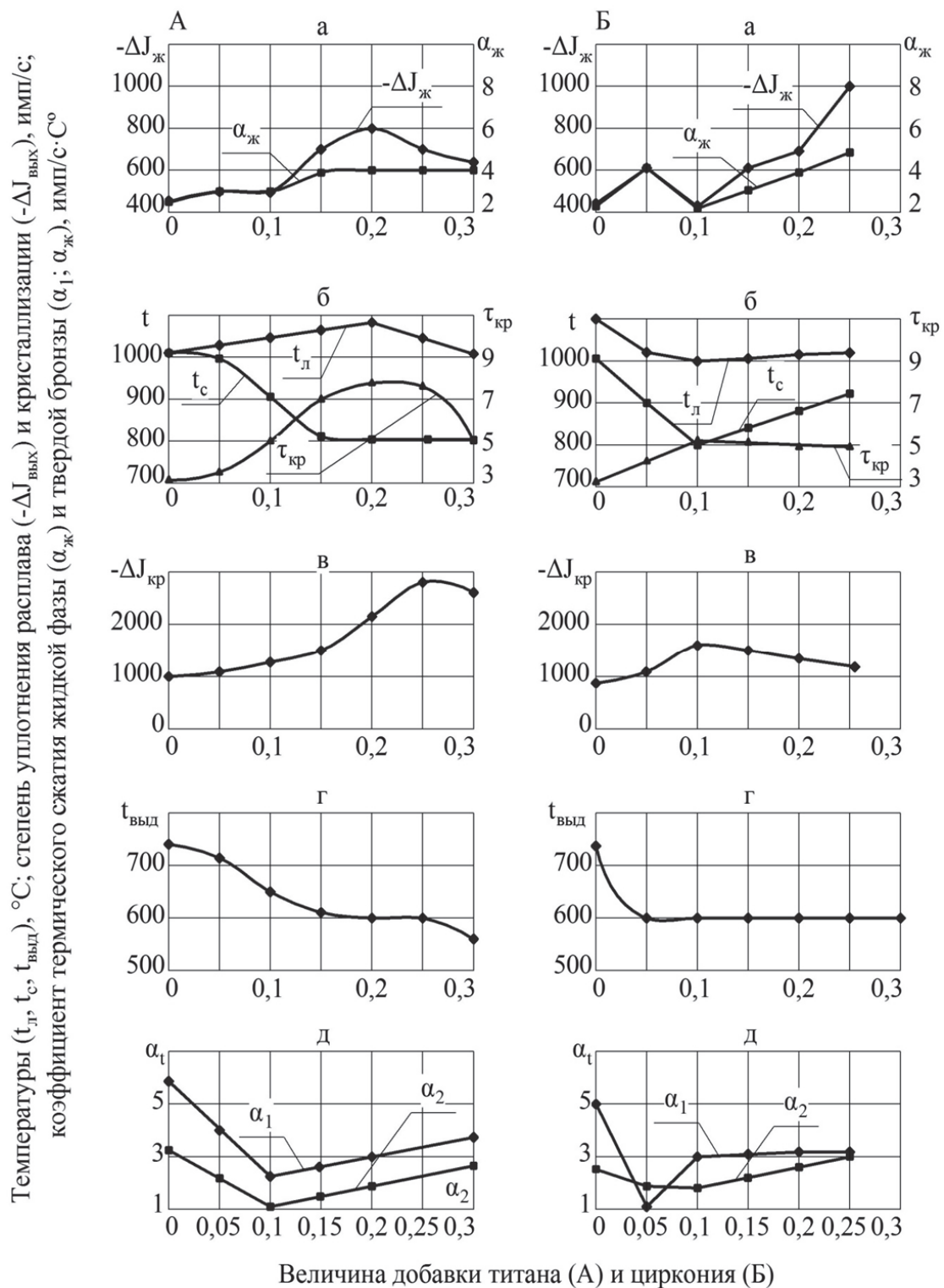
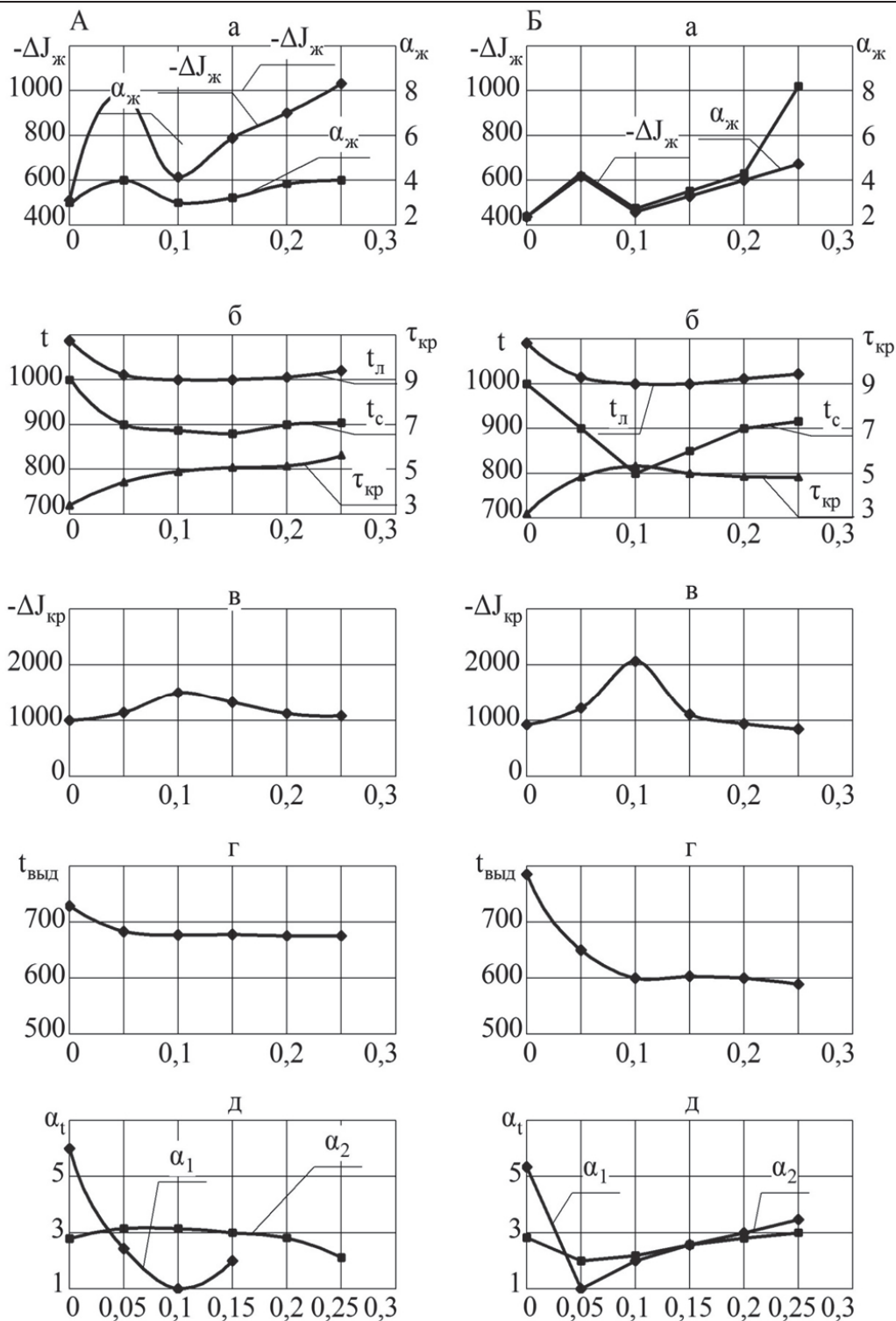


Рис. 1. Влияние добавки титана и циркония на параметры жидкого состояния ($-J_{ж}$, $\alpha_{ж}$) и кристаллизационные параметры ($t_{л}$, t_c , $\tau_{кр}$, $t_{выд}$, $-\Delta J_{кр}$, α_1 , α_2) оловянной бронзы

Температуры (t_l , t_c , $t_{\text{выд}}$), °С; степень уплотнения расплава ($-\Delta J_{\text{вых}}$) и кристаллизации ($-\Delta J_{\text{ж}}$), имп/с; коэффициент термического сжатия жидкой фазы (α_j ; $\alpha_{\text{ж}}$), имп/с·°С



Величина добавки лигатуры Al-Ti-B(A) и Cu-Ca (Б)

Рис. 2. Влияние добавки Al-Ti-B и Cu-Ca на параметры жидкого состояния ($-\Delta J_{\text{ж}}$, $\alpha_{\text{ж}}$) и кристаллизационные параметры (t_l , t_c , $\tau_{\text{кр}}$, $t_{\text{выд}}$, $-\Delta J_{\text{кр}}$, α_1 , α_2) оловянной бронзы

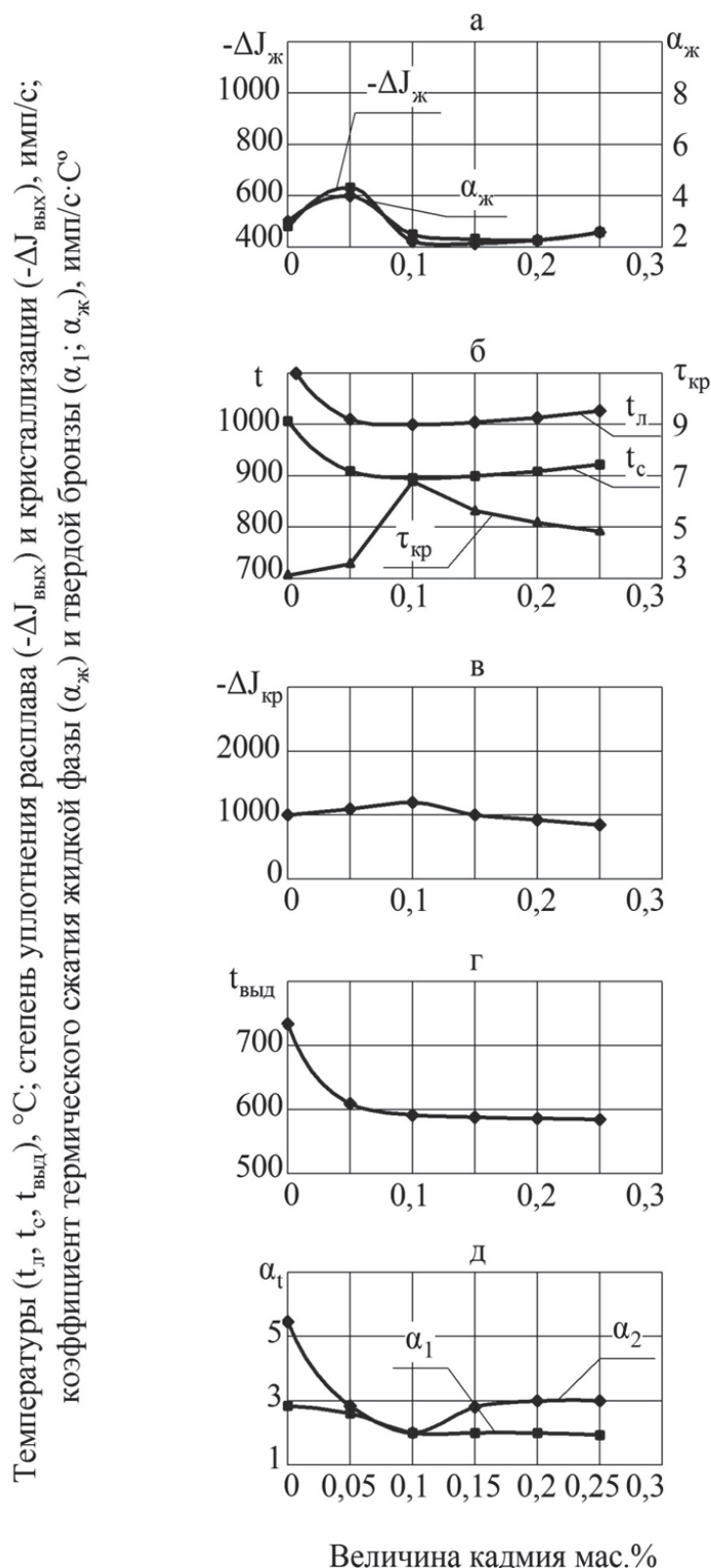


Рис. 3. Влияние добавки кадмия на параметры жидкого состояния ($-\Delta J_{\text{ж}}$, $\alpha_{\text{ж}}$) и кристаллизационные параметры ($t_{\text{л}}$, $t_{\text{с}}$, $\tau_{\text{кр}}$, $t_{\text{выд}}$, $-\Delta J_{\text{кр}}$, α_1 , α_2) оловянной бронзы

Параметры модифицированной оловянной бронзы в твердом состоянии

К числу параметров относят $-\Delta J_1$, $-\Delta J_2$, α_1 и α_2 . Установлено что увеличение добавки модификаторов, особенно при малых добавках 0,05...0,1 мас.%, резко снижает температуру

начала выделения (кристаллизации) вторичной интерметаллидной δ -фазы ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) из α -твердого раствора ($t_{\text{выд}}$). При дальнейшем увеличении добавки модификаторов температура $t_{\text{выд}}$ практически не изменяется до 0,25 мас.% (см. рис. 1-2, А и Б, ε и рис. 3, ε).

Коэффициент термического сжатия α_1 и α_2 (см. рис. 1-3, δ) в большинстве случаев изменяется от величины добавки модификатора по экстремальной зависимости с минимумами их значений при 0,05...0,1 мас.%. При этом значения $-\Delta J_1$, $-\Delta J_2$ резко уменьшаются до 0,05...0,1 мас.% модификаторов, а при дальнейшем увеличении их до 0,25 мас.% они остаются без изменения (для модификаторов титана и циркония) либо незначительно уменьшаются (для модификатора Cu-Ca) (см. рис. 4).

Таким образом, установлен аномальный характер изменения параметров оловянной бронзы в твердом состоянии от величины добавок различных модификаторов.

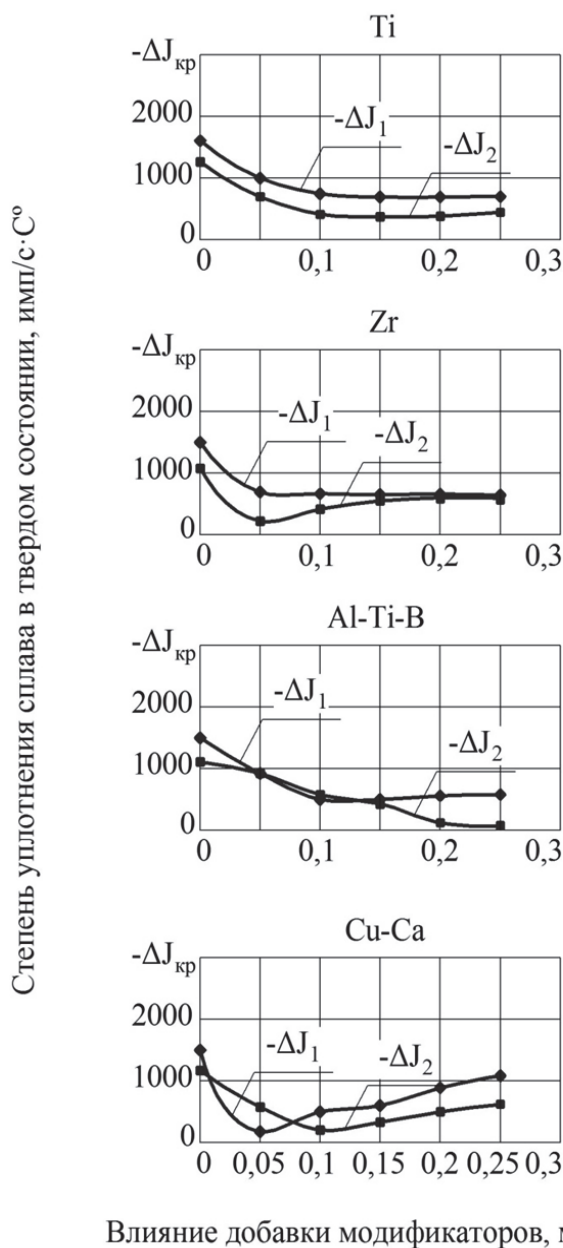


Рис. 4. Влияние модификаторов на степень уплотнения оловянной бронзы в твердом состоянии: $-J_1$ – степень уплотнения от температуры конца кристаллизации t_c до температуры $t_{\text{выд}}$; $-J_2$ – степень уплотнения от температуры $t_{\text{выд}}$ до 400 °С

Структурообразование модифицированной оловянной бронзы

Структура литых оловянных бронз значительно отличается от равновесного состояния, поэтому уже в сплавах с содержанием олова более 5,0 мас.% в литом состоянии обнаруживается δ -фаза ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) в виде эвтектоидной составляющей.

В исходном сплаве с 6,0 мас.% Sn наряду с неоднородным α -твердым раствором располагается богатая оловом эвтектоидная смесь $\alpha+\delta$ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$).

В модифицированных сплавах Cu-Sn с 6,0 мас.% наблюдается общая закономерность изменения структурообразования от величины добавки модификаторов:

- при малых добавках модификаторов (0,05...0,1 мас.%) наблюдается некоторое укрупнение кристаллов α -твердого раствора и увеличение их доли в структуре сплава; при этом температура начала $t_{\text{л}}$ и конца $t_{\text{с}}$ кристаллизации снижаются и расширяется температурный интервал кристаллизации, увеличивается доля кристаллов α -твердого раствора, о чем свидетельствует рост степени уплотнения расплава при кристаллизации $-\Delta J_{\text{кр}}$;

- при дальнейшем повышении величины добавки до 0,25 мас.% наблюдается измельчение кристаллов в α -твердом растворе, температура начала $t_{\text{л}}$ и конца $t_{\text{с}}$ кристаллизации повышается, снижается температурный интервал кристаллизации и уменьшается степень уплотнения расплава $-\Delta J_{\text{кр}}$ при кристаллизации;

- в модифицированных сплавах внутри кристаллов α -твердого раствора располагается фаза электронных соединений типа $\text{Cu}_x\text{Sn}_y\text{M}_z$ или $\text{Cu}_x\text{Sn}_y\text{M}_z\text{O}_v$, где M – модифицирующие элементы (Ca, Zr, Al, Ti, B).

Обсуждение полученных результатов

Увеличение степени уплотнения расплава оловянной бронзы $-\Delta J_{\text{ж}}$ и коэффициента термического сжатия $\alpha_{\text{ж}}$ жидкой фазы при малых добавках модификаторов (0,05 мас.%), по-видимому, связано с загрязнением расплава субмикроскопическими неметаллическими включениями эндогенного происхождения (оксидов, нитридов, оксинитридов и др.), находящимися во взвешенном состоянии и приводящими к большей усадке с более интенсивным темпом ее роста при охлаждении ($\alpha_{\text{ж}}$) из-за ослабления сил межчастичных взаимосвязей между атомами основных компонентов сплава. Дальнейшее увеличение добавки модификаторов до 0,1 мас.% приводит к снижению значений параметров жидкого состояния в связи с явлением коалесценции субмикроскопических неметаллических включений и частичным их удалением из расплава при достижении определенного размера, т.е. с увеличением сил межчастичных взаимодействий компонентов сплава. Предполагается, что разуплотненная жидкая фаза поддается большей усадке, чем более уплотненная.

Увеличение значений параметров жидкого состояния при больших добавках модификаторов (более 0,1 мас.%), возможно, обусловлено микронеоднородным строением расплава из-за формирования кластеров различного происхождения с элементами (Zr, Ca, Cd, B, Ti, Al), обладающими меньшей удельной плотностью, чем медь и олово. Это обстоятельство должно приводить к ослаблению сил связей между атомами основных компонентов (Cu-Cu, Cu-Sn). Такая «рыхлая» структура расплава подвергается большей усадке с более высоким темпом ее роста.

Характер изменения концентрационных зависимостей кристаллизационных параметров в модифицированной оловянной бронзе можно объяснить следующим образом.

Как выше было сказано, формирование субмикроскопических неметаллических включений и укрупнение их размера вследствие явления коалесценции должны способствовать их всплыванию из расплава по закону Стокса. Следовательно, количество потенциальных зародышевых центров кристаллизации α -твердого раствора уменьшается, что приводит к переохлаждению, т.е. снижению температуры начала кристаллизации сплава $t_{\text{л}}$ до 0,1 мас.% модификаторов. Исключением является модификатор титан, способствующий постоянному повышению $t_{\text{л}}$ до 0,2 мас.% с последующим ее снижением до 0,3 мас.% Ti. Кроме того, образование кластеров меди с элементами с более низкой удельной плотностью (Ca, Ti, B, Cd и др.) способствует снижению температуры кристаллизации сплава в соответствии с диаграммами

состояния Cu-X (модификаторы) вследствие ослабления сил связей между атомами основных компонентов с модифицирующими элементами ($F_{Cu-Cu} > F_{Cu-X}$, $F_{Cu-Sn} > F_{Cu-X}$).

Как уже отмечалось выше, в модифицированных сплавах с содержанием модификаторов более 0,1 мас.% можно ожидать формирование микронеоднородного строения расплава, обусловленного образованием кластеров основных компонентов (Cu и Sn) с участием атомов модификаторов и кислорода, которые, вероятно, являются потенциальными зародышевыми центрами кристаллизации α -твердого раствора. Результаты микрорентгеноспектрального анализа доказано наличие в центре дендритов α -твердого раствора включения электронных соединений типа $Cu_xSn_yM_z$ (для модификатора Cd) и $Cu_xSn_yM_zO_v$ (для остальных модификаторов). По этой причине при повышении величины добавки модификаторов более 0,1 мас.% кристаллизационные параметры оловянной бронзы возрастают.

Выводы

1. В модифицированных оловянных бронзах (6,0 мас.%) параметры жидкого состояния (степень уплотнения $-\Delta J_{ж}$ и коэффициент термического сжатия $\alpha_{ж}$) изменяются по экстремальной зависимости от величины добавки модификаторов. Такой характер изменения параметров жидкого состояния отражается на изменении кристаллизационных параметров и структурообразовании оловянной бронзы.

2. Все исследованные модификаторы (кроме Ti) способствуют снижению кристаллизационных параметров (температуры начала t_n и конца t_c кристаллизации α -твердого раствора) до определенной величины добавки (0,1 мас.%) с последующим их ростом до 0,25 мас.% модификаторов. Температурный интервал кристаллизации α -твердого раствора расширяется с максимальной степенью уплотнения расплава при кристаллизации ($-\Delta J_{кр}$), время кристаллизации увеличивается в соответствии с расширением температурного интервала кристаллизации. Укрупняется структура α -твердого раствора. При больших добавках модификатора (0,15...0,25 мас.%) температура начала и конца кристаллизации α -твердого раствора повышается, снижается температурный интервал его кристаллизации и уменьшается степень уплотнения расплава при кристаллизации. Сокращается время при кристаллизации α -твердого раствора. Наблюдается тенденция измельчения кристаллов α -твердого раствора.

3. В модифицированных оловянных бронзах в центре дендритов α -твердого раствора обнаружены включения электронных соединений переменного состава: $Cu_xSn_yM_z$ (для модификатора Cd) и $Cu_xSn_yM_zO_v$ (для остальных модификаторов), где M – Zr, Ca, Al, Ti, B.

4. С увеличением величины добавки модификаторов температура начала выделения (кристаллизации) вторичных электронных соединений из α -твердого раствора резко снижается при малых добавках (0,05...0,1 мас.%), а затем практически не изменяется до 0,25 мас.% модификаторов.

5. Параметры модифицированной оловянной бронзы в твердом состоянии ($-\Delta J$ и α) изменяются от величины добавки модификаторов по экстремальной зависимости:

- коэффициент термического сжатия сплава в твердом состоянии резко уменьшается до 0,05...0,1 мас.% модификаторов с последующим его ростом до 0,25 мас.% модификаторов;

- степень уплотнения сплава также резко уменьшается до 0,05...0,1 мас.% модификаторов, а при дальнейшем увеличении их до 0,25 мас.% остается без изменения (для модификаторов Ti и Zr), либо незначительно уменьшается (для лигатуры Al-Ti-B), либо увеличивается (для Ca).

Дмитриев Э. А., Живетьев А. С., Ри Э. Х., Ри Хосен
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОЕНИЕ ЖИДКОЙ ФАЗЫ, ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ,
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ

Дмитриев Э. А., Живетьев А. С., Ри Э. Х., Ри Хосен
E. A. Dmitriev, A. S. Zhivetev, E. H. Ri, Ri Hosen

**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОЕНИЕ ЖИДКОЙ ФАЗЫ, ПРОЦЕССЫ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ, СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ**

**EXTERNAL ACTION EFFECT ON THE STRUCTURE OF THE LIQUID PHASE,
THE CRYSTALLIZATION PROCESS, STRUCTURE FORMATION OF COPPER**

Дмитриев Эдуард Анатольевич – доктор технических наук, профессор, ректор Комсомольского-на-Амуре технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Eduard A. Dmitriev – Doctor in Engineering, Professor, Rector of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Живетьев Андрей Сергеевич – заведующий лабораторией кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Andrei S. Zhivetev – Head of Laboratory of the Department «Foundry and metal technology», Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Ри Эрнст Хосенович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Ernst H. Ri – Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department «Foundry and metal technology», Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Ри Хосен – доктор технических наук, профессор кафедры «Литейное производство и технология металлов» Тихоокеанского государственного университета (Россия, Хабаровск).

Mr. Ri Hosen – Doctor in Engineering, Professor, «Foundry and metal technology» Department, Pacific National University (Russia, Khabarovsk).

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния температуры перегрева жидкой фазы и ее легирования на механические свойства меди. На основе анализа политерм электросопротивления установлено, что для достижения максимальных значений механических свойств медь должна быть перегрета на 30 °С выше температурного порога аномального изменения электросопротивления жидкой фазы (1320 °С). Также в работе представлены результаты исследования влияния термической и термоскоростной обработки расплава меди на его строение, процессы кристаллизации и структурообразования. Установлены закономерности изменения строения расплава, кристаллизационных параметров и структурообразования в зависимости от температуры перегрева и скорости охлаждения расплава.

Summary. The paper presents the research results of a fluid phase overheating and alloying effect on cuprum mechanical characteristics. Careful analysis of poly-thermal cross-sections of electro-resistance proved that in order to obtain the maximum values of cuprum mechanical properties, it should be overheated 30 °С above the temperature threshold of abnormal electro-resistance change of a fluid phase (1320 °С). The paper presents the research results of the influence of thermal and thermo-high-speed treatment of cuprum melting on its structure, crystallization and structure formation processes. Regularities of structure change, crystallization parameters and structure formation depending on overheating and cooling rate of the melt are stated.

Ключевые слова: медь, жидкая фаза, электросопротивление, разупорядоченная структура, механические свойства, порог аномального изменения электросопротивления, термическая обработка, термоскоростная обработка, комплексно-легированная бронза, кристаллизационные параметры, степень и коэффициент термического сжатия расплава.

Key words: cuprum, fluid phase, electro-resistance, disordered structure, mechanical properties, temperature threshold of abnormal electro-resistance change, thermal treatment, thermo-speed processing, complex-alloyed bronze, crystallization parameters, degree and the coefficient of thermal contraction of the melt.

УДК 669.2/8

Введение

В последнее время в области литейного производства и металлургии значительное распространение получили способы повышения качества и свойств отливок из сталей [1-3], чугунов [4; 5] и цветных сплавов [6; 7], основанные на взаимосвязи строения и свойств этих сплавов в жидком и твердом состояниях. В связи с этим перспективной и очень важной сегодня представляется разработка технологических основ повышения физико-механических свойств отливок из медных сплавов на основе анализа политерм структурно-чувствительных свойств расплавов.

К внешним воздействиям на расплавы следует отнести термическую и термоскоростную, модифицирующую, вибрационную, электроимпульсную, электромагнитную обработки и другие, позволяющие существенно повышать физико-механические и эксплуатационные характеристики металлических сплавов.

Влияние температуры перегрева меди и ее легирования на структуру и механические свойства

На высокотемпературной установке для измерения электросопротивления (ρ) изучали температурную зависимость ρ жидкой электролитической меди по методу вращающегося магнитного поля.

На рис. 1, а приведены политермы электросопротивления жидкой меди, обработанной флюсом и без него. Аномальный характер изменения ρ жидкой меди наблюдается в районе температур 1230...1320 °С. Как видно, электросопротивление жидкой меди, обработанной флюсом (криолитом), значительно ниже, чем без флюса.

По аналогии с другими металлическими расплавами (алюминиевыми, чугунными и сталями) можно предположить, что в точке 2 начинается образование статистически разупорядоченной структуры жидкой меди, а в точке 3 заканчивается этот процесс и формируется статистически разупорядоченная (гомогенная) структура жидкой фазы. В точке 1 начинается кристаллизация меди.

Явление аномального изменения ρ жидкой меди целесообразно использовать для повышения эффективности легирования.

Жидкую медь перегревали до различных температур (1150, 1200, 1250, 1300, 1350 и 1400 °С) и легировали при этих температурах алюминием в количестве 5,0 мас.%. Температура заливки металла оставалась постоянной и равной 1150 °С. Жидкую медь охлаждали до температуры заливки с постоянной скоростью 20 °С/мин и заливали в песчаную форму.

Зависимость механических свойств меди от температуры перегрева и легирования носит сложный характер (см. рис. 1, б): наблюдается два максимума механических свойств (σ_b и δ) при 1150 и 1350 °С, причем второй максимум свойств наблюдается при температуре, превышающей температурный порог аномального изменения электросопротивления на 30 °С, и несколько выше, чем первый максимум свойств. Интервал температур 1200...1300 °С является неблагоприятным для легирования и достижения максимальных механических свойств. Для достижения максимальных механических свойств меди жидкую фазу следует перегреть выше температурного порога аномального изменения ρ на 30 °С и проводить легирование, что обеспечивает лучшее усвоение и равномерное распределение легирующего элемента по всему объему жидкого металла. При этом достигается максимальная дисперсность структуры меди. Снижение механических свойств легированной меди при высокой температуре перегрева (1400 °С), вероятно, обусловлено газонасыщением разупорядоченной жидкой меди и ее загрязнением неметаллическими включениями.

Термическая и термоскоростная обработка меди в жидком состоянии

Известно, что определенный перегрев с последующей термоскоростной обработкой (ТСО) расплавов оказывает модифицирующее влияние на сплавы из железа и алюминия. В меди и ее сплавах такие исследования не проводились. В связи с этим исследовалось влияние термической обработки (ТО) (1200...1400 °С) и ТСО (6, 20 и 140 °С/мин) на параметры жидкого состояния, кристаллизационные характеристики и физико-механические свойства электролитической меди.

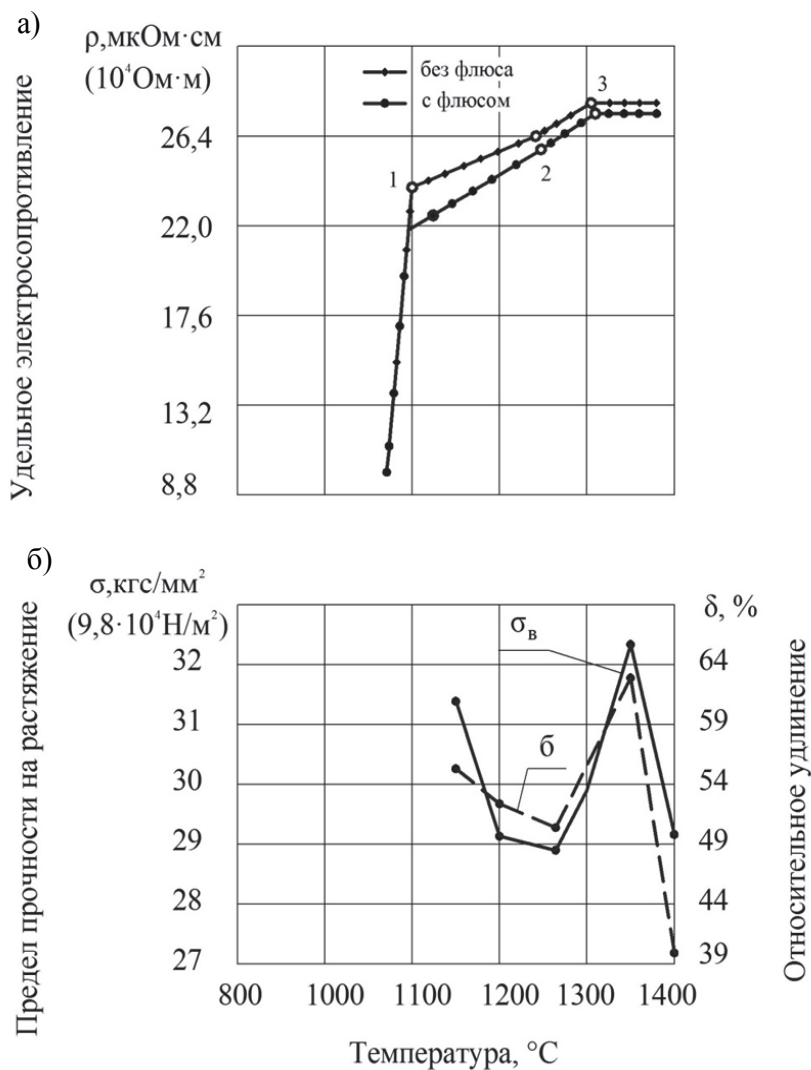


Рис. 1. Политермы электросопротивления меди и механические свойства сплава Cu+5% Al в зависимости от температуры легирования

Жидкую медь перегревали до различных температур и охлаждали с различной скоростью до температуры 1150 °С с последующей постоянной скоростью охлаждения 140 °С/мин. В процессе охлаждения измерялась интенсивность γ -проникающих излучений J (обратная величина плотности d , $J \approx 1/d$) на установке «Параболоид-4» конструкции ЦНИИТМАШа. Параллельно строилась кривая охлаждения методом термического анализа (термограмма кристаллизации).

В качестве параметров жидкого состояния определялись степень уплотнения жидкой меди от 1200 °С до температуры начала кристаллизации $-\Delta J_{\text{ж}}$ и коэффициент термического сжатия $\alpha_{\text{ж}}$, как тангенс угла наклона политермы интенсивности J от температуры ($\alpha_{\text{ж}} = \text{tg } \alpha = \Delta J / \Delta t$). Методами γ -проникающих излучений и термического анализа определяли кристаллизационные параметры – температуру $t_{\text{кр}}$ и продолжительность $\tau_{\text{кр}}$ кристаллизации меди, а также степень уплотнения жидкой меди при кристаллизации $-\Delta J_{\text{кр}}$.

На рис. 2 приведены результаты влияния ТО и ТСО расплава на параметры жидкого состояния $-\Delta J_{\text{ж}}$ и $\alpha_{\text{ж}}$. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

– независимо от температуры начала ТСО повышение скорости охлаждения жидкой меди приводит к увеличению степени ее уплотнения, т.е. жидкая фаза подвергается усадке в большей степени. При этом чем выше температура перегрева, тем интенсивнее увеличиваются значения $-\Delta J_{\text{ж}}$ (см. рис. 2, а);

– температурная зависимость $-\Delta J_{ж}$ при различных скоростях ТСО имеет экстремальный характер изменения с минимумами ее значений при температуре перегрева, соответствующей 1300 °С (см. рис. 2, б):

– с увеличением скорости ТСО наблюдается рост коэффициента термического сжатия жидкой меди $\alpha_{ж}$ (см. рис. 2, в и г); следовательно, происходит одновременное увеличение значений параметров жидкого состояния ($-\Delta J_{ж}$ и $\alpha_{ж}$), что свидетельствует о большой деформационной способности (усадке) бесструктурной зоны ($t < 1320$ °С) и разупорядоченной структуры ($t > 1320$ °С) жидкой меди, аномальный характер изменения $\alpha_{ж}$ также наблюдается при температуре 1300 °С.

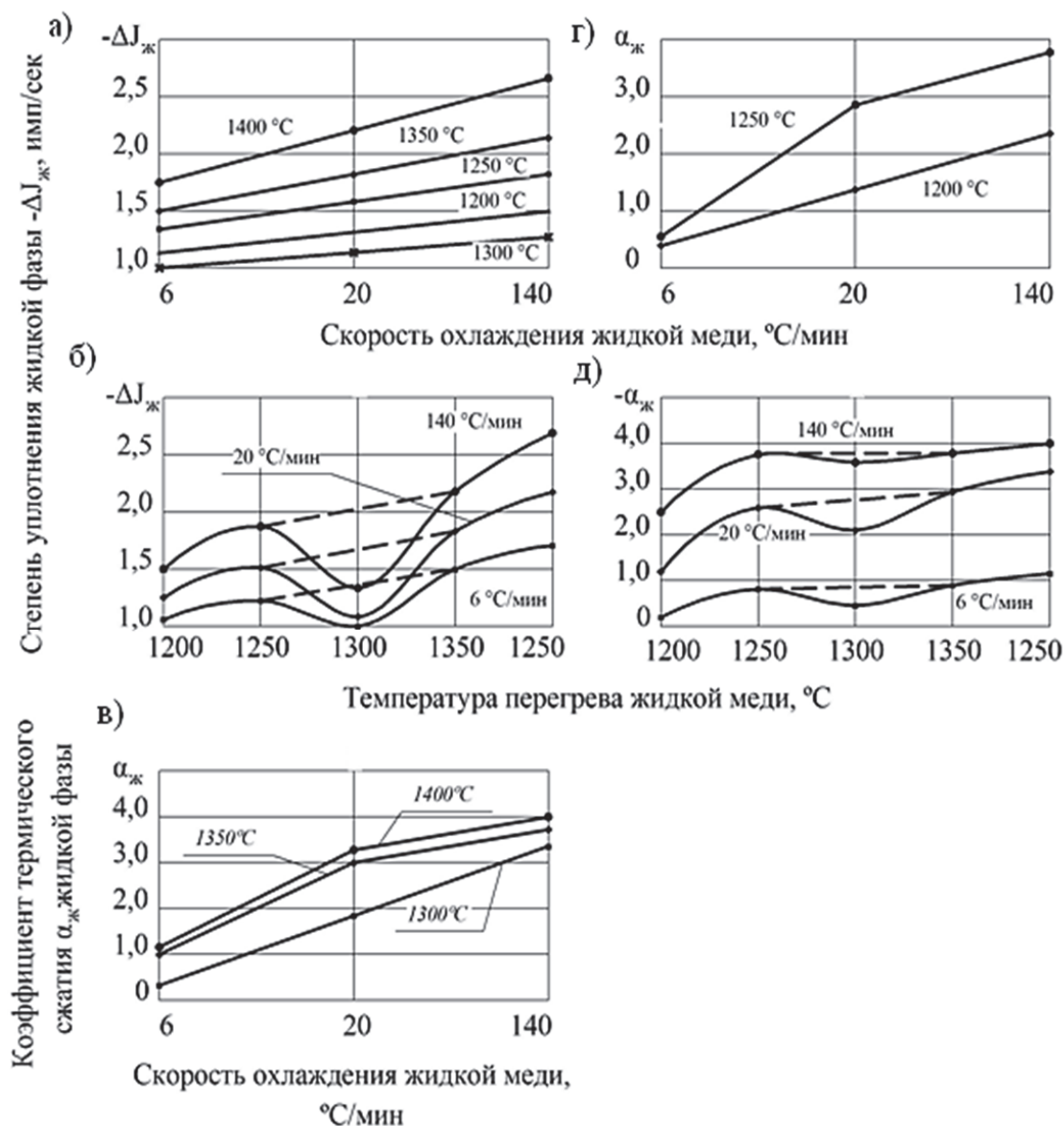


Рис. 2. Влияние температуры и скорости охлаждения на степень уплотнения $-\Delta J_{ж}$ и коэффициент термического сжатия $\alpha_{ж}$ жидкой меди

Из рис. 3 следует, что для всех исследованных температур перегрева (1200...1400 °С) увеличение скорости ТСО жидкой фазы способствует уменьшению температуры кристаллизации $t_{кр}$ и возрастанию времени кристаллизации $\tau_{кр}$. Это обстоятельство, вероятно, обусловлено тем, что при ТСО фиксируется состояние жидкой фазы с бесструктурной зоной ($t < 1320$ °С) и разупорядоченной структурой ($t > 1320$ °С), склонной к переохлаждению (см. рис. 3, а, в, д, ж, и).

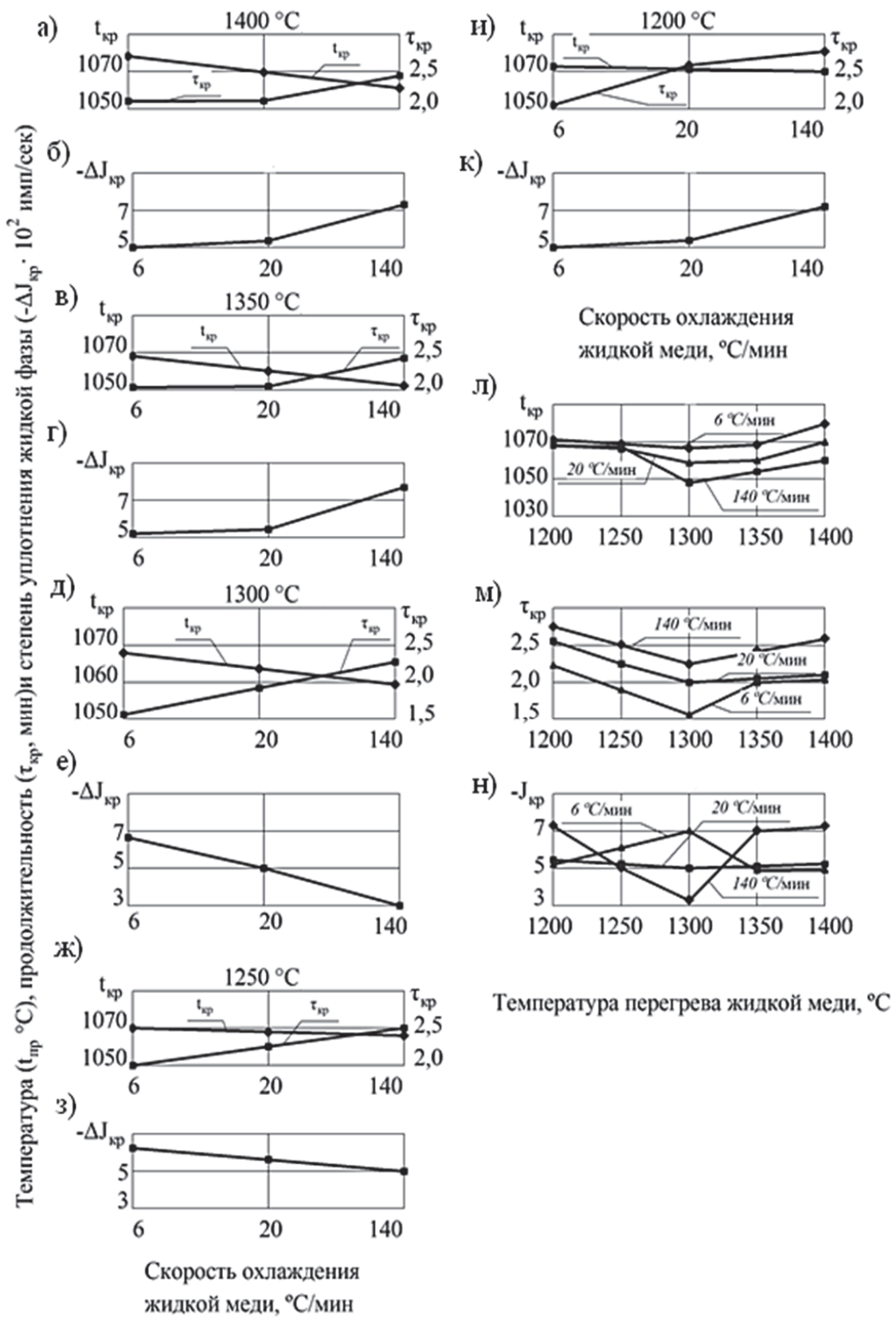


Рис. 3. Влияние температуры перегрева и термоскоростной обработки жидкой фазы на кристаллизационные параметры меди

По мере повышения температуры перегрева до 1300 °С уменьшаются количество и размеры кластеров и возрастает доля бесструктурной жидкой фазы, что приводит к переохлаждению жидкой фазы, снижению температуры кристаллизации меди (см. рис. 3, л), уменьшению времени $\tau_{кр}$ (см. рис. 3, м) и степени уплотнения расплава $-\Delta J_{кр}$ при кристаллизации (см. рис. 3, н) по мере увеличения скорости ТСО от 6 до 140 °С/мин.

При температурах перегрева 1350...1400 °С, превышающих температурный порог аномального изменения электросопротивления жидкой фазы, повышение температуры приводит к возрастанию параметров кристаллизации при исследованных скоростях ТСО (6, 20 и 140 °С/мин). При этом чем выше скорость охлаждения жидкой фазы, тем ниже температура кристаллизации $t_{кр}$, тем в большей степени уплотняется жидкая фаза при кристаллизации и увеличивается время кристаллизации (см. рис. 3, л, м, н). Казалось бы, повышение температуры перегрева от 1350 до 1400 °С должно было бы снижать температуру кристаллизации, т.к. разупорядоченная жидкая фаза склонна к переохлаждению. Однако экспериментальные данные показывают обратное – повышение температуры кристаллизации $t_{кр}$ и увеличение продолжительности кристаллизации $\tau_{кр}$ и степени уплотнения $-\Delta J_{кр}$. В связи с этим предлагается следующий механизм кристаллизации меди в случае высокого перегрева с последующей ТСО жидкой фазы.

При высоких температурах перегрева 1350...1400 °С жидкая медь переходит в разряд статистически разупорядоченной, разрыхленной структуры, способной поглощать (растворять) газы из атмосферы, в частности кислород. Кислород, взаимодействуя с медью, образует мелкодисперсные частицы диоксида меди Cu_2O . Анализ кристаллографического соответствия Cu_2O ($d_1 = 4,25 \text{ \AA}$, кубическая решетка) с медью ($a_2 = 3,615 \text{ \AA}$, ГЦК) показал, что разница в значениях параметров кристаллических решеток меди ($2,5 a_2 \sqrt{2}$) и Cu_2O ($3d_1$) составляет 0,99 %. В соответствии с принципом кристаллографического соответствия Данкова дисперсные включения Cu_2O могут быть зародышевыми центрами кристаллизации меди. По этой причине, по-видимому, температура кристаллизации меди повышается по мере увеличения температуры перегрева до 1400 °С. Чем выше температура перегрева, тем больше растворяется кислород, тем интенсивнее повышается температура кристаллизации меди.

При постоянной температуре перегрева (1350 или 1400 °С) повышение скорости ТСО приводит к снижению температуры кристаллизации меди. Это обстоятельство, вероятно, связано с тем, что имеющиеся в жидкой фазе субмикроскопические включения оксидной частицы не успевают коалесцировать (укрупняться) до размеров критических зародышевых центров кристаллизации меди. При медленных скоростях ТСО (6 и 20 °С/мин) можно ожидать большую вероятность коалесценции оксидных частиц, повышение температуры кристаллизации и сокращение $\tau_{кр}$ (см. рис. 3, л-м).

Степень уплотнения гетерофазной фазы (Cu + Ж) при кристаллизации $-\Delta J_{кр}$ также зависит от ТО и ТСО (см. рис. 3, б, з, е, з, к):

– В интервале температур перегрева 1400...1350 °С (см. рис. 3, б и з) увеличение скорости ТСО способствует возрастанию степени уплотнения при кристаллизации $-\Delta J_{кр}$, а в интервале температур перегрева 1300...1200 °С (см. рис. 3, е, з, к) повышение скорости ТСО, наоборот, приводит к уменьшению степени уплотнения $-\Delta J_{кр}$.

– Зависимость кристаллизационных параметров ($t_{кр}$, $\tau_{кр}$, $-\Delta J_{кр}$) от температуры перегрева при различных скоростях ТСО изменяется по экстремальному закону с минимумами их значений при температуре перегрева 1300 °С (см. рис. 3, л, м, н). Причем при низких температурах перегрева (1200...1300 °С) чем выше скорости ТСО жидкой фазы, тем в меньшей степени уплотняется жидкая фаза при кристаллизации, тем ниже температура кристаллизации $t_{кр}$ и больше продолжительность этого процесса $\tau_{кр}$.

Выводы

1. Для достижения максимальных механических свойств меди жидкую фазу следует перегреть выше температурного порога аномального изменения электросопротивления на 30 °С и проводить легирование, что обеспечивает лучшее усвоение и равномерное распределение легирующего элемента по всему объёму жидкого металла. При этом достигается максимальная дисперсность

структуры меди. Снижение механических свойств легированной алюминием меди при высокой температуре перегрева (1400 °С) обусловлено газонасыщением разупорядоченной жидкой меди и ее загрязнением неметаллическими включениями.

2. Независимо от температуры перегрева (1200...1400 °С) повышение скорости ТСО (от 6 до 140 °С/мин) способствует увеличению степени уплотнения $-\Delta J_{ж}$ и коэффициента термического сжатия $\alpha_{ж}$ жидкой меди. Температурная зависимость параметров жидкого состояния носит экстремальный характер с минимумами значений при температуре перегрева 1300 °С. При этом чем выше скорость ТСО, тем больше значения параметров $-\Delta J_{ж}$ и $\alpha_{кр}$.

3. Повышение скорости охлаждения жидкой фазы приводит к уменьшению температуры начала кристаллизации меди $t_{кр}$ и увеличению продолжительности этого процесса $\tau_{кр}$.

4. Степень уплотнения при кристаллизации $-\Delta J_{кр}$ зависит от скорости и температуры начала ТСО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние температурно-временного режима выплавки на повышение качества стали / Г. А. Хасин и др. // Свойства расплавов металлов. – М.: Наука, 1974.
2. Влияние температурной обработки расплава на характеристики механических свойств металла / Б. А. Баум и др. // Свойства в отливках. – М.: Наука, 1975.
3. О взаимосвязи свойств жидких и твердых сталей / Б. А. Баум и др. // Проблемы стального слитка. – М.: Metallurgy, 1976.
4. Ри Хосен. О корреляционной связи между изменениями некоторых структурно-чувствительных свойств расплавов, объемной усадки и твердости модифицированных чугунов / Хосен Ри, А. Н. Литвиненко, Е. В. Меркулов // Литейное производство. – 1979. – № 22. – С. 2-4.
5. Ри Хосен. Об упорядочении структуры ближнего порядка жидких чугунов при охлаждении / Хосен Ри, В. А. Тейх // Известия вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 11. – С. 123-126.
6. Термоскоростное модифицирование алюминиевых расплавов / В. З. Кисунько, И. А. Новохатский, А. И. Погорелов и др. // Металлы. – 1980. – № 1. – С. 125-130.
7. Ри Хосен. Зависимость металлических свойств алюминиевых сплавов от термоскоростной обработки жидкой фазы / Хосен Ри, Е. М. Баранов // Литейное производство. – 1986. – № 11. – С. 5-7.
8. Френкель, Я. И. Кинетическая теория жидкостей / Я. И. Френкель. – Л.: Наука, 1975. – 727 с.
9. Ри Хосен. Влияние температурных режимов плавки, модифицирующих и легирующих элементов на свойства чугунов в жидком и твердом состояниях // Хосен Ри. – Владивосток-Хабаровск: Изд-во ХГТУ-ДВО РАН, 1977. – 149 с.



Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.

E. A. Dmitriev, A. V. Sviridov

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ СО СВЯЗУЮЩИМ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

PROPERTY RESEARCH OF MOLDING COMPOUNDS WITH BINDERS BASED ON INORGANIC SALTS

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

Mr. Eduard A. Dmitriev – Doctor of Technical Science, Professor, Rector of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: rector@knastu.ru.

Свиридов Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и металлургия» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mim@knastu.ru.

Mr. Andrei V. Sviridov – PhD in Engineering, Associate professor, Mechanical Engineering and Metallurgy Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mim@knastu.ru.

Аннотация. В статье изложены основные направления развития и совершенствования технологических методов изготовления формовочных смесей со связующими на основе неорганических солей. Приводятся результаты исследований физико-механических свойств форм с глубоким анализом возможных причин возникновения дефектов. Описано влияние порообразующих веществ на свойства литейных форм и образование брака на отливках.

Summary. The paper sets out the main directions of development and improvement of technological methods of manufacturing molding compounds with binders based on inorganic salts. The authors present results of studies of physical and mechanical properties of the forms with a deep analysis of the possible causes of defects. The article describes the effect of pore-forming materials on the properties of molds as well as casting defects.

Ключевые слова: неорганические солевые связующие, литейная форма, отливка, порообразующие материалы.

Key words: binders based on inorganic salts, molds, casting, pore-forming materials.

УДК 621.74.045

Анализ литературных данных показывает, что одним из наиболее значимых свойств литейных формовочных смесей (ЛФС) является прочность, управление которой позволяет получать смеси, приближающиеся по своим свойствам к «идеальным» смесям, т.е. обладающим необходимой прочностью на стадии заливки жидким металлом и минимальной прочностью на стадии выбивки отливки. В настоящее время, наряду с постоянно повышающимися требованиями по качеству, не менее важное значение приобретают требования по экологичности и ресурсосбережению.

Анализ используемых в современном литейном производстве исходных формовочных материалов и смесей показал, что в современном литейном производстве широкое распространение получили ЛФС с применением в качестве связующих синтетических смол. Однако в связи с значительным повышением требований к экологии литейного производства интерес к разработке ЛФС с неорганическими связующими вновь повышается. Неорганические связующие характеризуются относительно низкой стоимостью, доступностью сырьевых материалов в промышленном объеме и высокой экологической безопасностью.

Согласно материалам, представленным на последних международных выставках по литейному производству, за рубежом активно ведутся разработки и внедрение в производство неорганических связующих и смесей, способных конкурировать по свойствам с синтетическими связующими. Среди таких материалов группа связующих Cast – Clean (основа – жидкое стекло с добавлением различных добавок, значительно повышающих свойства жидкого стекла), группа солевых связующих Cordis (основа матрицы связующего – комбинация модифицированных фосфатов, силикатов, боратов и др.).

Были выявлены и сформулированы критерии, которым должны отвечать полимеры, вводимые в качестве модифицирующих добавок в состав жидкостекольных смесей (ЖС). К числу основных критериев относятся следующие: низкая стоимость, прочность пленки связующего, термостойкость. В наибольшей степени указанным выше критериям отвечают натрий-карбоксиметилцеллюлоза (Н-КМЦ), поливиниловый спирт (ПВС) и полистирол (ПС). Эти полимеры и были выбраны в качестве объектов исследования. В ходе проведения исследований было выявлено, что к факторам, определяющим конечные свойства ЛФС и форм, изготовленных на их основе, относятся количество и способ введения полимерной добавки (ПД) в ЖС, а также способ отверждения модифицированной полимерными добавками ЖС. В качестве контролируемых конечных свойств ЛФС, определяющих ее прочность и выбиваемость, были выбраны пределы прочности на разрыв отвержденных образцов и образцов, предварительно прогретых до температуры 700 °С. Для проведения комплексного анализа влияния ПД на свойства ЖС их сравнивали с аналогичными свойствами ЖС без ПД.

Количество ПД, вводимой в ЖС, регулировалось ее концентрацией в соответствующем растворе (% по массе) и количеством раствора, вводимого в ЖС (% по массе). Отверждение готовой ЛФС осуществляли по двум технологическим вариантам: отверждением по СО₂-процессу и тепловой сушкой при $T = 200$ °С. Введение ПД в состав ЖС осуществлялось двумя способами: непосредственным введением раствора ПД в сырую ЖС и с помощью предварительно плакированного ПД огнеупорного наполнителя ЖС.

При исследованиях смешивания водного раствора Н-КМЦ с жидкостекольным связующим Н-КМЦ выпадает в осадок, что приводит к образованию суспензии. При этом с увеличением доли 30%-ного раствора Н-КМЦ в жидком стекле вязкость всей смеси падает (см. рис. 1). Падение вязкости при смешивании Н-КМЦ с жидким стеклом вызвано тем, что Н-КМЦ, попадая в жидкое стекло, образует взвесь мелкодисперсных хлопьев, а вода, имевшаяся в растворе Н-КМЦ, переходит в раствор жидкого стекла, тем самым уменьшая его вязкость. Причем средний размер хлопьев Н-КМЦ во многом зависит от концентрации вводимого в жидкое стекло раствора Н-КМЦ при одинаковых условиях приготовления смеси.

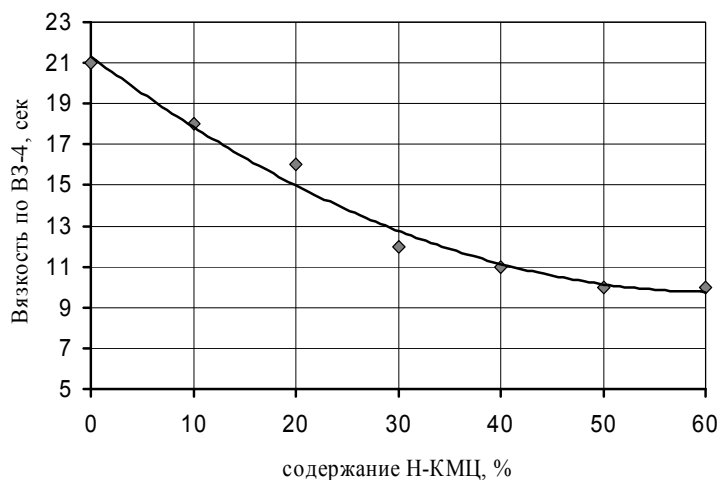


Рис. 1. Зависимость вязкости жидкого стекла (М-2,5) от количества введенного в него 30%-ного водного раствора Н-КМЦ

В результате исследований влияния Н-КМЦ, вводимого в сырую ЖС, были установлены закономерности изменения прочностных свойств ЖС в зависимости от количества и концентрации раствора Н-КМЦ. Наибольшая прочность смеси как при тепловом, так и при CO_2 -процессе достигается при использовании 15-20%-го раствора Н-КМЦ в количестве 3 масс.ч., прочность ЖС при этом возрастает на 85–90 % по сравнению с ЖС без добавления полимера. Увеличение содержания раствора Н-КМЦ более чем 3 масс.ч. в смеси приводит к падению прочности в силу переувлажнения ЖС.

Полученные зависимости прочности жидкостекольной смеси от концентрации Н-КМЦ и количества раствора, используемого для плакирования песка, показали, что максимальная прочность ЖС достигается при плакировании песка низкоконцентрированными растворами Н-КМЦ (5–15 %).

Прочность ЖС с плакированным Н-КМЦ песком во многом зависит и от способа отверждения. Максимальная прочность смеси достигается при тепловом отверждении. Причем следует отметить, что при тепловом отверждении удалось получить высокую прочность при достаточно широком диапазоне концентраций растворов Н-КМЦ от 10 до 25 %.

Остаточная прочность образцов, изготовленных из исследуемых смесей и прокаленных при 700°C , так же как и прочность после сушки, мало зависела от способа отверждения и способа приготовления смеси. Однако при этом, сравнивая остаточную прочность ЖС с добавкой раствора Н-КМЦ с остаточной прочностью ЖС без полимерных добавок, можно заключить, что содержание Н-КМЦ оказывает значительное влияние на остаточную прочность. Так, остаточная прочность смеси с 3 масс. ч 20%-ного раствора Н-КМЦ более чем в 3 раза меньше остаточной прочности смеси без ПД, что свидетельствует о том, что любое введение Н-КМЦ в смесь позволяет значительно понизить ее остаточную прочность и тем самым улучшить выбиваемость.

Проведенный комплекс исследований по применению Н-КМЦ в составе ЖС и полученные зависимости показали технологическую целесообразность использования Н-КМЦ для улучшения прочности и выбиваемости жидкостекольных смесей.

ПВС, так же как и Н-КМЦ водорастворимый полимер, но менее термостойкий и с жидкостекольным связующим не смешивается. Анализ изменения прочности ЖС в зависимости от количества вводимого раствора ПВС и его концентрации показал, что прочность смеси, отверждаемой тепловой сушкой, возрастает с увеличением концентрации раствора ПВС. Максимальная прочность наблюдается при введении 3 масс.ч. 30%-ного раствора ПВС. При отверждении ЖС CO_2 газом прочность также возрастает с увеличением концентрации вводимого в смесь раствора ПВС, но при этом максимальная прочность достигается при введении 4 масс.ч. 30%-ного раствора ПВС.

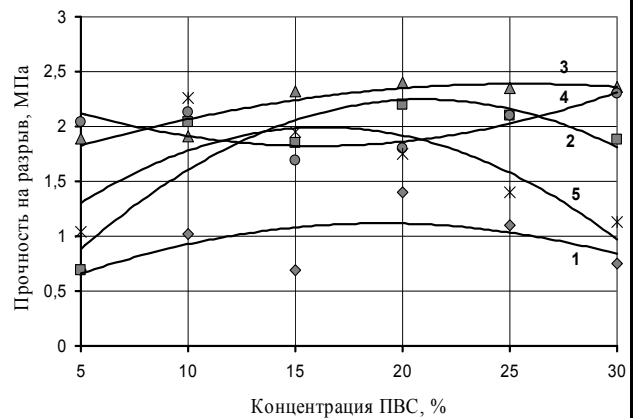
Исследования прочностных свойств ЖС в зависимости от концентрации ПВС в растворе и количества самого раствора, вводимого при плакировании песка, показали (см. рис. 2), что максимальная прочность ЖС при отверждении сушкой достигается в случае плакирования песка 25–30%-ным раствором ПВС в количестве 3–4 масс. ч., а в случае отверждения смеси CO_2 максимальная прочность достигается при плакировании песка 3 масс. ч 15–30%-ным раствором ПВС.

Остаточная прочность ЖС после прокаливания, как и в случае использования Н-КМЦ, во многом зависит от количества ПВС в смеси. Наименьшей остаточной прочностью обладали образцы, изготовленные из плакированного ПВС песка.

Проведенные исследования по применению ПВС в составе ЖС показали целесообразность использования ПВС для улучшения свойств жидкостекольных смесей. Из рассмотренных двух вариантов приготовления смеси наилучшие прочностные свойства показали смеси, приготовленные по технологии предварительного плакирования песка ПВС.

Полистирол в отличие от Н-КМЦ и ПВС не является водорастворимым полимером. Выбор ПС в качестве добавки был обусловлен в большей степени его высокими прочностными свойствами и низкой стоимостью.

Рис. 2. Влияние количества и концентрации раствора ПВС при плакировании песка на прочность смеси с жидким стеклом, отвержденной продувкой CO_2 :
 1 – 1 масс.ч. раствора ПВС; 2 – 2 масс.ч. раствора; 3 – 3 масс.ч. раствора;
 4 – 4 масс.ч. раствора; 5 – 5 масс.ч. раствора



В целом анализ полученных зависимостей прочности жидкостекольно-полистироловой смеси показал, что прочность при тепловом и холодном отверждении в основном зависит от концентрации вводимого раствора ПС в толуоле, а количество вводимого раствора не оказывает значительного влияния на прочность. При тепловом отверждении введение в ЖС низкоконцентрированных растворов ПС (10–20 %) приводит к падению прочности, по сравнению с жидкостекольной смесью без ПД, лишь введение высококонцентрированных растворов ПС позволяет повысить прочность почти в 2 раза. В случае отверждения CO_2 газом использование низкоконцентрированных растворов ПС приводит также к разупрочнению смеси в отвержденном состоянии, а введение высококонцентрированных растворов ПС (30–40 %) не дает ощутимого повышения прочности по сравнению с ЖС без полимерных добавок.

Остаточная прочность смеси, как и прочность в отвержденном состоянии, также во многом зависит от концентрации раствора ПС. Так, в случае введения 10–20%-ного раствора ПС остаточная прочность существенно не отличается от остаточной прочности ЖС без ПД.

При использовании раствора ПС для плакирования песка максимальная прочность (2,4 МПа) достигается на песках, плакированных 3–4 масс.ч. раствора ПС, при этом концентрация раствора не оказывает значительного влияния.

Отверждение смеси CO_2 газом позволяет достичь достаточно высокой прочности (2,3–2,4 МПа) при использовании плакированного песка 2–3 масс.ч. раствора ПС, но при этом значительное влияние оказывает и концентрация ПС в растворе, используемом для плакирования.

Проведенные исследования влияния раствора ПС на прочностные свойства ЖС показали, что наибольший эффект повышения прочности ЖС достигается в случае использования ПС в качестве плакирующего компонента, при этом также достигается минимальная остаточная прочность смеси после прокаливании.

Сравнительные гистограммы прочностных свойств ЖС с полимерными добавками представлены на рис. 4. Из представленных данных видно, что введение в состав исследованных полимерных добавок значительно повышает прочность смеси как при введении жидкостекольного связующего сразу после перемешивания наполнителя с полимером, так и в случае предварительного плакирования наполнителя полимером.

В целом прочность исследуемых смесей во многом зависит от количества вводимого полимера, способа ввода полимера и способа отверждения смеси. При использовании водорастворимых полимеров (Н-КМЦ, ПВС) максимальная прочность достигается при введении в смесь 3–4 масс.ч. 20–25%-ного водного раствора. Максимальная прочность при добавлении в смесь ПС достигается при введении в смесь 3–4 масс.ч. 30%-ного раствора ПС в толуоле.

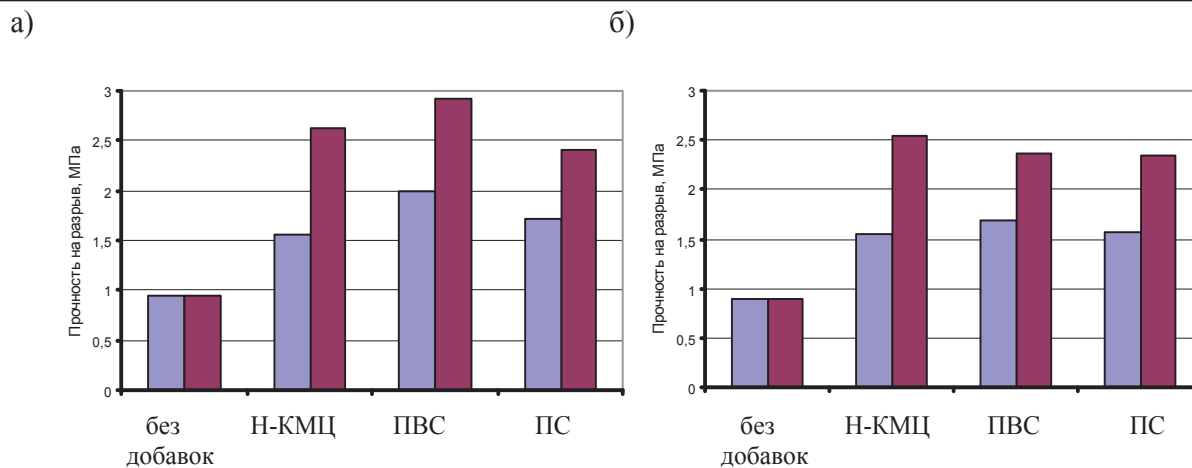


Рис. 4. Гистограммы максимальных прочностей жидкостекольных смесей с полимерными добавками:
а – отверждение смеси при температуре 200 °С; б – отверждение смеси CO₂ газом

■ – введение полимерной добавки в сырую смесь;
■ – при плакировании полимерной добавкой песка

Кристаллогидраты сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) при нагревании до температуры 82 °С плавятся, при этом из расплава испаряется кристаллизационная вода, что приводит к кристаллизации обезвоженного сульфата магния. Обезвоженный сульфат магния при дальнейшем нагревании не претерпевает никаких изменений до температуры разложения, равной 1100–1200 °С.

В ходе исследований связующих свойств $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ было выявлено, что основными управляющими факторами, влияющими на прочность, являются влажность смеси кварцевого песка с $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и температура сушки смеси. В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость прочности смеси песка с сульфатом магния (5 масс.ч.) от температуры сушки и исходной влажности смеси. Анализ зависимости позволил установить интервал оптимальных температур сушки смеси, равный 135–150 °С, и интервал оптимального соотношения $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и воды, равный 1 : 0,8–0,9. В этом случае прочность смеси достигает максимально возможных значений (0,67 МПа).

Экспериментально полученная зависимость прочности смеси от температуры ее нагрева показала (см. рис. 5), что нагревание смеси до температур свыше 150 °С приводит к разупрочнению смеси, при этом падение прочности происходит до температур 250–300 °С, после чего прочностные свойства смеси стабилизируются. Падение прочности смеси в диапазоне температур от 150 до 300 °С в среднем составляет 35–45 %.

Сопоставление полученной зависимости прочности смеси песка с сульфатом магния от температуры сушки с данными термоанализа сульфата магния позволило установить, что максимальной прочностью обладает смесь песка с моногидратом сульфата магния ($MgSO_4 \cdot H_2O$). Дальнейшее обезвоживание моногидрата сульфата магния в смеси приводит к падению прочности смеси.

Газотворность отвержденного при температуре 150 °С связующего сульфата магния в среднем составила 75 см³/г. Причем основной пик газовыделения наблюдался при температуре 240–250 °С, что соответствует температуре полного обезвоживания сульфата магния. При температурах выше 300 °С газотворность сульфата магния близка к нулю.

Результаты исследования связующих свойств сульфата магния показали возможность его использования в качестве связующего в формовочных и стержневых смесях, к тому же способность сульфата магния восстанавливать содержание воды в кристаллизационной решетке позволяет легко регенерировать отработанные смеси.

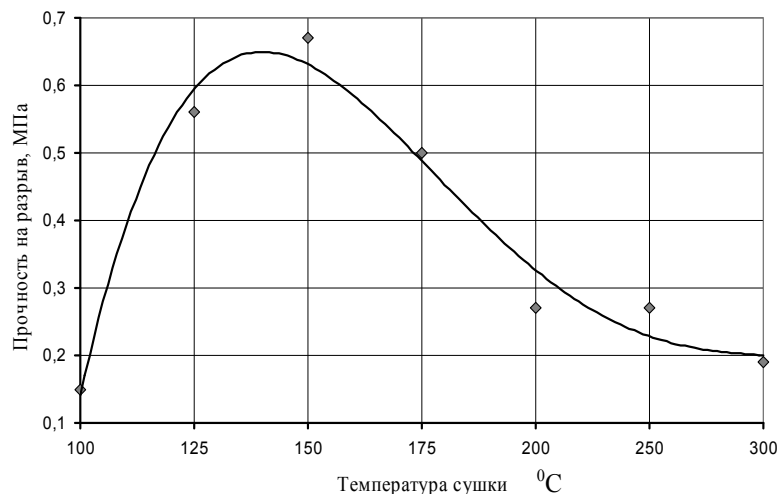


Рис. 5. Зависимость прочности смеси со связующим сульфатом магния от температуры сушки

Дальнейшие исследования проводились в направлении улучшения связующих свойств сульфата магния путем введения в его состав других неорганических солей. В ходе исследований было обнаружено, что соли натрия, вводимые в состав сульфата магния, способствуют повышению прочности смеси. Наилучшие результаты были получены при добавлении к $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ сульфата натрия (Na_2SO_4). При этом чистый Na_2SO_4 не обладает связующими свойствами.

Изменения прочностных свойств смеси в зависимости от количества Na_2SO_4 , вводимого в состав связующего $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, показывают, что увеличение содержания Na_2SO_4 в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ повышает прочностные свойства смеси кварцевого песка с смесью солей ($MgSO_4 - Na_2SO_4$). Причем при содержании в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ до 30 % Na_2SO_4 прочность смеси увеличивается практически в 2,2 раза по сравнению с такой же смесью, но приготовленной на чистом сульфате магния (см. рис. 6). Увеличение содержания Na_2SO_4 в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ более чем на 30 % приводит к резкому падению прочности за счет выпадения в отверждаемом $MgSO_4$ отдельных кристаллов Na_2SO_4 .

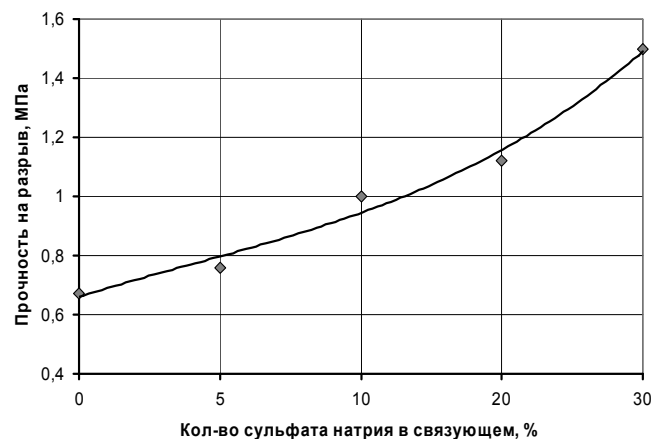


Рис. 6. Влияние количества Na_2SO_4 в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ на прочность смеси

Термический анализ смеси солей $MgSO_4 - Na_2SO_4$ с различным содержанием Na_2SO_4 показал, что взаимодействие между компонентами не происходит, но при этом заметно некоторое снижение температуры плавления. Так, температура плавления смеси солей $MgSO_4 - Na_2SO_4$ с содержанием 10 масс.ч. Na_2SO_4 составляет $820^\circ C$, а при содержании Na_2SO_4 30 масс.ч. температура плавления снижается до $780^\circ C$, что несколько ограничивает область использования связующего.

Прочность отвержденной смеси, содержащей в качестве связующего смесь солей $MgSO_4 - Na_2SO_4$, так же как и при использовании в качестве связующего $MgSO_4$ в чистом виде, во многом зависит от температуры сушки. Максимальная прочность ЛФС (1,5 МПа), содержащая 5 масс.ч связующего в виде смеси солей $MgSO_4 - Na_2SO_4$, достигается при температуре сушки $150^\circ C$ с повышением температуры, прочность смеси снижается до 0,7–0,65 МПа, что так же как и при использовании чистого сульфата магния обусловлено полным обезвоживанием связующего.

Использование Na_2SO_4 в составе связующего на основе сульфата магния позволяет повысить прочность смеси в отвержденном состоянии, но при этом связующее $MgSO_4 - Na_2SO_4$, как и связующее на основе чистого сульфата магния, значительно теряет прочность в интервале температур от 150 до $300^\circ C$.

С целью получения более стабильных прочностных свойств в диапазоне температур $150-350^\circ C$ связующего на основе $MgSO_4$ была исследована возможность его комбинирования с фосфатами различных металлов. С помощью термоанализа было выявлено, что при введении в состав сульфата магния смеси фосфатов магния (СФМ) происходит повышение температур, характеризующих полное обезвоживание (см. рис. 7). Исходя из данных термоанализа, было сделано предположение, что введение в состав сульфата магния СФМ позволит стабилизировать прочностные свойства связующего за счет смещения температур, характеризующих полное обезвоживание связующего, в сторону более высоких температур.

Экспериментальные исследования изменения прочности смеси кварцевого песка со связующим сульфат магния – СФМ (12 %) от температуры сушки подтвердили сделанные по результатам термоанализа предположения. Падение прочности смеси при повышении температуры сушки до $250^\circ C$ составило около 10 % от максимальной прочности.

Таким образом, были определены два компонента, позволяющие управлять наиболее важными свойствами связующего на основе $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

В ходе последующих экспериментальных исследований была получена зависимость прочности смеси от содержания в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, смеси фосфатов магния и Na_2SO_4 . Полученная зависимость позволила определить оптимальное содержание в $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, СФМ (16–18 %) и Na_2SO_4 (20–24 %).

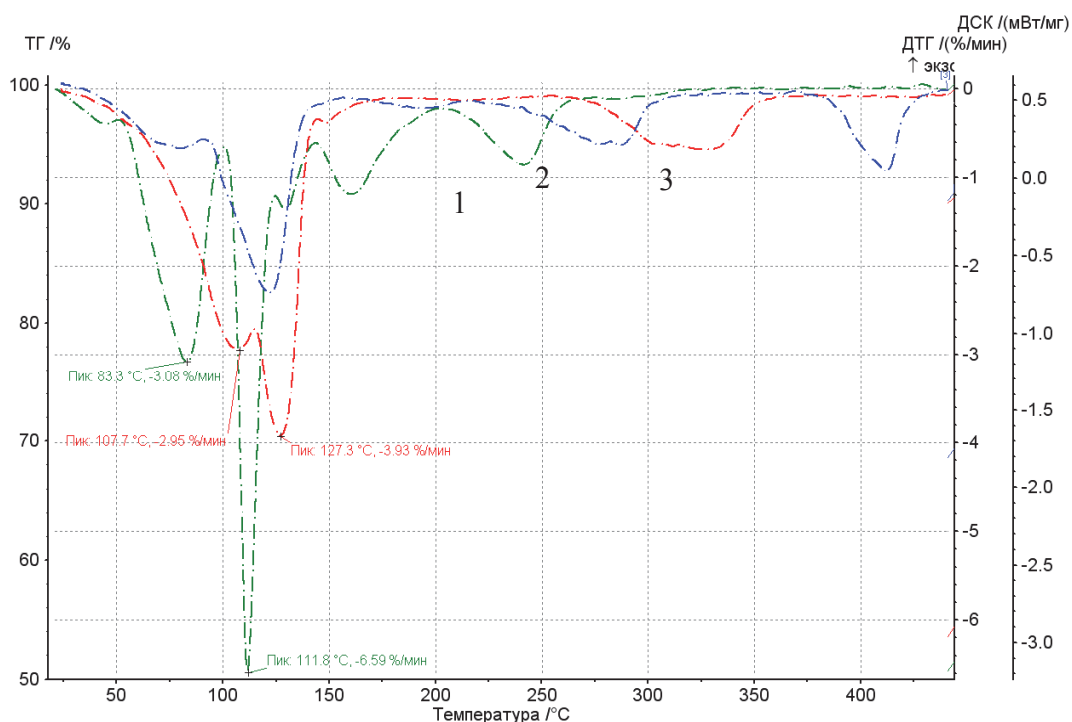


Рис. 7. Дифференциальные термогравиметрические (ДТГ) кривые:
1 – $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 2 – СФМ; 3 – $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ с добавлением СФМ (12 %)

Исследования изменения прочности связующего в диапазоне температур сушки от 150 до 250 °С показали, что прочность смеси достигает до 2,2 МПа при содержании связующего ($MgSO_4-Na_2SO_4$ (20 %) – СФМ (16 %)) в смеси 5 масс.ч. Дальнейшее увеличение температуры сушки приводит к снижению прочности до 1,7–1,8 МПа. При этом прочность смеси остается на достаточно высоком уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстигнеев, А. И. Решение проблем формообразования в литье по выплавляемым моделям / А. И. Евстигнеев, И. Г. Сапченко // Литейное производство. – 2012. – № 9. – С. 40-43.
2. Специальные технологии литейного производства: учеб. пособие. Ч. 2 /под общ. ред. А. И. Евстигнеева, Е. А. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2012. – 436 с.
3. Свиридов, А. В. Изготовление оболочковых литейных форм с использованием электрофореза / А. В. Свиридов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № 1. – С. 61-66.
4. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Я. И. Шкленника и В. А. Озерова. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
5. Дошкарж, И. Точное литье в керамические формы / И. Дошкарж [и др.]; пер. с чеш. – М.: Машгиз, 1962. 243 с.
6. Эванс, А. Г. Конструкционная керамика / А. Г. Эванс, Т. Г. Лэнгдоп; пер. с англ. – М.: Metallurgia, 1980. – 255 с.
7. Финкель, В. М. Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М.: Metallurgia, 1977. 360 с.
8. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М.: Metallurgia, 1985. – 480 с.
9. Шипулин, Н. В. Упрочнение оболочковых форм в производстве литья по выплавляемым моделям / Н. В. Шипулин // Прогрессивная технология литейного производства: сб. науч. тр. – Горький: ВВКИ, 1962. – С. 512-516.
10. Пат. 2481917 Российская Федерация, МПК В22С 1/02. Суспензия для изготовления форм точного литья методом электрофореза / Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО “КНАГТУ”. – № 2011142658/02; заявл. 19.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 15. – 2 с.
11. Пат. 2488458 Российская Федерация, МПК В22С 1/02. Способ изготовления выплавляемых моделей для получения оболочковых форм методом электрофореза / Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО “КНАГТУ”. – № 2011142658/02; заявл. 19.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 13. – 3 с.
12. Пат. 115260 Российская Федерация, МПК В22С 1/02. Устройство для изготовления форм точного литья методом электрофореза / Дмитриев Э. А., Свиридов А. В.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО “КНАГТУ”. – № 2011142759/02; заявл. 19.12.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 10. – 3 с.
13. Совершенствование технологии формообразования электрофоретических оболочек / А. И. Евстигнеев, А. В. Свиридов, Э. А. Дмитриев, В. В. Петров // Литейное производство. – 2014. – № 9. – С. 32-34.
14. Определение механических характеристик оболочковых форм с учетом их слоистости / А. И. Евстигнеев, И. Г. Сапченко, В. Н. Тышкевич, В. В. Васин, В. И. Куренков // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1991. – № 2. – С. 51-53.
15. Влияние пористости на прочность оболочковых форм по выплавляемым моделям / А. И. Евстигнеев, И. Г. Сапченко, В. Н. Тышкевич, В. В. Васин // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1991. – № 8. – С. 51-53.
16. Определение механических характеристик слоистых оболочковых форм / А. И. Евстигнеев, И. Г. Сапченко, В. Н. Тышкевич, Г. И. Тимофеев // Литейное производство. – 1992. – № 8. – С. 25.
17. Тышкевич, В. Н. Влияние пористости на прочность слоистых оболочковых форм по выплавляемым моделям / В. Н. Тышкевич, А. И. Евстигнеев, К. В. Худяков // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 4. – С. 58-60.



Верхотуров А. Д., Евстигнеев А. И., Козырь А. В., Коневцов Л. А.
A. D. Verkhoturov, A. I. Yevstigneyev, A. V. Kozyr, L. A. Konevtsov

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В РОССИИ

ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT OF METAL SURFACE ELECTROSPARK DOPING METHOD IN THE RUSSIAN FEDERATION

Верхотуров Анатолий Демьянович – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск); Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; тел. 8(4212)32-57-55. E-mail: verhoturov36@mail.ru.

Mr. Anatoly D. Verkhoturov – Honoured Science Worker of the Russian Federation, Doctor of Engineering, Professor, Chief Scientific Officer, Institute of Water and Environmental Problems of Far East Branch of the Russian Academy of Science (Russia, Khabarovsk); Russia, 680000, Khabarovsk, st. Dikopoltseva, 56; tel. 8(4212) 32-57-55. E-mail: verhoturov36@mail.ru.

Евстигнеев Алексей Иванович – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, советник при ректоре Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); тел. 8(4217)241-244. E-mail: msf@knastu.ru.

Mr. Evstigneev Alexey I. – Doctor of Engineering, Professor, Honored Master of Sciences, Rector's Adviser, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 8(4217)241-244. E-mail: msf@knastu.ru.

Козырь Аркадий Валентинович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории обработки материалов концентрированными потоками энергии Амурского государственного университета (Россия, Благовещенск); Амурская обл., 675027, г. Благовещенск, Игнатъевское шоссе, 21; тел. 8(924)6710782. E-mail: kozyr@yandex.ru.

Mr. Arkady V. Kozyr – PhD in Engineering, Associate Professor, leading research officer, Laboratory of materials processing with concentrated energy fluxes; State university (Russia, Blagoveshchensk); Amur Region, 675027, Blagoveshchensk, Ignatyevskoe Shosse, 21; tel. 8(924)6710782. E-mail: kozyr@yandex.ru.

Коневцов Леонид Алексеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН (Россия, Хабаровск); г. Хабаровск, 680042; тел. 8(4212)22-57-22. E-mail: konevts@narod.ru.

Mr. Leonid A. Konevtsov – PhD in Engineering, Research officer; Institute of Materials of Far East Branch of the Russian Academy of Science (Russia, Khabarovsk); Khabarovsk, 680042, Russia; tel. 8(4212)22-57-22. E-mail: konevts@narod.ru.

Аннотация. Показано, что электроискровая обработка является выдающимся достижением в промышленных технологиях. В настоящее время электроискровой обработке во многих случаях нет альтернативы: формообразование труднообрабатываемых твёрдых и сверхтвёрдых токопроводящих материалов, поверхностное упрочнение, диспергирование. Показано, что этот метод, авторами которого были наши соотечественники Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко, прошёл за более чем 70-летие трудный путь своего становления и развития, дважды испытав этапы созидания и разрушения. К сожалению, в последние годы этот метод не находит своего развития в нашей стране.

Summary. It is shown that electrospark processing is the outstanding achievement in industrial technologies. Nowadays, electrospark processing in many cases does not have any alternative: hard-processing, tough and supertough electricity conductor forming, surface reinforcement, dispersion. It is shown that this method, established by our compatriots B. R. Lazarenko and N. I. Lazarenko more than 70 years ago, met difficulties in its development, having tested creation and destruction stages twice. Unfortunately, over the last years this method does not develop in our country.

Ключевые слова: электроискровая обработка, электроискровое легирование, электроискровое диспергирование, авиакосмические технологии.

Key words: electrospark processing, electrospark doping, electrospark dispersion, aerospace technologies.

УДК 621.9.048.4

*К 70-летию выхода в свет первой монографии
Н. И. и Б. Р. Лазаренко «Физика электроискрового
способа обработки металлов» и присуждению
им Сталинской премии*

К числу выдающихся открытий XX в. относится изобретение российскими учёными Борисом Романовичем Лазаренко и его супругой Наталией Иоасафовной Лазаренко (см. рис. 1) принципиально нового способа обработки токопроводящих материалов – электроискровой обработки. Он поистине открыл новую эру в промышленных технологиях, обеспечив использование потока электронов для формообразования деталей из любых токопроводящих и полупроводниковых материалов независимо от их физико-химических и механических свойств, а также для упрочнения и легирования их поверхностей и диспергирование металлов [12]. Приоритет их в открытии принципиально нового метода обработки материалов был зафиксирован авторским свидетельством от 03.04.1943 г. № 70010, а также патентами других государств (Франция, Великобритания, США, Швейцария, Швеция и др.) (см. рис. 1).



Рис. 1. Борис Романович и Наталия Иоасафовна Лазаренко и копия авторского свидетельства

Создание принципиально нового метода обработки началось в 1936 г., когда молодые инженеры начали свою трудовую деятельность во Всесоюзном электротехническом институте (ФГУП ВЭИ). Профессор В. В. Усов перед Б. Р. Лазаренко поставил на первый взгляд простую и конкретную задачу: попытаться найти сплав, который был бы способен противостоять искре в электрической цепи, содержащей индуктивность, т.е. необходимо подобрать такой материал, который в состоянии сопротивляться электрической искре и пригоден для изготовления безызносных электрических контактов. После многочисленных экспериментов Б. Р. Лазаренко пришёл к выводам: 1) В природе нет материалов, которые бы не подвергались эрозии, и искать их бесполезно. 2) В электрической эрозии следует видеть не только вредное, но и положительное явление.

«Нужно было обладать недюжинным чутьём и богатым воображением, чтобы в этом неутомимом враге электриков – электрической эрозии – разгадать чудодейственного помощника в обработке сверхтвёрдых материалов, – говорил в последствии профессор Н. Ф. Казаков. – В самом факте разрушения металла электрической искрой надо искать разгадку положительных качеств явления и использовать их на практике» [3]. Это событие стало «звёздным часом» металлообработки [9]. Электрическая искра не просто разрешила противоречия классического метода металлообработки, разрывая логически замкнутое целое, но вывела решение проблемы в новую плоскость, на новый виток спирали научно-технического прогресса в развитии человечества. Вопрос обрабатываемости металла на этом этапе оказался снятым – отныне открывалась возможность обработки любого токопроводящего материала независимо от его физико-химических свойств, т.е.

без необходимости иметь более твёрдый и прочный инструментальный материал по сравнению с обрабатываемым.

В конце 1938 г. в трудах Всесоюзного электротехнического института вышла в свет первая систематизированная работа молодого учёного Б. Р. Лазаренко «Исследование переноса и коррозии металла под действием электрических разрядов на разрывных контактах», где он сделал следующие обобщения [3]:

1. Электрическая эрозия – неотъемлемое свойство любых токопроводящих материалов, т.е. нет и не может быть антиэрозионных материалов.

2. Каждой форме самостоятельного электрического разряда соответствует присущая ей полярность эрозии электродов.

3. Искровая форма электрического разряда сопровождается убылью массы анода.

4. Величина и знак электрической эрозии при прочих равных условиях определяется: химическим составом материала электродов; химическим состоянием и материалом среды, окружающей электроды; величиной и соотношением параметров электрической схемы, которую коммутируют электроды.

5. Переход искровой формы электрического разряда в дуговую и обратно сопровождается инверсией электрической эрозии.

Уже в 1938 г. аспирант Б. Р. Лазаренко (см. рис. 2) был накануне серьёзных выводов и осуществления принципиально нового открытия, которое значительно расширило технологические возможности человека в обработке материалов.

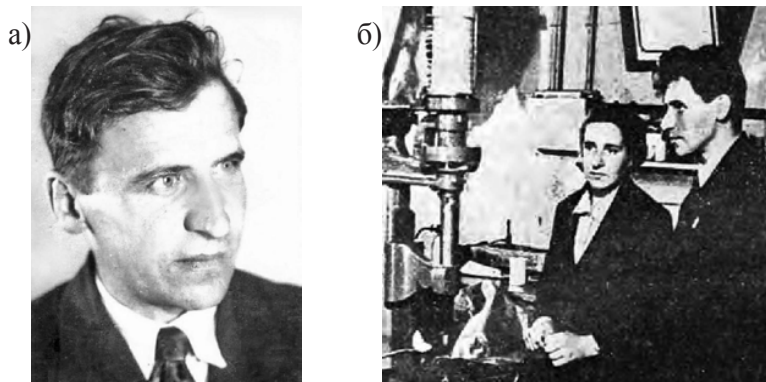


Рис. 2. Аспирант Б. Р. Лазаренко накануне серьёзных выводов (а), супруги Лазаренко у первого электроискрового станка (б)

Однако началась Великая Отечественная война, и он вместе с эвакуированным ВЭИ оказался в Свердловске в конце 1941 г. Он неоднократно требовал отправить его на фронт, но ему отказывали и наставляли на работу, связанную с оборонной тематикой. Борис Романович вместе с женой Натальей Иоасафовной работали в лаборатории уже в городе Свердловске. Он исследовал электрические контакты, имеющие важное значение для оборонной промышленности, а она проводила эксперименты по электроискровой эрозии. В это время они экспериментально определили, что с использованием электрических разрядов можно получать порошки металлов. В Свердловске супруги также экспериментально доказали возможности своего метода, обрабатывая мягкой медью сталь и даже твёрдый сплав. И 31 мая 1947 г. изобретение Б. Р. и Н. И. Лазаренко было внесено в Государственный реестр открытий СССР с приоритетом от 3 апреля 1943 г. Б. Р. Лазаренко использовал предложенный метод для прошивки криволинейных отверстий в деталях и обработки снарядов легендарных «Катюш».

В 1943 г. Б. Р. Лазаренко защитил кандидатскую диссертацию на тему «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением электрических контактов». Следует отметить, в конце протокола учёного Совета Всесоюзного электротехнического института от 28 июня 1943 г. по защите диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Б. Р. Лазаренко появился пункт, одобренный 21 членом учёного Совета: «Признать диссертационную работу т. Лазаренко Б. Р. выдающейся».

К методу искровой обработки начал возникать интерес у многочисленных учёных, инженеров. Этому способствовала изданная супругами Лазаренко брошюра «Электрическая эрозия ме-

таллов», которая вышла в свет в 1944 г. После переезда из Свердловска в Москву лабораторию профессора В. В. Усова выделили из состава института и передали одному из московских электротехнических заводов.

Искровой способ совершенно изменил столетиями сложившиеся представления об обработке металлов и сплавов, а это закономерно потребовало изменения конструкции многих деталей машин, механизмов, аппаратов, приборов с учётом новых технологических возможностей [12]. Несмотря на усложнившиеся условия научной работы, Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко усиленно работали над усовершенствованием оборудования, разработкой технологии обработки материалов на многочисленных предприятиях машиностроительной промышленности. Их работа оказала большое влияние на прогресс в машиностроении в СССР, а затем во всех развитых странах мира. В итоге за открытие и разработку этого способа супругам Б. Р. и Н. И. Лазаренко в 1946 г. была присуждена Сталинская премия (см. рис. 3). Имена Б. Р. и Н. И. Лазаренко встали одним рядом с выдающимися учёными страны членами-корреспондентами М. В. Келдышем, Б. М. Вулом, С. А. Христиановичем, И. В. Обреимовым, В. Ю. Визе.



Рис. 3. Документ лауреата Сталинской премии Б. Р. Лазаренко

В США начиная с 1947 г. проявили к этому способу исключительно повышенный интерес. Американцы начали развивать большую активность по использованию «русских эрозионных машин» и уверенно развёртывали это направление работ [12]. «Русский метод», как его называли за рубежом [5], широко шагал по миру.

В 1948 г. Б. Р. Лазаренко успешно защитил докторскую диссертацию «Электроискровой способ обработки металлов» в МВТУ им Н. Э. Баумана. В этом же 1948 г. с целью создания более благоприятных условий для развития электроискрового способа обработки материалов в составе Министерства электропромышленности СССР на правах института была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория электрической обработки материалов (ЦНИЛЭлектром).

Ещё в начале 50-х гг. было решено разместить ЦНИЛЭлектром в пустующем Николо-Перервинском монастыре (ул. Шоссейная, 82, район Люблино). А в 1951 г. Б. Р. Лазаренко по ходатайству Президента АН СССР Н. А. Несмеянова был избран учёным секретарём президиума АН СССР (по совместительству). К середине 50-х гг. в ЦНИЛЭлектроме сложился благодаря усилиям Б. Р. Лазаренко коллектив: отдел физики возглавлял видный теоретик Б. Н. Золотых, отдел технологии искровой обработки Н. К. Фотеев, отдел металлографии возглавлял И. З. Могилевский, отдел электроискрового легирования (ЭИЛ) – Н. И. Лазаренко, а отдел новых процессов – сам Б. Р. Лазаренко.

Следует отметить, что принципиально новым методом обработки материалов заинтересовались, в несколько ином направлении, «чиновники» министерства станкоинструментальной промышленности СССР, в частности, его головного института – Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС, основанного в 1933 г.). Станкостроение – сердце машиностроения, и от правильной стратегической научно-технической поли-



тики этого министерства и его головного института зависел прогресс многих отраслей. Научно-техническая политика отдельными «паразитирующими» работниками их руководящего состава вызывала удивление. Было заметно, что противодействие развитию электроискрового способа и его авторам группой ведущих специалистов-станкостроителей, возглавляемой ЭНИМС, непрерывно возрастало ещё с момента регистрации способа и присуждения Сталинской премии его изобретателям. Случилось так потому, что политика отдела электрофизических и электрохимических методов обработки ЭНИМСа, возглавляемого доктором технических наук А. Л. Лившицем, привела к тому, что СССР, имевший в этой области долгий приоритет, с каждым годом терял завоеванные позиции [1]. И, как следствие, известные заводы – ЗИЛ, МЗМА, ВАЗ, КАМАЗ и др. – оснащались импортными электроэрозионными (электроискровыми) станками и оборудованием. Используя авторитет ЭНИМСа и министерства в основу деятельности отдела электрофизических и электрохимических методов обработки этими работниками был положен тезис: «То, что сделано другими – плохо. А раз так, то “зелёная улица” представлялась разработкам “своего” отдела, вне зависимости от качества и новизны». По мнению Е. М. Левинсона, известного учёного и практика (опубликованному позже в газете «Социалистическая индустрия» в 1978 г.): «За тридцать лет работы мне неоднократно приходилось сталкиваться с противодействием А. Л. Лившица, руководителя отдела ЭНИМСа, всему, что исходило не от него и его единомышленников. Интересы личные и ведомственные сдерживали прогресс в этой области. Именно из-за них важные для народного хозяйства разработки учёных оказываются нереализованными» [12].

Хотя политика «недоброжелателей» и «завистников» Б. Р. Лазаренко и его методу имела определённый успех, Борис Романович по-своему объяснял такое противодействие внедрению нового метода в промышленное производство со стороны руководства министерства станкоинструментальной промышленности и работников его головного института. «Представьте ситуацию, – сказал он, – сотни учёных, свыше 60 кафедр вузов и четыре крупнейших научно-исследовательских института совершенствуют теорию резания металлов, разрабатывают оптимальную геометрию режущих граней инструмента, создают особо твёрдые материалы, чтобы в результате этого лучше резать металл и имеют заслуги в этой области... с другой стороны – два едва оперившихся молодых специалиста (Н. И. и Б. Р. Лазаренко, ред.) доказывают и главное – показывают, что для громадного большинства случаев режущий инструмент вообще не нужен, так же как не нужны самые современные металлорежущие станки... нетрудно себе представить, какими “розами” был немедленно усыпан наш путь. Это представить, а что было в действительности, известно лишь нам двоим. Было брошено всё, чтобы сбивать этот процесс, любым путём скомпрометировать его, а попутно и нас самих. Особенно в этом направлении свирепствовали научно-исследовательский институт инструмента и экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС)» [12].

В этом нет ничего нового, это типичный случай для дружелюбной и терпимой к другим народам России... Так, великий гуманист А. Л. Зиновьев писал: «Русский народ не оказал поддержку своим наиболее талантливым соплеменникам, а, наоборот, всячески препятствовал их выявлению, продвижению и признанию. Он никогда всерьёз не восставал против глумления над ними, исходившего от представителей других народов, позволяя им при этом безбедно жить за его счёт» [11]. Ещё более ясно на этот счёт сказал философ и политолог А. С. Ципко: «В отличие от других наций, мы своих даровитых и башковитых не только не выталкиваем наверх, но нередко топим собственными руками. И об их таланте вспоминаем в лучшем случае после их кончины» [14].

Однако, несмотря на противодействие работе ЦНИЛЭлектрома со стороны отдельных чиновников министерства и их союзников, благодаря активной деятельности Б. Р. Лазаренко и его сотрудников, а также помощи АН СССР в 1954 г. Президиум АН СССР рассмотрел достижения лаборатории и перевёл её в систему академических учреждений. Отделение технических наук АН СССР подготовило проект постановления о переводе ЦНИЛЭлектром в ранг академического института. К концу 50-х гг. ЦНИЛЭлектром был основным научным центром СССР и, даже можно сказать, мира, в котором решались научные и прикладные вопросы искровой обработки. В составе ЦНИЛЭлектрома АН СССР был ряд лабораторий, конструкторское бюро и опытно-экспериментальный завод. Готовились научные кадры через аспирантуру, в том числе и для зарубежных стран.

Б. Р. Лазаренко был назначен заместителем академика-секретаря Отделения технических наук в 1955 г. В этом же году был командирован в КНР (см. рис. 4) советником при Президиуме АН КНР. В Китае об открытии Б. Р. и Н. И. Лазаренко хорошо знали и рассчитывали с его помо-

стью освоить метод искровой обработки на китайских предприятиях. Однако руководство ЦНИЛ-Электромом во время годичной поездки в Китай Б. Р. Лазаренко оставил за собой, а руководство лабораторией в его отсутствие осуществлял Б. И. Золотых.

После своего возвращения из командировки в Китай вначале 1958 г. Б. Р. Лазаренко с большим упорством и настойчивостью руководил работами по совершенствованию и внедрению метода искровой обработки в промышленное производство. В это время у Б. Р. Лазаренко появились новые идеи применения электричества во благо народа, например, применение электричества в биологии, совместное сотрудничество с академиком Н. Д. Девятковым (см. рис. 4). Эти идеи были также озвучены на выездном заседании бюро Отделения технических наук президиума АН СССР, на котором присутствовали известные академики А. Л. Благонравов, С. А. Христианович, С. С. Стекин, А. А. Артоболевский, В. А. Трапезников и др. После ознакомления с работами ЦНИЛЭлектрома академики отметили перспективность работ её сотрудников, необходимость пропаганды работ лаборатории.

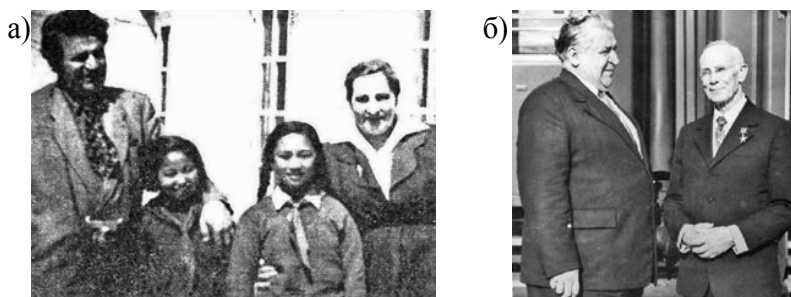


Рис. 4. Б. Р. Лазаренко в командировках: а – в Китае, г. Пекин; б – с академиком Н. Д. Девятковым в НПО «Исток», г. Фрязино

И всё было бы хорошо в становлении и развитии «русского метода», судьбе и жизненном пути супругов Лазаренко. Использование потока электронов в качестве своеобразного «сверхтвёрдого» режущего инструмента позволило совершенно по-новому решать многие вопросы, связанные с технологией обработки самых различных материалов [3]. Однако в мае 1959 г. в период своего правления СССР представитель «нашей» элиты на высшем партийном уровне государственный деятель Н. С. Хрущёв выдвинул предложение о реорганизации АН СССР путём раздробления на несколько академий. Итог: реформа Отделения технических наук и передача части учреждений в систему промышленности. Все промолчали. Также промолчали, когда он вне всяких юридических, исторических обоснований оторвал от России Крым.

К этому времени изданные Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко работы стали настольными для тех, кто посвятил себя изучению и исследованию на практике принципиально нового метода обработки материалов: 1) Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. Электрическая эрозия металлов. Вып. 1. М.: Госэнергоиздат, 1944. 28 с.; 2) Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. Физика электроискрового способа обработки металлов. Вып. 1. М.: ЦБТИ; МЭП СССР, 1946. 70 с.; 3) Б. Р. Лазаренко. Физические основы электроискровой обработки металлов / Вестник АН СССР 1959, № 6. С. 49-56.

В 1960 г. по работам, посвящённым электроискровому методу, была организована тематическая выставка на ВДНХ СССР в павильоне «Космос», которая прошла с большим успехом. Особый научный и практический интерес вызывали книги сотрудников ЦНИЛЭлектрома: 1) Б. И. Золотых. Физические основы электроискровой обработки металлов, Гостехтеориздат, 1953. 108 с. 2) Электроискровая обработка металлов. Вып. 1 / ред. Б. Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 228 с. 3) Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 184 с. 4) Проблемы электрической обработки материалов / ред. Б. Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 248 с. 5) Электроискровая обработка металлов. Вып. 2 / ред. Б. Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 264 с.

В первом сборнике трудов ЦНИЛЭлектрома впервые в мировой науке приведены систематические результаты исследований и обобщений в области электроискровой обработки материалов – новому виду применения электричества. В сборнике представлена статья Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко «Современный уровень развития электроискровой обработки металлов и некоторые научные проблемы в этой области», где предлагаются проблемы для решения вопросов автоматизации процесса искровой размерной обработки, а также разработки новых способов легирования металлических поверхностей. Впервые представлена статья Н. И. Лазаренко



по ЭИЛ металлических поверхностей «Изменение исходных свойств поверхности катода под действием искровых электрических импульсов, протекающих в газовой среде», где указывается на необходимость дальнейшего исследования физико-химических процессов на поверхности электродов при действии электрических разрядов. Ставилась задача о разработке механизированного, а также бесконтактного ЭИЛ. Следует отметить, что поставленные Н. И. Лазаренко задачи до сих пор продолжают вызывать научный интерес и являются предметом современных исследований. В одной из книг была представлена также статья И. З. Могилевского, С. А. Чеповой «Металлографические исследования поверхностного слоя стали после электроискровой обработки», которая до сих пор служит образцом исследования структуры легированного слоя: в ней впервые показано, что «между нанесённым покрытием и основой происходит взаимная диффузия компонентов». Особый интерес представляет статья Б. Н. Золотых «О физической природе электрической обработки металлов». В итоге своих исследований автор приходит к выводу, что «в процессе эрозии доминирует нестационарный процесс распространения тепла от плоских источников тепла, образовавшихся под действием разряда на поверхности электродов» и предложена качественная модель механизма процесса эрозии в импульсном разряде.

Во втором выпуске результатов исследований сотрудников ЦНИЛЭлектром обращает внимание статья Н. И. Лазаренко «Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами», где представлены результаты исследований физико-химических и эксплуатационных свойств материалов после ЭИЛ: твёрдости, износостойкости, качества поверхности (шероховатость и микрогеометрия), растяжения, прочности слоя, коррозионной стойкости, жаростойкости, электрических свойств. Показана перспективность применения метода ЭИЛ в народном хозяйстве.

Успехи в освоении нового метода в промышленности СССР Б. Р. и Н. И. Лазаренко и их коллег в развитии искровой обработки в разных странах мира не остались незамеченными. И в 1960 г. АН СССР выдвинуло их работу на соискание Ленинской премии. Однако Б. Р. Лазаренко решительно отказался не только возглавить «авторский коллектив», но также отклонил свою кандидатуру из состава группы. Он объяснил это тем, что, во-первых, он во время командировки в Китай отошёл от дел, связанных с этой работой, и, во-вторых, надо давать дорогу молодым. Однако близкие к Б. Р. Лазаренко понимали, что причина была в том, что в составе соискателей значились «свои» люди, которые, наоборот, тормозили развитие метода искровой обработки материалов. С ростом популярности научных и практических работ резко возросло противодействие со стороны сотрудников Минстанкопрома – такой перспективный метод должен быть в их владении, слава и почёт должны доставаться только им.

Б. Р. Лазаренко и его единомышленники всячески отстаивали преимущества нового метода обработки материалов лаборатории ЦНИЛЭлектром.

Но главный удар по ЦНИЛЭлектром и институтам технического профиля был нанесён с самой высокой иерархической лестницы СССР – первым секретарём ЦК КПСС Н. С. Хрущёвым, пишет Георгий Батухтин [2]. В мае 1959 г. на высшем партийном уровне Н. С. Хрущёв выдвинул предложение о реорганизации АН СССР путём её раздробления на несколько академий. Итог известен: реформа Отделения технических наук и передача части учреждений в систему промышленности и народного хозяйства.

От академика-секретаря Отделения технических наук А. В. Топчиева Б. Р. Лазаренко узнал о передаче ЦНИЛЭлектрома в Минстанкопром, в состав ЭНИМСа – извечного противника его метода. Протесты председателя научного Совета АН СССР по проблеме «Новые процессы получения и обработки металлических материалов» президента АН СССР академика Б. Е. Патона, а также координационного Совета по новым методам обработки материалов оборонных отраслей промышленности и других были игнорированы. И ЦНИЛЭлектром был разрушен в 1960 г. окончательно. Практически все научные сотрудники отказались переходить в ЭНИМС, в том числе и Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко. В этой сложной обстановке ему помог его давний товарищ, академик А. В. Топчиев, который стал вице-президентом АН СССР. Он предложил при формировании структуры образующейся в АН МССР в Кишинёве, создание института энергетики и автоматики во главе с Б. Р. Лазаренко. Это был трудный выбор для супругов Лазаренко, Борис Романович понимал, что в создавшейся обстановке другого пути нет и надо созидать в другом месте.

Уже позже Б. Р. Лазаренко на вопрос корреспондента журнала «Изобретатель и рационализатор» говорил: «Всеми странами признается наш приоритет, но мы потеряли превосходство по применению этого процесса. Мы отброшены на 4-5-е место. Вследствие деятельности ЭНИМСа в нашей стране нет современных станков для электроискровой обработки материалов. Мы начали

ввозить их из-за рубежа... Эти ошибки позволяют зарубежным странам брать наши достижения и очень скоро по уровню их развития и внедрения отбросят нас (страну) куда-то на 4-5-е место (где мы и находимся сейчас по электроискровой обработке металлов), а сами авторы изобретения пребывают в положении, вызывающем недоумение даже у наших иностранных коллег» [12].

В 1961 г. произошёл очередной конфликт и очередная угроза Н. С. Хрущёва – распустить академию наук. Президент АН СССР академик А. Н. Несмеянов (см. рис. 5) вынужден был ответить: «Ну что же, Пётр Великий открыл академию, а вы её закрываете» [1]. Итог: великий русский учёный-организатор науки президент АН СССР, основатель ВИНТИ РАН, академического института ИНЭОС РАН, академик А. Н. Несмеянов в этом же году был освобождён от обязанностей президента.

В 1961 г. состоялось открытие Молдавской АН, академиками АН Молдавской ССР стали некоторые известные учёные, в том числе и Б. Р. Лазаренко. Для Бориса Романовича начался новый этап жизни после разрушения его детища ЦНИЛЭлектрома и московского этапа жизни. Позже он писал: «Здесь, в Молдавии, меня больше всего привлекает научная молодёжь. Люди, поистине жаждущие знаний, преданные своему делу, с поразительным упорством преодолевающие крутые ступени науки – они действительно заслужили того, чтобы отдать им без остатка все свои знания, весь свой опыт, всё, что честный учёный обязан оставить людям» [12]. В этом же 1961 г. после избрания Б. Р. Лазаренко академиком АН МССР, он был утверждён директором Института энергетики и автоматики АН МССР. По воспоминаниям сотрудников института, Б. Р. Лазаренко вошёл в новый коллектив «как-то очень органично и удивительно легко» [12]. Для Б. Р. Лазаренко наступил новый этап «созидания» (см. рис. 1). Как писал академик АН МССР Т. И. Малиновский: «Огромная заслуга Бориса Романовича Лазаренко состоит именно в том, что он сумел объединить столь разные по своему характеру лаборатории. И не просто объединить, но и организовать работу так, чтобы учёные этих лабораторий постоянно друг друга обогащали, взаимно питали интересными идеями» [12].

Вторая важная задача Бориса Романовича состояла в создании опытного завода с целью создания уникальных приборов, которые не выпускаются ни в СССР, ни за рубежом (в этом деле Борис Романович был блестящим «асом» и новатором), а также установок для ЭИЛ. Кроме того, завод должен был выпускать опытно-промышленные образцы задуманных учёными разработок. И в конце концов Б. Р. Лазаренко создал опытный завод и при нём конструкторское бюро, которое конструировало и выпускало новые установки для ЭИЛ.

Удивительно, в некогда отсталой в техническом и научном плане республике появился Институт прикладной физики, который получил не только общесоюзную известность, но и международную. В короткий срок был совершён скачок к вершинам науки в области принесения науки в промышленность и сельское хозяйство. Образовался круг единомышленников: академик М. К. Болога (см. рис. 5), академик Т. И. Малиновский, академик Д. В. Гицу, академик А. М. Андрияш, член-корреспондент В. А. Коварский, академик С. И. Радауцан, А. А. Монаков и ряд других известных учёных: А. В. Рыбалко, А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, А. М. Парамонов, И. Т. Гроза, А. И. Михайлюк, С. П. Фурсов, Б. И. Савицкий.



Рис. 5. Президент АН СССР академик А. Н. Несмеянов, академик Б. Р. Лазаренко, академик М. К. Болога, директор НИИ М. М. Фёдоров, известный учёный-электроискровик, лауреат Ленинской премии кандидат технических наук Б. И. Ставицкий

В конце 1962 г. непослушание АН привело к конфликту и угрозе Н. С. Хрущёва вообще распустить АН. «...Мы разгоним к чертовой матери Академию наук», – заявил 11 июля 1964 г. первый секретарь ЦК КПСС Н. С. Хрущёв [2].



В конце 1964 г. в Кишинёве состоялась первая Всесоюзная конференция по электроискровой обработке металлов, в которой участвовали представители 192 организаций, находящихся в 60 городах России. Присутствовал главный теоретик искровой обработки Б. Н. Золотых, а также известные учёные А. Н. Меркурьев, А. И. Круглов и др. Выводы многих учёных – научный центр по ЭИЛ переместился в г. Кишинёв.

Программа работ института постепенно вызревала, и её стержнем стали области новых применений электричества. В связи с этим в 1965 г. Институт энергетики и автоматики был преобразован в Институт прикладной физики, а Борис Романович был утверждён его директором. В этом же году под редакцией Б. Р. Лазаренко вышел в свет первый номер научного и производственно-технического журнала АН МССР «Электронная обработка материалов», который вскоре стал популярным не только в СССР, но и за рубежом.

Благодаря усилиям Н. И. Лазаренко, поддержке академика А. А. Благонравова, директора НИИ-160 М. М. Фёдорова до 1965 гг. был этап становления и интенсивного развития в СССР новейших электроискровых технологий, «который, однако, сопровождался постоянным противодействием “недоброжелательных сил”» [12].

Велика роль Б. Р. Лазаренко в организации международных симпозиумов по электроискровой обработке. Была создана, по существу, неформальная научно-техническая организация, призванная способствовать широкому распространению метода во многих странах. Борис Романович способствовал развитию электродного материаловедения, которое развивалось в г. Киеве под руководством члена-корреспондента Г. В. Самсонова, с которым он встречался неоднократно, и по этому поводу они оказались единомышленниками после одной из встреч в Киеве в 1971 г.

В 1976 г. Б. Р. Лазаренко организовал и провёл первую конференцию по ЭИЛ, на которой была принята развёрнутая программа по дальнейшему развитию и внедрению метода. В 1977 г. в Швейцарии состоялся международный симпозиум по электроискровой обработке. Б. Р. Лазаренко не желал поездки на конференцию, но президент АН МССР, академик Я. С. Гросул, настоял на его поездке, в составе делегации были также Н. И. Лазаренко и Б. Н. Золотых. В докладе Б. Р. Лазаренко, который синхронно переводился на ряд языков, отмечалось, что в области электроэрозионной обработки сделаны лишь первые шаги. «Он побывал на заводах, выпускающих электроискровые станки, которые поставляют “практически вся Европа, Австралия, Америка – так сказал представитель фирмы, короче, и старый, и новый свет”. При этой встрече он был взволнован и с трудом сдерживал возбуждение. Мысли уходили в далёкую пору, в заснеженный Свердловск, в крохотную лабораторию, которая подарила миру то, без чего не мыслят созидать ни старый, ни новый свет» [3].

Он всегда был недоволен тем, что наши учёные разрабатывают новые технологии, которые либо не внедряются в производство, либо внедряются с большим трудом: «Парадокс получается, друзья мои. Там принимают, как говорится, на “ура”, а мы бьёмся над проблемой внедрения. Вернёмся – непременно в Комитет по науке и технике пойдём» [3].

В 1979 г. Б. Р. и Н. И. Лазаренко встречали последний раз Новый год в Москве, он ещё раз побывал в Москве в президиуме АН СССР, Госкомитете по науке и технике. В августе 1979 г. не стало Б. Р. Лазаренко, организатора науки и великого человека... А институт (см. рис. 6), созданный Б. Р. Лазаренко, в основе деятельности которого были его идеи, постулаты и наставления, продолжал успешно работать. Директором стал член-корреспондент, будущий академик М. К. Болога – ученик Б. Р. Лазаренко.



Рис. 6. Здание Института прикладной физики АН Молдовы (а);
памятная марка, посвящённая Б. Р. Лазаренко (б)

С именем Б. Р. Лазаренко связано рождение и становление научной школы в Молдавии. После его смерти Институт прикладной физики продолжал успешно трудиться, многие его работы снискали общесоюзную и мировую известность. Казалось, что созидательная деятельность Бориса Романовича на этот раз становилась успешной для страны. Но получилось, что методу обработки материалов Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко и их новому подходу, идеям использования электричества не стало места на постсоветском пространстве...

Если искровая обработка материалов была предложена в России, то теперь центры по её изучению, использованию метода переместились в новые государства – Молдову, Украину. А сегодня и в названных государствах это направление исследований практически не развивается из-за развала науки и промышленности. Снижение темпа развития исследований по электрофизическим методам обработки привело к тому, что Россия в настоящее время закупает оборудование, созданное на основе метода Б. Р. и Н. И. Лазаренко, за рубежом.

Как видно из рисунка (см. рис. 7), процесс созидания длительный, а разрушения – скоротечен. Хотя процесс разрушения имеет свою длительную предысторию. На рис. 7 отмечено пять этапов изменения вектора развития «метода Лазаренко»: 1) «Этап Лазаренко». Рождение метода ЭИЛ, его развитие, создание академического центра в России – ЦНИЛЭлектрома. 2) «Этап удара по научному центру ЭИЛ». Перевод ЦНИЛЭлектром в промышленность. 3) «Этап Лазаренко и его учеников». Рождение нового научного центра в СССР по ЭИЛ в г. Кишинёве, выпуск установок ЭИЛ, создание академического журнала. 4) «Этап начала развала СССР». Снижение финансирования науки в России, бывших республиках, уничтожение всесоюзного центра по ЭИ обработке. Осталось несколько лаборатории по исследованию метода. 5) «Этап реструктуризации науки в России».

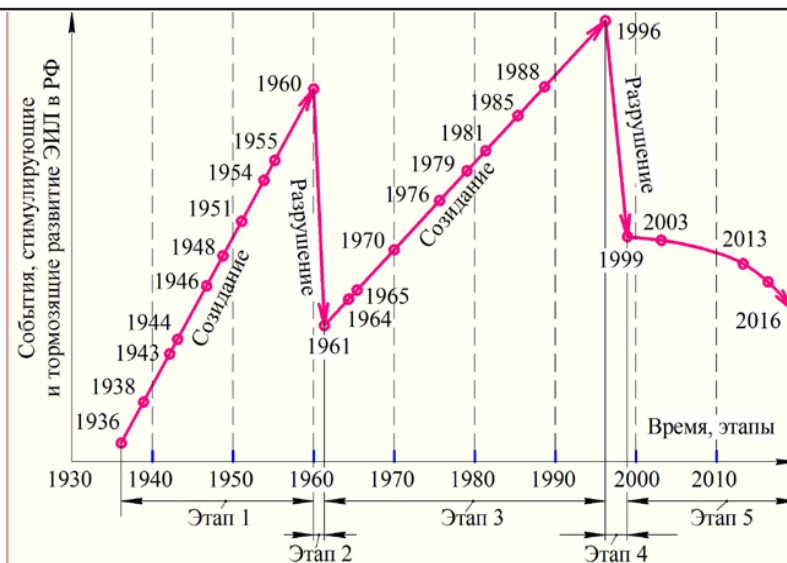


Рис. 7. Этапы изменения вектора развития метода Б.Р. Лазаренко в России

Процесс разрушения науки и практики электроискровой обработки относится к типичным для России открытиям и изобретениям её учёных. К упомянутым профессором Л. Грэхэм случаям открытий и изобретениям в России [10], которые не получили должного развития и применения, можно отнести не только открытие Б. Р. Лазаренко, но и процесс сварки, порошковой металлургии и другие открытия.

Тем не менее в России в период с 1981 г. основались и работают по настоящее время три школы искровой обработки материалов. Две школы в Москве, одна из которых создана под руководством доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова на базе государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинотракторного парка», другая – под руководством доктора технических наук, профессора Е. А. Левашова на базе Московского института сталей и сплавов. Третья школа стала формироваться на Дальнем Востоке с 1981 г. одним из учеников и последователей Б. Р. Лазаренко – доктором технических наук, профессором А. Д. Верхотуровым [5; 7; 8]. Уехав на Дальний Восток и основав сперва отдел физико-химии неорганических материалов, потом институт машиноведения и металлургии, а позже институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, А. Д. Верхотуров тем самым создал фундамент для продолжения изучения и развития метода ЭИЛ в Дальневосточном регионе – школу для воспитания поколения новых ученых электроискровой обработки нашего времени. Под его руководством были защищены 16 кандидатских и 7 докторских диссертаций, научные исследования которых отражают фундаментальную и прикладную сущность метода электроискровой обработки металлов и сплавов и создание новых материалов.

В ноябре 1985 г. в Кишинёве состоялась Всесоюзная научная конференция, посвящённая 75-летию со дня рождения Б. Р. Лазаренко, присутствовали учёные практическим со всех научных центров, а также из-за рубежа. Выступая на конференции, М. К. Болога, директор Института прикладной физики АН МССР отметил, «прежде всего, “оригинальность и зоркость мысли” – именно эти ярко выраженные качества характеризуют Б. Р. Лазаренко, прежде всего – учёного». М. К. Болога отметил основную гипотезу Бориса Романовича: «нет физических явлений вредных, а есть недостаточно изученные», что послужило открытием принципиально нового метода обработки металлов. Именно эта гипотеза привела учёного к его замечательному открытию, именно такой тип научного мышления обеспечил использование электричества в принципиально новом качестве и в новых областях [12].

В свое время Н. И. Лазаренко успешно осуществила легирование трущихся пар для луноходов. Проведённые исследования показали, что только пары, обработанные электрическими искровыми разрядами, работают с гарантированной надёжностью и долговечностью. Так что на Луне с 17 ноября 1970 г. уже находятся изделия (Луноход-1; Н. И. Лазаренко, О. М. Еган, В. П. Разумов), детали которых изготовлены с применением ЭИЛ [13] (см. рис. 8, а).

Метод электроискровой обработки также нашёл успешное применение на Комсомольском-на-Амуре авиационном заводе им. Ю. А. Гагарина (КнААЗ ПАО Компании «Сухой») (см. рис. 8, в).



Рис. 8. Примеры авиакосмической техники, некоторые детали которой были изготовлены с использованием метода ЭИЛ: а – Луноход-1, 1970 г.; б – Буран, 1988 г.; в – самолёт компании «Сухой»

Ещё один центр по внедрению ЭИЛ в авиационные и космические технологии был организован в Научно-исследовательском институте авиационной технологии (НИИАТ), где под руководством В. А. Снежкова были развёрнуты исследования и разработки технологии для упрочнения и восстановления деталей авиационных агрегатов методом ЭИЛ, создания универсального и специализированного автоматизированного оборудования для осуществления этих технологий, а также использования ЭИЛ в космических изделиях, в том числе на деталях корабля «Буран» [4], совершившего 15 ноября 1988 г. свой первый и единственный космический полёт (см. рис. 8, б).

В настоящее время Дальний Восток становится площадкой развития стратегически важных отраслей России, местом развития ее приоритетных направлений от недр земли до космоса: авиационное и судостроение, строительство крупнейших в мире газоперерабатывающего комплекса и космического центра – космодрома «Восточный». В этой связи одной из первоочередных фундаментально-прикладных задач ЭИЛ является повышение надёжности работы деталей машин, узлов и механизмов новой и сложной техники, особенно космической, условия эксплуатации которой предъявляют жёсткие требования к новым материалам.

По нашему мнению, дальнейшее развитие метода будет связано с решением ряда следующих задач: 1) Упрочнение деталей авиационно-космической техники в эпоху информационно-космической цивилизации, ЭИЛ в космосе. 2) Создание банка данных по ЭИЛ. 3) Создание механизированного оборудования, испытательного стенда ЭИЛ. 4) ЭИЛ в вакууме, азоте, инертных газах. 5) Создание ЭИЛ-покрытий с градиентным распределением свойств, в том числе послойных, комбинированных. 6) Разработка новых электродных материалов. 7) Изучение физической сущности, разработка физико-технологических основ ЭИЛ и, в первую очередь: Fe, Ti, Al и их сплавов, тугоплавких соединений. 8) Автоматизация, компьютеризация, моделирование процесса ЭИЛ. 9) Организация академического центра по ЭИЛ.

Решение этих и других задач потребует проведения научных исследований не только на земле, но и в космическом пространстве, что может и должно являться новым этапом в развитии и возрождении, вероятнее всего на Дальнем Востоке, учения об электроискровой обработке материалов поколением учеников и последователей выдающегося ученого Б. Р. Лазаренко, и для этого требуется создание общероссийского центра, поддержка академии наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александр Николаевич Несмеянов: учёный и человек / АН СССР; отв. ред. М. И. Кабачник. – М.: Наука, 1988. – 423 с.
2. Батухтин, Г. Никита Хрущёв: «мы разгромим к чёрту Академию наук» / Г. Батухтин; 12.08.2013. – Режим доступа: <http://ronsslav.com/georgiy-batuhtin-nikita-hrushhev>.
3. Беленький, Б. А. И повторить себя в учениках / Б. А. Беленький. – Кишинёв: Штиинца, 1988. – 253 с.
4. Верхотуров, А. Д. Борис Романович Лазаренко – автор выдающихся открытий в технике XX века. Учёный и организатор науки (к 100-летию со дня рождения) / А. Д. Верхотуров, А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов // Электронная обработка материалов. – 2011. – № 47 (1). – С. 116-147.
5. Высокоэнергетическое локальное воздействие на вольфрамсодержащие материалы и металлы (к 100-летию со дня рождения Б. Р. Лазаренко) / А. Д. Верхотуров, П. Г. Гордиенко, В. А. Достовалов, Л. А. Коневцов, Е. А. Панин. – Владивосток: Изд-во ДФУ, 2012. – 472 с.



6. Верхотуров, А. Д. Влияние вторичной трибоструктуры на работоспособность твёрдосплавного режущего инструмента с металлическими электроискровыми покрытиями / А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева, Л. А. Коневцов // Учёные записки КнАГТУ Науки о природе и технике. – 2014. - № I-1(17). – С. 62-72.
7. Электроискровое и комплексное упрочнение поверхности титана / А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева, Л. А. Коневцов, В. М. Панашенко // Учёные записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2014. – № I-1(17). – С. 73-87.
8. Роль воздуха в контактных процессах резания металлов / А. Д. Верхотуров, Ф. Я. Якубов, В. Я. Ким, Л. А. Коневцов, Ч. Ф. Якубов // Учёные записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2014. – № III-1(19). – С. 64-72.
9. Голованов, А. В. Соперники резца / А. В. Голованов. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
10. Грэхэм, Л. Вам нужно молоко без коровы / Л. Грэхэм // Аргументы недели. – 23.07.2016. – № 24 (515). – С. 6.
11. Зиновьев, А. А. На пути к сверхобществу / А. А. Зиновьев. – М.: ЗАО Изд-во Центрполиграф, 2000. – 638 с.
12. Ставицкий, Б. И. Из истории электроискровой обработки материалов / Б. И. Ставицкий. – Харьков: ЧФ «ЦентрИнформ»; ПРАТ «Полиграфсервис», 2013. – 104 с.
13. Ставицкий, Б. И. Из истории электроискровой обработки материалов / Б. И. Ставицкий // Металлообработка. – 2007. – № 5. – С. 60-65.
14. Ципко, А.С. Кому и чему служит миф «о коммунистическом инстинкте» русского человека? / А. С. Ципко // Наука и жизнь. – 2011. – № 5. – С. 35-44.

ФЛОТ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ
FLEET AND SHIPBUILDING

Тарануха Н. А., Миронов А. С.
N. A. Taranukha, A. S. Mironov

**ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ
ДЛЯ РАБОТЫ НА ШЕЛЬФЕ**

**OVERVIEW AND CLASSIFICATION OF PERMANENT OFFSHORE PLATFORMS
FOR SHELF WORKING**

Тарануха Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Mr. Nikolay A. Taranukha – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Shipbuilding Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str.; tel. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Миронов Андрей Сергеевич – студент-магистр направления 26.04.02 – Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mironswim@mail.ru.

Mr Andrey S. Mironov – Master's Degree Student major in shipbuilding, ocean engineering and system engineering of naval infrastructure (26.04.02), Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str. E-mail: mironswim@mail.ru.

Аннотация. Данная статья посвящена стационарным морским платформам для работы на шельфе. Представлен рисунок-схема, показывающий классификацию стационарных морских платформ (СМП) по группам. В рисунке-схеме описаны типы СМП по способу их крепления к морскому дну. Приведена схема действия нагрузок на разные узлы конструкции упругих СМП. Представлены рисунки различных видов конструкций СМП.

Summary. This article is dedicated to permanent offshore platforms for shelf working. The authors present the schematic diagram that indicates group classifications of permanent offshore platforms. The diagram describes types of permanent offshore platforms according to their attachment to the seabed. The article introduces the scheme of load action on various mounts in elastic permanent offshore platforms and drawings of various permanent offshore platforms.

Ключевые слова: стационарные морские платформы; жесткие СМП; упругие СМП; рисунок-схема; свайные; гравитационные; гравитационно-свайные; опорный блок; упругие башни.

Key words: permanent offshore platforms; tough permanent offshore; elastic permanent offshore platform; schematic diagram; piled; gravitational; gravity-piled; holding block, elastic tower.

УДК 69.04

Введение

Стационарные морские платформы представляют собой наиболее развивающуюся и многочисленную группу гидротехнических сооружений для освоения шельфа. Самое главное, что они предусмотрены для долговременной эксплуатации – бурения скважин, добычи, переработки и хранения нефти и газа [1].

Стационарная морская платформа (СМП) – морское нефтегазопромысловое сооружение. Оно состоит из опорного основания, которое зафиксировано на все время использования на грунте и верхнего строения. На верхнем строении платформы устанавливается буровое, нефтегазопро-

мысловое и вспомогательное оборудование, которое обеспечивает бурение и подготовку скважин, добычу газа и нефти, а также оборудование и системы для других видов работ, связанных с разработкой новых нефтяных и газовых месторождений в море (оборудование для закачки воды в пласт, капитального ремонта скважин, средства автоматизации морского промысла, оборудование и средства автоматизации по транспорту нефти, средства связи с береговыми объектами и т.п.). Период эксплуатации СМП на месторождении в среднем равен 25 годам [3].

За последние годы предложен и осуществлен ряд новых типов конструкций СМП по освоению морских месторождений на континентальном шельфе [2].

Классификация морских стационарных платформ [4]

При разработке морских шельфовых месторождений два главных определяют направление работ в области проектирования и строительства гидротехнических объектов в море. Такими факторами являются ограничения, накладываемые условиями окружающей среды, и высокая стоимость морских операций. Они в основном обуславливают все решения в проектировании и конструировании СМП, выборе оборудования, способов строительства и организации работ в данной акватории моря.

Условия окружающей среды и принятая для стационарной платформы схема разработки определяют ее конструкцию.

Условия окружающей среды определяют следующие факторы: глубина моря, волновые, ветровые, сейсмические и ледовые нагрузки, морские течения, физико-механические свойства грунтов, слагающих дно в месте установки платформы. Этими природными факторами и определяются нагрузки на платформу и их конструктивное решение [4].

СМП разделяют на две группы: глубоководные и обычные конструкции, приняв глубину моря 300 м, выше которой все конструкции следует считать глубоководными [4].

На начальном этапе классификации СМП делят на жесткие и упругие (см. рис. 1). Такое деление отражает особенности конструкции платформы (размеры, конфигурацию) и указывает период собственных колебаний, который у жестких составляет 4-6 с и упругих превышает 20 с, а в отдельных случаях достигает 138 с.



Рис. 1. Классификация глубоководных СПМ

На следующем этапе конструкции жесткого типа классифицируют по способам обеспечения их устойчивости под воздействием внешних нагрузок. Различают гравитационные, свайные и гравитационно-свайные.

Конструкция гравитационного сооружения не сдвигается относительно морского дна благодаря собственной массе, а свайное – не смещается из-за крепления его сваями к морскому дну. Гравитационно-свайные сооружения не сдвигаются благодаря собственной массе и системе свай.

Третий этап классификации жестких СМП характеризует материал конструкции: бетон, сталь или бетон-сталь.

На втором уровне упругие конструкции разделяют по способу их крепления на башни с оттяжками, плавучие башни и гибкие башни.

Благодаря системе оттяжек, понтонов и противовесов башни с оттяжками сохраняют свою устойчивость. Качающиеся башни подобно качающемуся маятнику возвращаются в состояние равновесия с помощью понтонов плавучести, расположенных в верхней части конструкции. Под действием волн гибкие башни отклоняются от вертикали, но при этом, как сжатая пружина, они стремятся возвратиться в состояние равновесия. Из-за небольшого числа проектов этих сооружений их классификация далее нецелесообразна [4].

Жесткие СМП

СМП свайного типа [5]

Термином «стержневые стационарные» называются платформы, имеющие три основных блока (или части): свайный фундамент, стержневая несущая конструкция и верхняя часть, которая собственно и является платформой, т.е. площадкой, на которой размещаются технологическое оборудование и помещения для обслуживающего персонала.

Свайный фундамент представляет собой погруженные в грунт сваи, которые устанавливаются в опорных точках. Сваи (по одной или несколько в опорной точке) служат фундаментами для опорных стержней.

Стержневая система представляет конструкцию, состоящую из несущих вертикальных или наклонных стержней, усиленных поперечными связями, обеспечивающих необходимую жесткость конструкции в целом.

Верхняя часть платформы представляет собой либо понтон, обладающий положительной плавучестью, либо ферменную или балочную конструкцию, имеющую настил, на котором размещаются оборудование, производственные и жилые помещения [5].

СМП гравитационного типа [7]

Гравитационные СМП – это платформы, удерживаемые на дне за счет собственного веса и связей нижней части платформы с грунтом основания.

Гравитационные СМП отличаются от металлических свайных СМП как по конструкции и материалу, так и по технологии изготовления, способу транспортировки и установки в море.

Районы применения СМП гравитационного типа обуславливаются, главным образом, мощными силовыми воздействиями на платформу, стремящимися сдвинуть или опрокинуть ее. Общая устойчивость гравитационных СМП при воздействии внешних нагрузок от волн и ветра обеспечивается их собственной массой и массой балласта, поэтому крепление их сваями к морскому дну не требуется. Использование платформ гравитационного типа возможно на прочных тяжелых грунтах, достаточных для надежного удержания платформы.

Гравитационные СМП состоят из двух частей: верхнего строения и опорной части. Опорная часть состоит из одной или нескольких колонн, изготавливаемых из железобетона.

Преимущества гравитационных СМП:

1) время установки на точке (около 24 ч вместо 7-12 мес., которые требуются для установки СМП свайного типа);

2) собственная плавучесть и наличие балластной системы позволяют буксировать их на большие расстояния и устанавливать их в рабочее положение на месте эксплуатации в море без привлечения дорогостоящих морских транспортных средств [7].

СМП гравитационно-свайного типа [6]

Гравитационно-свайные СМП удерживаются на месте установки за счет собственного веса конструкции и дополнительного крепления сваями их опорной части к морскому дну. СМП этого типа бывают различных конструкций, как по конфигурации сооружения, так и сочетанию применяемых материалов.

Конструкция опорной части состоит из центральной колонны большого диаметра, поддерживаемой тремя наклонными опорами. Колонны могут быть в виде сплошных металлических цилиндров больших диаметров или элементов ферменной конструкции. Например, в конструкции проекта «Трипод тауэр платформ» центральная колонна диаметром 15 м поддерживается тремя наклонными колоннами диаметром 8 м. Толщина стенок всех колонн 160 мм.

Центральные колонны и боковые наклонные опоры в средней части связываются горизонтальными элементами жесткости и раскосами. Конструкция СМП устанавливается на четыре донных фундамента, закрепленных сваями и связанных между собой А-образной стальной рамой.

В проекте «Хайлант» центральная ферма-опора укреплена тремя боковыми наклонными фермами. Сечение всех ферм треугольное. Каждый силовой элемент изготавливается отдельным блоком. Масса центральной фермы 10 тыс. т, опор – 4,5-5 тыс. т. На палубе предусматриваются установка технологического оборудования массой 24 тыс. т и 16 направляющих колонн диаметром 712 мм. Масса основных конструкций 31 тыс. т, свай – 20 тыс. т. Расстояние от основной центральной фермы до основания опор 110 м. Опоры крепятся к центральной ферме на глубине от 40 до 79 м ниже уровня моря. Конструкции могут применяться на глубинах моря: первая – от 150 до 460 м и вторая – от 200 [6].

Упругие СМП [7]

В отличие от конструкций жесткого типа у упругих СМП (башен) период основных собственных (поперечных) колебаний превышает период морских волн. Волновая нагрузка, действующая на башню, поглощается за счет инерции конструкции и не передается стержням фермы. Упругой башней называют относительно тонкую стальную пространственную ферму из стержней с довольно равномерным по высоте расстоянием между горизонтальными поясами.

К классу упругих платформ относят находящуюся в эксплуатации в Мексиканском заливе СМП «Лена». Ее конструкция представляет собой ферму квадратного сечения со стороной квадрата 36,6*36,6 м, высотой 320 м и массой 21 тыс. т. Верхнее строение платформы установлено на 16 опор диаметром 1220 мм. В нижней части башни имеется 12 таких опор. В пределах верхней половины башни размещены 12 понтонов диаметром 6,1 м, длиной 36,6 м, обеспечивающие 9100 т плавучести. Понтоны стабилизируют платформу, уменьшают давление на фундамент, значительно облегчают монтаж платформы и оттяжек.

Транспортировка платформы осуществлялась баржей длиной более 200 м, с которой был впервые осуществлен боковой спуск (на борт). Это позволило снизить на 3 тыс. т массу башни СМП и в 4 раза сократить время на спуск. На месте монтажа башни были установлены четыре оттяжки, которые после спуска башни на воду были присоединены к башне. После установки на место башня была закреплена восьмью основными сваями диаметром 1330 мм, которые проходят до палубного блока. По мнению специалистов фирмы «Эксон» такая система крепления платформы (четыре оттяжки и основные сваи) способна удерживать башню в вертикальном положении без верхнего строения при любых погодных условиях, случающихся один раз в 100 лет в Мексиканском заливе (высота волны 22 м, скорость ветра 58 м/с).

Затем к башне прикрепили 16 дополнительных оттяжек диаметром 127 мм, по наружному периметру в морское дно на глубину 30,5 м забивали шесть дополнительных торсионных свай диаметром 1900 мм. Оттяжки состоят из 292 спирально навитых гальванизированных стальных проволок, защищенных полиэтиленовой оболочкой, с разрывным усилием 13 мН. Длина каждой оттяжки от платформы до якоря 549 м. Каждый якорь состоит из нескольких звеньев, имеющих цепное соединение. При отклонении башни от вертикали под действием ветра, волн и течений частично приподнимаются звенья с морского дна. Верхнее строение башни трехпалубное размером

47,6×47,6 м и общей площадью 6970 м². На нем размещены две буровые установки для бурения до 58 скважин и жилые помещения для 140 человек. Верхняя палуба платформы расположена на высоте 35 м и нижняя 18,6 м от уровня моря. Общая масса опорной части башни и палубного верхнего строения составляет приблизительно 47 тыс. т. [7].

Используя опыт эксплуатации СМП «Лена», специалисты фирмы изучили шесть проектов глубоководных СМП, разработанных фирмой. Нагрузки от окружающей среды и гравитационные, действующие на СМП «Лена», распределяются на сваи, оттяжки, инерционность конструкции и понтоны (см. рис. 2).

Перераспределив эти нагрузки на перечисленные узлы конструкции, можно достичь оптимального варианта решения конструкции. Например, вес палубы можно передать на сваи или компенсировать подъемной силой понтонов. Понтоны, кроме этого, компенсируют горизонтальные силы, обеспечивая устойчивость платформы, уменьшают или полностью снимают нагрузки на оттяжки. Инерция основания увеличивает период боковых колебаний, снижает их амплитуду и соответственно снижает динамические нагрузки на оттяжки и сваи.

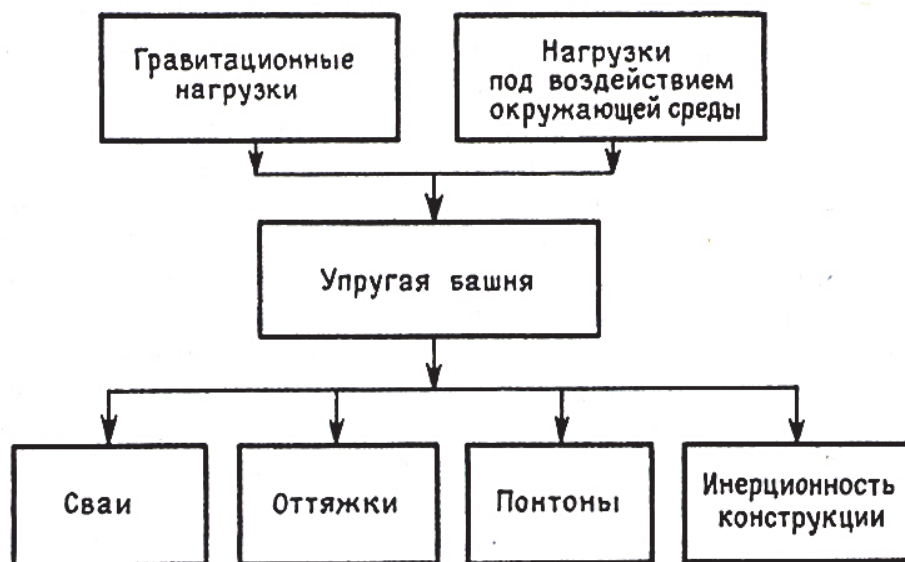


Рис. 2. Схема распределения нагрузок между основными элементами конструкции упругих башен

Разница в вариантах проектов упругих башен заключается в способах, которыми достигается заданный период колебаний, и определяется волновыми нагрузками, воздействие которых перераспределяется между основными элементами конструкции (см. рис. 3) [7].

Гибкая башня рассматривалась как вариант обычной свайной ферменной конструкции, у которой основание закреплено, а жесткость фермы уменьшена настолько, чтобы достигался большой период основных колебаний гибкого стержня.

Период вторичных колебаний должен быть небольшим, чтобы обеспечить стойкость к усталостным разрушениям. Под **периодом основных колебаний** гибкого стержня понимается период поперечных колебаний, а под периодом вторичных колебаний гибкого стержня — период изгибных колебаний [7].

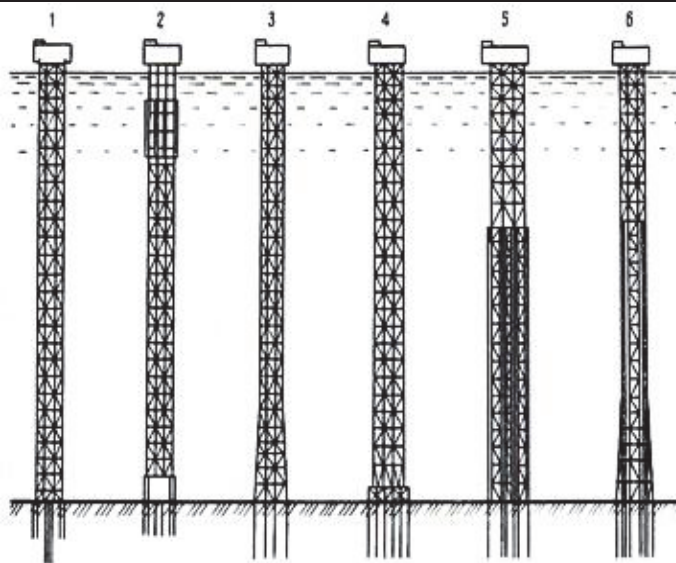


Рис. 3. Схемы упругих платформ: 1 – башня с оттяжками; 2 – плавучая башня; 3 – башня с оттяжками и жестким основанием; 4 – гибкая башня; 5 – упругая свайная башня; 6 – упругая свайная башня с жестким основанием

Заключение

- 1) В работе описаны характеристики элементов стационарных морских платформ для работы на шельфе.
- 2) Представлена классификация стационарных морских платформ по типу конструкции и периоду собственных колебаний.
- 3) Приведены и описаны виды жестких и упругих стационарных морских платформ по типу их крепления к морскому дну.
- 4) Приведены и описаны примеры эксплуатации стационарных морских платформ, которые ведут добычу углеводородов на шельфе.

ЛИТЕРАТУРА

1. moluch.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://www.moluch.ru/conf/tech/archive/3/660/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
2. rig-s.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://rig-s.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
3. neft-gazedu.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://neft-gazedu.ru/index.php/lektsii-osvoenie-shelfovykh-mestorozhdenij/103-klassifikacija-morskih-stacionarnyh-platform>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
4. knowledge.allbest.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/geology/3c0b65625a3bc68a4c43a89421316c26_0.html, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
5. proofoil.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://proofoil.ru/Seaoilproduction/fixedplatform.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
6. helpiks.org [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://helpiks.org/1-113730.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.
7. lektsia.com [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://www.lektsia.com/1x2790.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.

Тарануха Н. А., Миронов А. С.
N. A. Taranukha, A. S. Mironov

ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАБОТЫ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

OVERVIEW AND CLASSIFICATION OF PERMANENT OFFSHORE PLATFORMS FOR WORKING IN ICE CONDITIONS

Тарануха Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Mr. Nikolay A. Taranukha – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Shipbuilding Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str.; tel. 7 (4217) 54-30-74. E-mail: taranukha@knastu.ru.

Миронов Андрей Сергеевич – студент-магистр направления 26.04.02 – Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mironswim@mail.ru.

Mr Andrey S. Mironov – Master's Degree Student major in shipbuilding, ocean engineering and system engineering of naval infrastructure (26.04.02), Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, 27 Lenin Str. E-mail: mironswim@mail.ru.

Аннотация. Данная статья посвящена стационарным морским платформам (СМП) для работы в ледовых условиях. Приведены проблемы создания сооружений для работы в ледовых условиях. Представлены рисунки ледостойких СМП по способу их крепления к морскому дну. Описана схема общего расположения ледостойкой тетраэдральной стационарной морской платформы.

Summary. This article is dedicated to permanent offshore platforms for working in ice conditions. The authors focus on creating constructions for working in ice conditions. The article presents drawings of ice-resistant permanent offshore platforms according to their attachment to the seabed. The article also describes the scheme of the general arrangement of the ice-resistant tetrahedral permanent offshore platforms.

Ключевые слова: ледовые условия; ледостойкие стационарные морские платформы; свайные; гравитационные; гравитационно-свайные, опорный блок, ледостойкая тетраэдральная стационарная морская платформа.

Key words: ice conditions; ice-resistant permanent offshore platform, piled; gravitational; gravity-piled; holding block, ice-resistant tetrahedral permanent offshore platform.

УДК 69.04

Введение

Большая часть морских запасов углеводородов на шельфе России находится в районах, которые практически круглый год покрыты дрейфующим льдом разной степени сплоченности и отличаются неблагоприятными метеоусловиями. Морская и береговая инфраструктуры в районах многих месторождений отсутствуют [2].

Главными проблемами при создании сооружений (технических средств) для проведения буровых работ при освоении месторождений на шельфе являются:

- глубина дна моря в районе месторождения (с увеличением глубины значительно, в несколько раз увеличивается стоимость сооружений);
- разработка конструкций и строительство ледостойких платформ (опор) [2; 3].

Тип ледостойких сооружений определяется их функциональным назначением, особенностью ледового режима региона, глубиной моря и конкретными условиями. Для одного и того же региона выбор типа сооружения определяется внешними условиями и, прежде всего, знанием ледовой обстановки на месте установки платформы [2].

Стационарными ледостойкими платформами могут называться такие шельфовые сооружения, архитектура которых определяется главным образом способностью воспринимать глобальные и локальные ледовые нагрузки при эксплуатации в ледовой обстановке различного типа (сплошной лед, припайный лед, дрейфующие льдины, дрейфующие торосистые образования и т.д.) [2].

Основными факторами для проектирования СМП в ледовых условиях являются:

- круглогодичная эксплуатация месторождения;
- долговечность (срок эксплуатации сооружения (20-30 лет));
- принятие отдельных технических решений для каждого случая, т.к. этого требуют природные условия различных районов Арктики.

Все вышеперечисленные факторы обуславливают создание надежных в работе СМП при различных сейсмических условиях, особенно при работе в ледовых условиях [3].

Применяются два принципа восприятия ледовых нагрузок: с помощью цилиндрических колонн, прорезающих лед, или колонн, имеющих конусность в районе эксплуатационной ватерлинии, достаточную для ломки льда изгибом, и с помощью наклонной плоскости (угол наклона к горизонту 50° - 70°) для восприятия нагрузки широким фронтом и ломки льда изгибом [2].

По способу опирания (крепления) к морскому дну ледостойкие СМП бывают гравитационные, свайные, гравитационно-свайные.

Ледостойкая СМП гравитационного типа [1]

Ледостойкая СМП гравитационного типа (см. рис. 1) представляет собой комбинированное сооружение, опорная часть которого состоит из фундаментной плиты, конусообразной колонны и несущей палубы.

Фундаментная плита и основание платформы представляют собой форму ячеистой конструкции, выполненную из монолитного железобетона. Размеры основания – $100 \times 80 \times 11$ м. Углы основания скошены для улучшения мореходных качеств платформы. Основание состоит из верхней и нижней горизонтальных плит, соединенных сплошными вертикальными переборками. Толщина плит и переборок – равномерная и колеблется в пределах 400-600-800 мм. Переборки выполнены из радиально расходящихся и пересекающих их сплошных кольцевых переборок. На дне основания расположены выступающие ребра-юбки (общая высота каждой – 1,5 м), состоящие из железобетонной части высотой 0,75 м и стального гофрированного листа, заделанного в железобетонный выступ. Служат юбки для нескольких целей:

- предотвращения размыва дна вокруг платформы;
- увеличения сопротивления скольжению;
- образования подводной выравнивающей постели путем заполнения пространства между днищем опорного блока и поверхностью дна моря цементным раствором [1].

Железобетонное основание платформы разделено переборками на ряд балластных отсеков. Ячейки внутри каждого из них сообщаются через проемы во внутренних переборках, что обеспечивает свободный переток воды в пределах отсека. Подводные трубопроводы и стояки подводятся и отводятся по двум горизонтальным туннелям, прорезающим переборки основания и соединенным с опорной колонной.

Основание платформы имеет массу 55000 т, что соответствует объему железобетона 22000 м^3 .

Опорная колонна выполнена из стального листа толщиной 32 мм. Изнутри ее корпус укреплен ребрами жесткости таврового сечения, расположенными вертикально вдоль колонны. Промежутки между тавровыми балками заполнены бетоном. Таким образом, обеспечиваются местная и общая прочность и жесткость колонны против действия ледовых нагрузок.

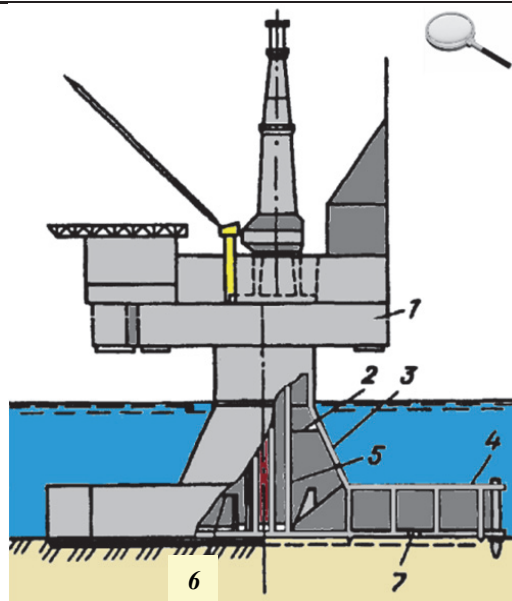


Рис. 1. Ледостойкая платформа гравитационного типа:
 1 – верхнее строение; 2 – внутреннее помещение;
 3 – подводная часть платформы; 4 – опорная часть платформы;
 5 – бурильное устройство; 6 – балластные отсеки;
 7 – опорная поверхность

В зоне действия льда колонна имеет цилиндрическую форму, а конусная часть расположена ниже этой зоны. Такое конструктивное решение необходимо из-за существующей реальной опасности смерзания льда с опорной колонны. В этом случае наклонные элементы не только полностью теряют свое назначение, но и становятся опасными, увеличивая зону контакта с ледовыми образованиями.

Несущая палуба выполнена из стальных элементов и имеет общую массу 3220 т. Палуба опирается на центральную колонну в четырех местах. Предусмотрена система ее выравнивания и уменьшения сопротивления горизонтальной срезающей нагрузке, действующей во время погружения и установки платформы на дно.

Общая масса колонны – 5900 т, в том числе стальных конструкций – 2200 т, а бетонных – 3700 т [1].

Ледостойкая СМП со свайным фундаментом [1]

Опорный блок платформы со свайным фундаментом состоит из четырех вертикальных цилиндрических колонн, жестко соединенных между собой стержневыми конструкциями (см. рис. 2). Две из колонн имеют наружный диаметр 15 м, в них размещены 24-25 буровых скважин. А две другие – 3-5 м, в них размещаются трубопроводы для забора морской воды, емкости для накопления сточных вод и т.п. Для предотвращения накопления льда расстояние между колоннами принято равным двум диаметрам (т.е. 30 м). Для усиления конструкции опорного блока и придания ему ледостойких характеристик приняты следующие решения:

- кольцевое пространство колонн в зоне действия льда, т.е. на уровне ± 10 м относительно отметки наименьшего астрономического отлива, заполнено бетоном;
- в зоне действия льда между колоннами отсутствуют жесткие связи;
- на уровне воды опорные колонны снабжены ледорезными устройствами;
- предусмотрен подогрев ледорезов для предотвращения накопления и смерзания колонн со льдом.

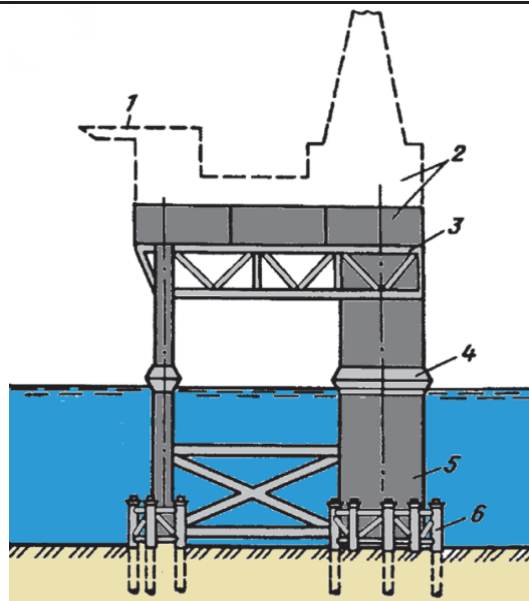


Рис. 2. Ледостойкая платформа свайного типа:
 1 – вертолетная площадка; 2 – буровая установка;
 3 – ферменная конструкция; 4 – ледорезное устройство;
 5 – подводная часть опоры; 6 – свайное крепление

Несущая палуба является интегральной (общей) частью опорного блока и рассчитана на работу в качестве системы жестких связей на верхней отметке платформы. Это обстоятельство обуславливает необходимость установки несущей палубы на опорный блок перед отгрузкой и переводом конструкции в плавучее состояние [1].

Ее рамная конструкция служит для размещения двух рядов модулей длиной 25 м и шириной 16 м, три модуля располагают под участком бурения.

Каждую из четырех колонн крепят ко дну моря четырьмя подводными юбочными сваями [1].

Ледостойкая платформа с комбинированным свайно-гравитационным фундаментом [1]

Одним из наиболее оптимальных вариантов свайно-гравитационных платформ является конструкция, представляющая собой стальной конический монопод на свайном основании с консольно-балочной несущей палубой (см. рис. 3). Между последней и конической частью опорного блока находится надводная цилиндрическая колонна с внешним диаметром 30 м. Нижняя часть монопода окаймлена снаружи круглым цилиндрическим свайным ростверком с наружным диаметром 70 м. В нем размещены 24 сваи. Кроме этого, имеется внутреннее кольцо из 12 свай, закрепленных по всей высоте монопода и надводного цилиндрического участка. Днище монопода для создания плавучести – сплошное, в связи с чем при детальном анализе рассматривают возможность использования несущей способности грунта под днищем при совместной работе со сваями.

Конструкции монопода на верхнем цилиндрическом и среднем коническом участках, а также нижнем цилиндрическом ростверке – радиально-кольцевые.

Наиболее целесообразной и экономичной конструкцией палубы, полностью соответствующей радиальному строению монопода, будет такая же радиально-кольцевая. Для этого блок-модули верхнего строения должны быть выполнены в виде секторов и сегментов в плане, иначе появится необходимость предусматривать для них опорные точки в соответствующих местах. Однако сделать и то, и другое затруднительно [1].

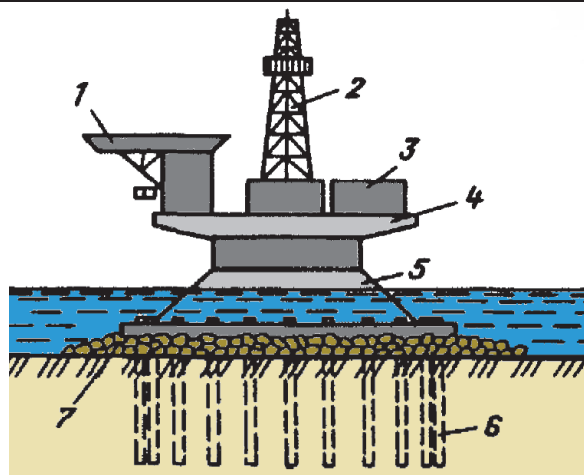


Рис. 3. Ледостойкая платформа с комбинированным гравитационно-свайным фундаментом: 1 – вертолетная площадка; 2 – буровая установка; 3 – служебные помещения; 4 – верхняя часть платформы; 5 – нижняя часть платформы; 6 – свайное крепление; 7 – подготовленное основание на дне

Для прямоугольных в плане блок-модулей наиболее приемлемой будет радиально-прямоугольное блочное строение, конструкция которого сложнее, чем радиально-кольцевая, из-за косых углов примыкания балок. Если же прямоугольное строение выполнить на верхнем уровне, а радиальное – на нижнем, то этот недостаток будет несколько сглажен. Такое решение повлечет за собой увеличение общей толщины несущего модуля, но обеспечит следующие преимущества:

- улучшится доступ к узловым соединениям и повысится ремонтпригодность элементов конструкций;
 - появится возможность для размещения на нижнем уровне балок емкостей и цистерн для хранения материально-технических запасов платформы и отходов бурения;
 - появится возможность для увеличения уклонов труб системы промышленных стоков.
- Платформа рассчитана на бурение одновременно 36 скважин двумя станками [1].

Ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы [4; 5]

Ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы состоит из стационарного кессона, образованного нижней донной и верхней опорной плитами, а также боковыми стенками. Общая конструкция ледостойкой тетраэдральной СМП показана на рис. 4. Стационарный стальной ледостойкий кессон выполнен в форме усеченного тетраэдра, нижняя донная плита 2 которого представляет собой равносторонний треугольник большего сечения, а верхняя опорная плита – треугольник меньшего сечения, на который опирается платформа для верхних строений 3. Вершина тетраэдра отсечена, и на ее месте расположена верхняя опорная плита. Высота, на которой необходимо отсечь вершину тетраэдра (собственно высота платформы), определяется путем суммирования следующих величин: глубины водоема и высоты волнения, характерных для данного месторождения (в данном регионе), плюс необходимый запас по высоте.

Боковые стенки 5 кессона устанавливаются с углом наклона относительно донной плиты 60° для исключения возможности возникновения изгибного разрушения конструкции в процессе эксплуатации и сброса льда с платформы в море [4; 5].

Такая конструкция платформы исключает резкий перепад сечения по высоте конструкции кессона. Треугольная форма ватерлинии обеспечивает платформе улучшенные мореходные качества в части сопротивления движению и устойчивости на курсе (в режиме буксировки). Уширение

книзу подводного объема корпуса тетраэдральной платформы обеспечивает ей улучшенные качества в части устойчивости на грунте.

Предлагаемая форма кессона в виде усеченного тетраэдра обладает лучшими характеристиками в части противостояния волновым, ледовым и ветровым воздействиям. При помощи «юбки» вся конструкция врезается в дно и происходит прочное закрепление платформы на грунте. Предлагаемая форма кессона обуславливает простоту изготовления, т.к. все конструкции плоские, и также значительно снижает материалоемкость [4; 5].

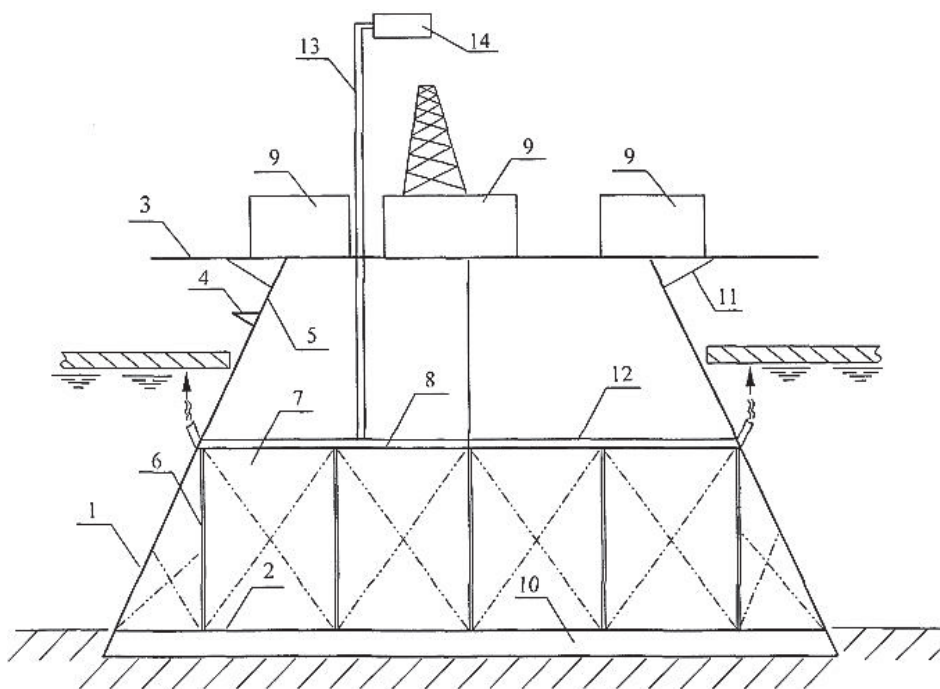


Рис. 4. Общая конструкция ледостойкой тетраэдральной СМП: 1 – стационарный кессон; 2 – нижняя донная плита; 3 – верхняя опорная плита (платформа для верхних строений); 4 – ледоломный козырек; 5 – наружная стенка (боковая); 6 – внутренняя переборка; 7 – резервуары для технологических жидкостей, продукции скважин, балласта; 8 – второе дно; 9 – функциональные блоки верхнего строения; 10 – юбка для предотвращения размыва грунта; 11 – кница; 12 – горизонтальная подогревающая труба; 13 – вертикальная труба; 14 – конструкция для освещения; 15 – набегающее поле льда

Защитные (от действия льда) свойства платформы усилены за счет естественного угла наклона стенок тетраэдра тем, что лед давит на стенки корпуса платформы практически всегда «не под прямым углом» и в вертикальной и горизонтальной плоскостях нижняя опорная плита имеет площадь, большую по сравнению с площадью верхней плиты.

Платформа для верхних строений 3 установлена на верхней опорной плите (на месте отсечения вершины тетраэдра) для размещения на ней функциональных блоков 9.

По всему периметру кессона с внешней стороны установлен ледоломный козырек 4. Он усиливает разлом льда 15 и препятствует «задиранию» льда до верхней опорной плиты, на которой формируется верхнее строение [4; 5].

Набегающее поле льда 15 разрушается от соприкосновения с боковыми стенками 5, которые расположены под углом 60°, а оставшаяся часть льда разрушается (разламывается) от соприкосновения с ледоломным козырьком 4.

Внутренний объем кессона используется для размещения цистерн главного балласта и цистерн хранения продукции скважин 7. Внутри кессона установлено второе дно 8, разделяющее внутреннюю полость кессона на два помещения. Между вторым дном 8 и нижней донной плитой

2 размещаются цистерны главного балласта, резервуары для хранения продукции скважин и технологических жидкостей. В нижнем помещении внутреннего объема кессона, для разделения резервуаров 7 между собой, установлены внутренние переборки 6 [4; 5].

Тетраэдральная ледостойкая СМП имеет возможность многократного использования. Улучшение эксплуатационных характеристик предлагаемой конструкции ледостойкой стационарной морской платформы обусловлено следующими факторами:

1) предлагаемой формой стационарного кессона, выполненного в виде усеченного тетраэдра, которая позволяет значительно снизить возможность возникновения изгибного разрушения конструкции во время эксплуатации;

2) предлагаемая форма кессона наиболее устойчива на грунте и, как следствие, способна лучше противостоять волновым, ледовым и ветровым воздействиям, вследствие чего мы получаем объект с улучшенными эксплуатационными характеристиками в части мореходности (при буксировке) и равномерности посадки на грунт;

3) усилением защитных свойств платформы от действия льда, что обусловлено тем, что угол наклона стенок по отношению к основанию составляет 60° , лед давит на стенки корпуса платформы практически всегда «не под прямым углом», нижняя донная плита имеет площадь, большую по сравнению с площадью верхней опорной плиты;

4) эффективным противостоянием конструкции предлагаемой платформы ледовым полям (т.е. разрезание ледовых полей и «задираание» льда наверх) и волновым воздействиям за счет установки ледоломного козырька [4; 5].

Улучшение технологических характеристик объекта достигается:

1) исключением необходимости в предварительном выравнивании дна под установку платформы благодаря тому, что в нижней части конструкции сформирована «юбка» треугольной формы, при помощи которой платформа врезается в дно, и происходит процесс самовыравнивания объекта на грунте;

2) простотой изготовления такой конструкции и снижением материалоемкости за счет того, что все элементы кессона плоские;

3) возможностью многократного использования платформы [4; 5].

Заключение

1) В работе описаны стационарные морские платформы для работы в ледовых условиях.

2) Рассмотрены и охарактеризованы ледостойкие стационарные морские платформы по способу крепления к морскому дну.

3) Описана ледостойкая стационарная морская платформа тетраэдральной формы.

4) Представлены факторы улучшения эксплуатационных и технологических характеристик тетраэдральной ледостойкой стационарной морской платформы.

ЛИТЕРАТУРА

1 proofoil.ru [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://proofoil.ru/Seaoilproduction/fixplatform.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.

2 helpiks.org [Электронный ресурс]: информационно-поисковая система. – Режим доступа: <http://helpiks.org/3-91256.html>, свободный. – Загл. с экрана. Яз. рус.

3 Ильина, С. В. Проблемы при выборе типа морской стационарной платформы для работы в ледовых условиях / С. В. Ильина // Технические науки в России и за рубежом: материалы междунар. заоч. науч. конф. – М.: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 86-91.

4 Пат. РФ № 2421572. Морская ледостойкая стационарная платформа / Н. А. Тарануха, С. В. Ильина, Н. И. Уваров; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «КнАГТУ»; заявл. 02.02.2010; опубл. 20.06.2011.

5 Ильина, С. В. Тетраэдральная форма кессона морской ледостойкой стационарной платформы / С. В. Ильина // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Изд-во «Грамота», 2013. – С. 83-84.



Ярополов В. А.
V. A. Yaropolov

СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ СКОРОСТНЫХ СУДОВ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

THE WAYS OF PREVENTING HIGH-SPEED SHIP COLLISIONS WITH OBSTACLES

Ярополов Валерий Алексеевич – старший преподаватель кафедры «Кораблестроение» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Mr. Valery A. Yaropolov – Senior lecturer, Shipbuilding Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur), 681013, 27 Lenin Str.

Аннотация. В статье рассматривается способ предотвращения столкновения скоростных судов с препятствиями и посадки на мель. Приводится решение проблемы путем мониторинга акватории водоёма для предупреждения удара о мель и генерации искусственной волны в носовой части судна для полной остановки судна.

Summary. This article discusses the method of preventing the high-speed ship collisions with obstacles and groundings. The solution of the problem is suggested through monitoring the water reservoir to prevent hitting the shoal and the artificial wave generation at the fore-deck of the vessel to a complete stop.

Ключевые слова: мониторинг, лазерная локация, скоростные суда, столкновение, генерация волны.

Key words: monitoring, laser location, speedboats, the collision, the wave generation.

УДК 656.61.052

Введение

При проектировании судов с подводными крыльями особое внимание уделяется конструктивным мерам обеспечения безопасности СПК в соответствии с Кодексом безопасности судов с динамическими принципами поддержания [1]. Тем не менее встречаются аварийные ситуации при эксплуатации судов на подводных крыльях, связанные с ударом о мель и плавающие предметы.

15.06.2008 г. скоростное пассажирское судно на подводных крыльях «Метеор-251», судовладелец «Амур-Транс», на 515 км р. Амур из-за потери видимости створа потерял ориентировку и вылетел на мель, так как при потери видимости береговых створных знаков, не сбавляя хода, судоводитель продолжал использовать приемоиндикатор спутниковой системы в режиме, не обеспечивающем заданной точности счисления. В результате пострадали пассажиры.

01.08.2008 г. скоростное пассажирское судно «Комета-11» на 1314 км на реке Нева при расхождении с яхтой ушло с судового пути за выставленное ограждение и село на мель.

24.09.2008 г. скоростное пассажирское судно «Метеор-137» с лоцманом на борту, несмотря на наличие приемоиндикатора спутниковой системы, при следовании корабельным фарватером от причала Ленэкспо в Петродворец, с полного хода село на мель в районе буя № 10. При этом пострадали пассажиры.

Постановка задачи

Проблему удара судна о мель и плавающие предметы можно рассматривать в двух аспектах:

1) предупреждение посадки на мель и удара о плавающие предметы с использованием специальных средств навигации и локации, а также автоматических систем остановки главных двигателей и перехода судна в водоизмещающий режим;

2) принятие мер безопасности в случае возникновения аварийной ситуации.

Предупреждение посадки на мель и удара о плавающие предметы с использованием специальных средств

Первая часть проблемы связана с мониторингом глубины акватории и наличия плавающих предметов. Непрерывный контроль глубины акватории и наличие плавающих предметов возможен путем гидролокации водоема. В случае уменьшения глубины водоема ниже критической, система автоматической остановки главных двигателей позволяет перейти судну в водоизмещающий режим. Такое решение позволяет судну отойти в безопасное место и выполнить маневрирование.

Известна ультразвуковая и звуковая активная и пассивная гидролокация, широко применяемая в морской навигации для обнаружения невидимых глазом подводных препятствий, в рыбном промысле для обнаружения косяков и крупных рыб, в гидрогеологии, океанографии для поиска полезных ископаемых и исследования морского дна, в военном деле для обнаружения и измерения координат подводных лодок, мин, надводных кораблей, наведения на них торпед и ракет. Однако применение ультразвуковой и звуковой гидролокации на судах с подводными крыльями может оказаться проблематичным по причине возникновения помех из-за излучения звуковой вибрации в воду от работающей энергетической установки.

Поиск препятствия зависит от качества отраженного от него сигнала, который ухудшается с уменьшением глубины и наличием посторонних шумов от ударов волн о поверхность суши.

Известно, что механизмы взаимодействия, приводящие к рассеянию электромагнитного излучения (световых волн), значительно отличаются от механизмов, приводящих к рассеянию звука. Дело в том, что длина световой волны значительно короче длины волны звуковых волн, что значительно уменьшает влияние посторонних помех на изменение структуры отраженного сигнала. Поэтому гидролидарные лазерные системы смогут значительно расширить возможности дистанционных методов зондирования акватории.

Для оценки дальности действия под водой лазерных локаторов используется формула [2]

$$L = -\frac{2,3}{k_\lambda} \lg \frac{\gamma W_{\text{ш}}}{W_{\text{и}}},$$

где k_λ – коэффициент ослабления излучения; γ – заданное отношение сигнал/шум; $W_{\text{и}}, W_{\text{ш}}$ – мощности сигнала излучателя и шума приемника.

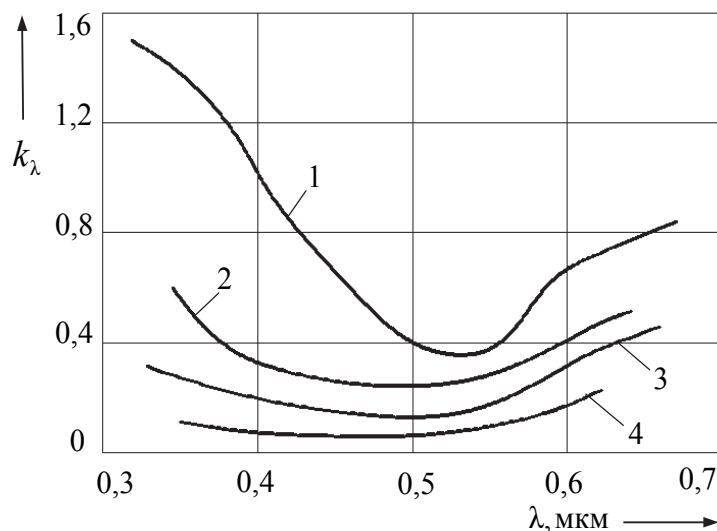


Рис. 1. Зависимость коэффициента ослабления от длины волны в воде:
1 – в заливе; 2 – в лаборатории; 3 – в плавательном бассейне;
4 – профильтрованная морская вода

Исследования в этой области [2] показывают, что наиболее оптимальным для обнаружения подводных предметов являются лазерные лидары, работающие в сине-зеленой области спектра (см. рис. 1) с длиной волны 0,53 мкм, имеющие наименьший коэффициент ослабления излучения k_λ и наибольшую дальность действия под водой.

Принцип действия лидара основан на том, что короткий импульс лазерного излучения входит в воду и по мере распространения освещает дно или иные плавающие предметы, находящиеся в ней (см. рис. 2). Отраженный от дна и плавающих предметов оптический сигнал принимается, детектируется и обрабатывается на борту судна [3].

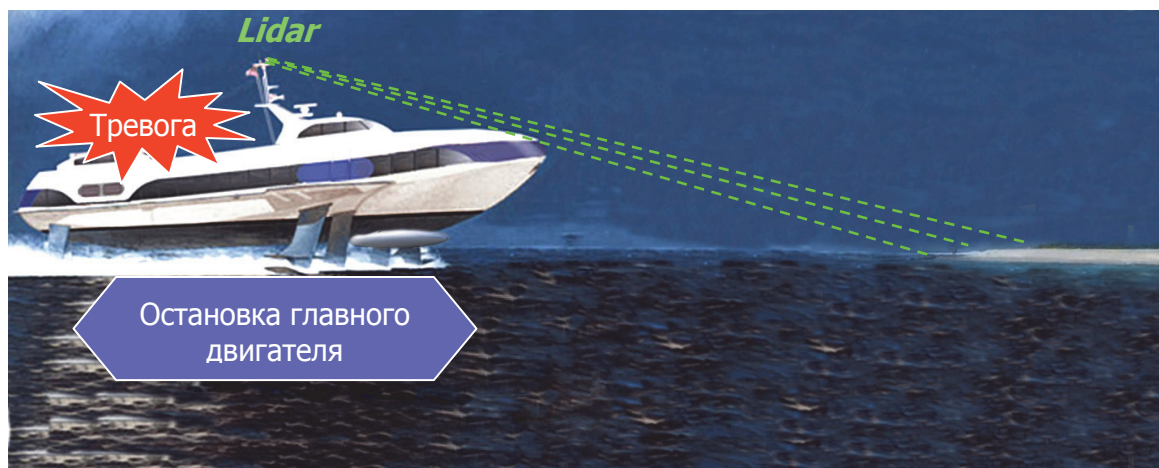


Рис. 2. Работа лидара по обнаружению препятствия

Принятие мер безопасности в случае возникновения аварийной ситуации

Решение проблемы принятия мер безопасности в случае возникновения аварийной ситуации может идти в направлении:

- поиска способа эффективного торможения судна до полной остановки судна и исключения посадки на мель;
- поиска способа предупреждения удара судна о плавающий предмет.

Известно, что одним из путей упрощения эксплуатации перспективных СПК является оборудование их подъемными крыльями. Существуют различные способы подъема крыльев:

- подтягивание крыльев к корпусу для уменьшения осадки;
- подъем из воды над верхней палубой [1].

Первый способ в какой-то части решает проблему безопасности эксплуатации судна на мелководье. Подъем из воды крыльев в процессе его движения проблематичен. Все эти способы только упрощают обслуживание и ремонт крыльев в стационарных условиях, но никак не решают полностью проблемы принятия мер безопасности в случае возникновения аварийной ситуации.

В момент остановки главных двигателей судно имеет скорость, равную скорости хода на подводных крыльях. С момента погружения корпуса судна в воду до полной его остановки будут возрастать силы сопротивления трения. Скорость судна убывает сначала быстро, а затем все медленнее и медленнее. Если принимать во внимание действие сил трения на судно, то путь, пройденный судном за время подхода к препятствию, будет определяться функцией в виде экспоненты. Таким образом, увеличивая сопротивление воды движению судна, сокращается путь подхода судна к препятствию.

Решение второй части проблемы направлено на генерирование искусственной волны в носовой части корпуса судна (см. рис. 3). Это осуществляется путем мгновенного выброса воды с большой скоростью гидропушкой в направлении движения судна в момент остановки главных двигателей. Выброс осуществляется в слое воды акватории. В направлении искусственного потока будут действовать силы инерции, силы вязкости и силы давления. Из-за большой скорости ис-

кусственного потока (большие числа Рейнольдса) силы вязкости будут малы около стенок плавающего предмета или у поверхности на мелководье по сравнению с силами инерции и давления.

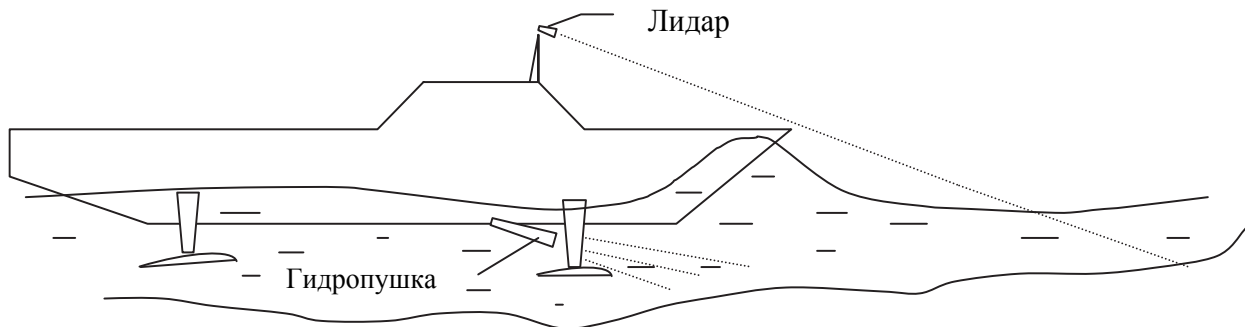


Рис. 3. Взаимодействие струи воды, создаваемой гидропушкой со слоем воды акватории

Известно, что зависимость между скоростью потока жидкости и давлением жидкости на данном участке описывается уравнением Бернулли [4]:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{const}.$$

Из выражения видно, что если на каком-либо участке скорость движения жидкости увеличивается, то для сохранения равенства должно понизиться давление. В результате чего верхние слои воды под действием сил тяжести будут перемещаться вниз и создавать искусственную волну. Возникшая волна будет препятствовать движению судна, отбрасывая его назад.

В случае неожиданного подхода к мелкому месту носовая часть судна может резко «оттолкнуться» от него из-за внезапно возросшего сопротивления воды, а также потому что перед носовой частью вода будет вытесняться на мелкое место, сталкивая судно на большую глубину.

В случае неожиданного появления плавающего предмета он будет вовлечен потоком воды силами инерции и отброшен от судна.

Реакция струи воды от взаимодействия с упругой средой (вода акватории) приведет к торможению судна.

Заключение

Для обеспечения безопасной эксплуатации скоростных судов на подводных крыльях в водной акватории целесообразно применение комплексного решения задачи: обнаружение препятствий с применением лазерной локации и активных гидродинамических средств, обеспечивающих эффективное торможения судна в случае возникновения аварийной ситуации.

Рассмотренный способ может повысить безопасность эксплуатации судов в период мелководья.

Средства лазерной локации могут применяться как дополнение к существующим системам спутниковой навигации, так и для самостоятельного использования в навигационной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колызаев, Б. А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания / Б. А. Колызаев, А. И. Косоруков, В. А. Летвиненко. – Л.: Судостроение, 1980. – 472 с.
2. Борейшо, А. С. Лазеры: Устройство и действие: учеб. пособие / А. С. Борейшо. – СПб.: Мех. ин-т., 1992. – 215 с.
3. Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН [Электронный ресурс] / Бортовой лидар «АТМАРИЛ-3»; отв. исп. Проекта В. С. Шаманаев. – Режим доступа: <http://www.iao.ru/ru/resources/equip/lidars/atmaril/>.
4. Справочник по теории корабля. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

Сысоев О. Е., Добрышкин А. Ю., Нейн Сит Наинг
Sysoev O. Ye. , Dobryshkin A. Yu., Nein Sit Naing

**ВЛИЯНИЕ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ НА ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ
РАЗОМКНУТЫХ ОБОЛОЧЕК**

VIRTUAL MASS EFFECT ON CONSTRAINED OSCILLATION OF OPEN SHELLS

Сысоев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительства и архитектуры, декан факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Oleg Ye. Sysoev – Doctor of Engineering, Professor, the Civil construction and Architecture Department, Dean of the Cadastre and Civil construction faculty, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: fks@knastu.ru.

Добрышкин Артём Юрьевич – аспирант кафедры строительства и архитектуры факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: wwwartem21@mail.ru.

Mr. Artyom Yu. Dobryshkin – a post-graduate student, the Civil construction and Architecture Department, the Cadastre and Civil construction faculty, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: wwwartem21@mail.ru.

Нейн Сит Наинг – аспирант кафедры прикладной математики и информатики факультета компьютерных технологий Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: nyeinsisnaing51@gmail.com.

Mr. Nein Sit Naing - a post-graduate student, Applied Mathematics and Computer Studies Department, Faculty of Computer Technologies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: nyeinsisnaing51@gmail.com.

Аннотация. В лаборатории строительных конструкций Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (КнАГТУ) проведен эксперимент. Целью эксперимента являлось выявление закономерности влияния величины присоединенной массы на колебания разомкнутой стальной оболочки. С помощью индукционных акселерометров измерены вынужденные колебания изогнутой разомкнутой оболочки, несущей присоединенную массу. Оболочка стальная, шарнирно-опертая по краям, прямоугольная в плане. Шарнирно опертые с двух сторон разомкнутые оболочки, как наиболее часто используемые в строительстве, до сих пор не исследованы. Расчет проводился на основании общего уравнения колебаний оболочки, а также уравнений Доннела – Муштари – Власова. При теоретическом расчете не делались допущения о пологости. Но представлялось, что величины напряжений от изгибающих моментов сопоставимы по величине с напряжениями от усилий. Вследствие чего было обнаружено существенное возрастание влияния величины присоединенной массы на вынужденные колебания оболочки. В результате были получены величины теоретических вынужденных колебаний оболочки, несущей присоединенную массу. Сопоставлены теоретические и практические данные.

Summary. In the laboratory of constructions of Komsomolsk-on-Amur State Technical University (KnAGTU) an experiment has been carried on. The aim of the experiment was to identify patterns of influence of magnitude of fluctuations in the virtual mass on constrained oscillation of open shells. Constrained oscillation of curved and open-shell carrying the virtual mass was measured with the help of induction accelerometers. Steel shell is pin supported along the edges, rectangular in the plan. Pin supported open shells along both sides, as the most frequently used in the construction have not yet been investigated. The calculation was made based on the general equation of oscillation of a shell, as well as Donnell - Mushtari - Vlasov equations. In the theoretical calculation, assumptions about the flatness were not taken into account. But it seemed that the magnitude of the stresses from bending moments are comparable in magnitude to the stress of the effort. In consequence, substantial increase in the differentiation was obtained. As a result, values of theoretical constrained oscillation of a shell were obtained. We compared the theoretical and analytical data.

Ключевые слова: оболочка, нелинейные колебания, модель устойчивости.

Key words: shell, nonlinear oscillations, model of stability.

УДК 624.074.434

Пологие оболочки широко используются в строительстве и машиностроении, при эксплуатации таких конструкций возникают различные интенсивные динамические нагрузки от собственных колебаний и присоединенной массы. Поэтому интерес к анализу динамики пологих оболочек в различных сферах деятельности очень высок [1; 2; 3; 4].

Для исследования влияния присоединенной массы в лаборатории строительных конструкций КнАГТУ был изготовлен испытательный стенд, а также опытный образец для испытаний, согласно расчетной схемы (рис. 1).

В данной работе проведены исследования колебаний цилиндрической разомкнутой оболочки, шарнирно-опертой с двух сторон, а с двух других – свободной. Получены уравнения линейных колебаний этой оболочки, согласно существующей теории описания колебаний оболочки, а также экспериментальные данные, показывающие зависимость влияния присоединенной массы на частоты колебаний оболочки. Для большей простоты изучения колебаний с умеренными амплитудами колебания оболочки разложили согласно уравнениям [5; 6; 7]. В результате получена дискретная нелинейная модель колебаний оболочки с двумя степенями свободы, исследуемая с помощью метода многих масштабов.

Исследования проводились на модели тонкостенной цилиндрической оболочки. Образец сделан из оцинкованной стали, состав которой приведен в табл. 1. Образец имеет следующие геометрические характеристики: $R = 318$ мм, $L = 800$ мм, $H = 93$ мм (рис. 1).

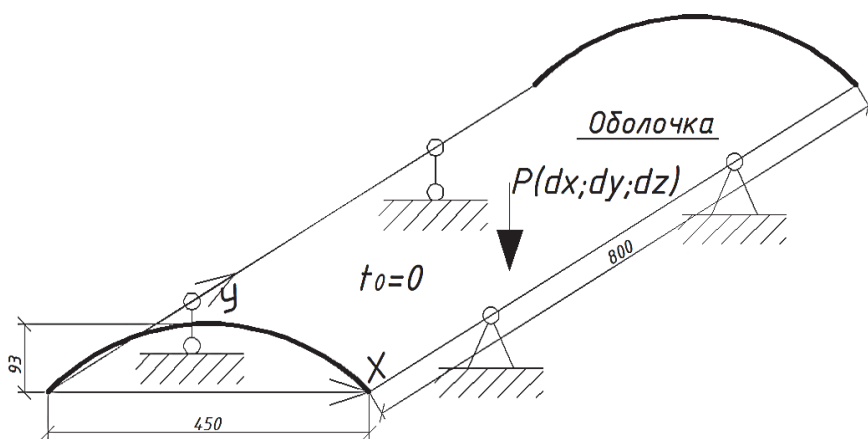


Рис. 1. Образец оболочки



Рис. 2. Типовая фотография акселерометра BC 110.

Марка сплава образца определена как «сталь 3 полукипящая». Модель оболочки закрепляется в специальном стенде, изготовленном в лаборатории строительных конструкций КнАГТУ, с помощью которого реализованы граничные условия, максимально близкие к расчетной модели. На свободном торце крепился акселерометр BC 110, измеряющий частоту колебаний и одновременно выполняющий роль присоединенной массы (рис. 2).

Характеристики устройства представлены в табл. 1.

Характеристики акселерометра ВС 110

Параметр	Единицы измерения	Значение
Чувствительность		100 мВ/г
Частотный диапазон	Гц	0,5...10000
Относительная поперечная чувствительность	%	< 5
Амплитудный диапазон	g	± 50
Собственные шумы, СКЗ	mg	< 0,5
Температурный диапазон	°С	-40...+70
Питающее напряжение	мА	3
Сопротивление на выходе	Ом	< 500
Входное напряжение,	В	+18...30
Уровень тока, постоянного напряжения на выходе из датчика	В	10...13
Материал корпуса		нержавеющая сталь
Тип соединителя		SMA
Поставляемые принадлежности		кабель, шпилька
Кабель (длина кабеля 2 м)		SMA-BNC, 2 м

Сигнал с акселерометра передается через анализатор спектра в лицензионную программу «Z-LAB», установленную на персональном компьютере. Блок-схема экспериментальной установки изображена на рис. 3.

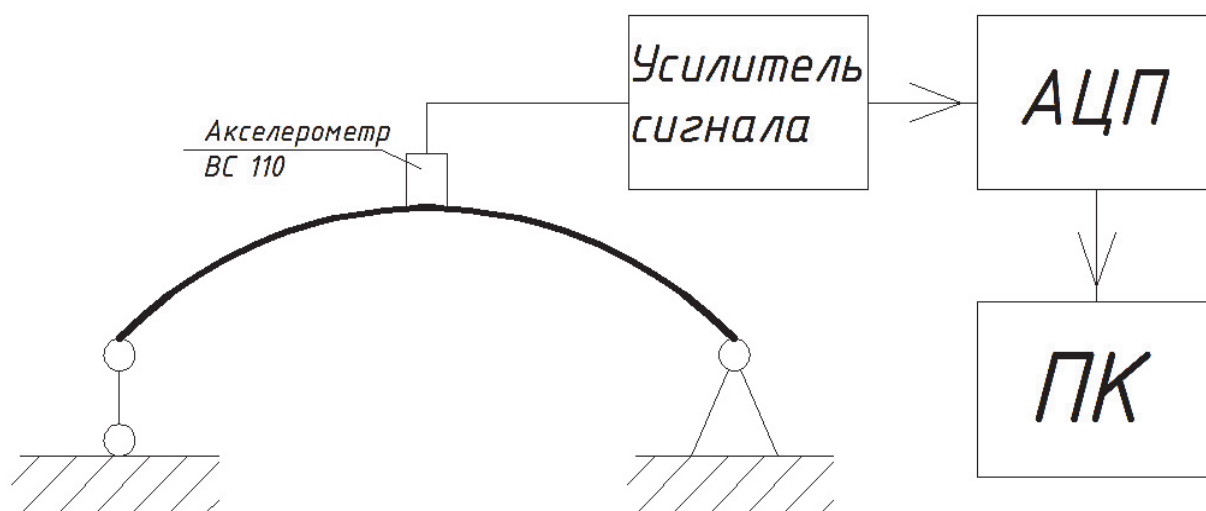


Рис. 3. Блок-схема экспериментальной установки

Вибрации образцам задавались двумя способами: путем загрузки и моментального снятия некоторой малой статической нагрузки; путем удара образца испытательным молотком АУ03, рис. 4.

Замеры снимались при вертикальном и горизонтальном расположениях образцов. Результатом проведения эксперимента является полученный спектр частот, из которого была отобрана наименьшая частота всего спектра, то есть основная частота колебаний системы «оболочка-масса»[4]. На рис. 4. представлены фотографии экспериментальной установки.

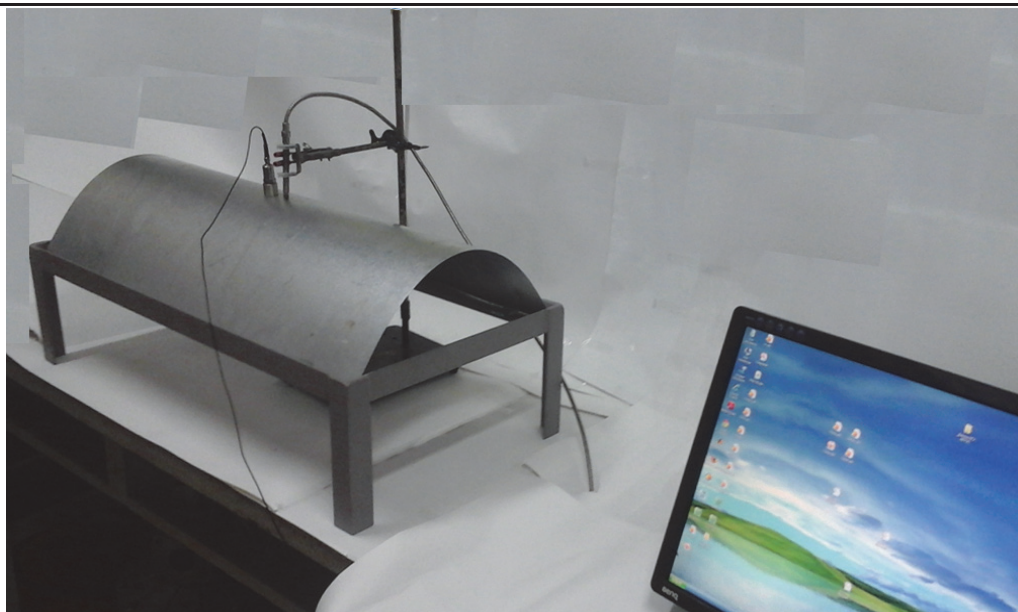


Рис. 4. Экспериментальная установка

Приступим к рассмотрению вынужденных колебаний пологой разомкнутой тонкой, прямоугольной в плане цилиндрической оболочки (см. рис. 5). Для описания вынужденных колебаний воспользуемся уравнениями Доннелла – Муштари – Власова [8]. Особый интерес представляют оболочки, шарнирно опертые с двух сторон, как наиболее часто используемые в строительстве.

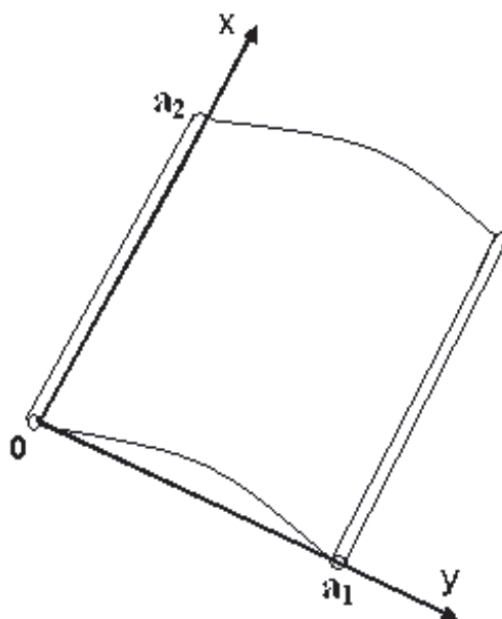


Рис. 5. Пологая оболочка

$$D\nabla^4 w + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + P \cos(\Omega t) \delta(x_0, y_0);$$

$$\frac{1}{E} \nabla^4 \Phi = -\frac{1}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2},$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость; $\delta(x_0, y_0)$ – функция Дирака (дельта); β – коэффициент линейного демпфирования; h – толщина оболочки; r – радиус кривизны оболочки в направлении

оси y ; ν – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости; w – нормальное смещение срединной поверхности оболочки; (x_0, y_0) – точка расположения приложенной нагрузки; m – масса единицы площади оболочки.

Согласно граничным условиям $y = 0$ и $y = a_1$ шарнирно-оперты по сторонам, а для сторон $x = 0$ и $x = a_2$ – свободны. В результате краевые условия задачи принимают следующий вид:

$$N_x \Big|_{x=0} = N_x \Big|_{x=a_2} = N_{xy} \Big|_{x=0} = N_{xy} \Big|_{x=a_2} = 0; \quad w \Big|_{y=0} = w \Big|_{y=a_1} = 0; \quad (1)$$

$$M_y \Big|_{y=0} = M_y \Big|_{y=a_1} = 0; \quad M_x \Big|_{x=0} = M_x \Big|_{x=a_2} = 0;$$

$$\left(Q_x + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \right) \Big|_{x=0} = \left(Q_x + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \right) \Big|_{x=a_2} = 0,$$

где

$$N_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}; \quad N_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}; \quad N_{xy} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial x}; \quad Q_x = D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$M_{xy} = D(1 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}; \quad M_x = D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); \quad M_y = D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right).$$

Для оболочки изгибные колебания $w(x, y, t)$ следует представить в таком виде:

$$w(x, y, t) = \phi_1(t)\psi_1(x, y) + \phi_2(t)\psi_2(x, y), \quad (2)$$

где $\psi_1(x, y)$, $\psi_2(x, y)$ – собственные формы колебаний.

Далее необходимо найти собственные формы линейных колебаний пологой оболочки. Они нужны для представления (2) и точного интегрирования системы уравнений, описывающих эти колебания [9]:

$$D \nabla^4 w - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - m \omega^2 w = 0,$$

$$\frac{1}{E} \nabla^4 \Phi + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = 0.$$

Известно, что на краях $y = 0$ и $y = a_1$ оболочка шарнирно оперта (1), функции $w(x, y)$, $\Phi(x, y)$ представим так:

$$w = W(x) \sin \frac{n\pi y}{a_1}; \quad \Phi = \chi(x) \sin \frac{n\pi y}{a_1}.$$

Тогда $W(x)$ и $\chi(x)$ удовлетворяют следующим уравнениям:

$$D \left(W_{xxxx} - 2 \frac{n^2 \pi^2}{a_1^2} W_{xx} + \frac{n^4 \pi^4}{a_1^4} W \right) - \frac{1}{r} \chi_{\chi\chi} - m \omega^2 W = 0,$$

$$\frac{1}{Eh} \left(\chi_{xxxx} - 2 \frac{n^2 \pi^2}{a_1^2} \chi_{xx} + \frac{n^4 \pi^4}{a_1^4} \chi \right) + \frac{1}{r} W_{\chi\chi} = 0. \quad (3)$$

Решение системы (3) представим так:

$$W(x) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{1i} C_i e^{\lambda_i x}; \quad \chi(x) = \sum_{i=1}^8 \alpha_{2i} C_i e^{\lambda_i x},$$

где λ_i – корни характеристического уравнения, соответствующего системе (3), а α_{1i} , α_{2i} – постоянные, представляющие ненулевое решение системы уравнений, полученных из выражения (3) при $\lambda = \lambda_i$.

После удовлетворения краевым условиям приходим к однородной системе линейных алгебраических уравнений относительно C_i . Из этой системы получаем частотное уравнение, которое выражается в определителе восьмого порядка. Этот определитель не приводится для краткости изложения. После нахождения частоты из системы находятся параметры C_i . Таким образом, собственные формы линейных колебаний имеют вид

$$\psi(x, y) = \sin \frac{n\pi y}{a_1} \sum_{i=1}^8 \alpha_{1i} C_i e^{\lambda_i x}.$$

На рис. 6 приводятся результаты расчета собственных частот и форм колебаний стальной полой оболочки. Из рис. 6 следует, что теоретические данные не совпадают с расчетными более, чем на 5 %. Также теоретический расчет не отражает всю картину влияния присоединенной массы на вынужденные колебания полой оболочки.

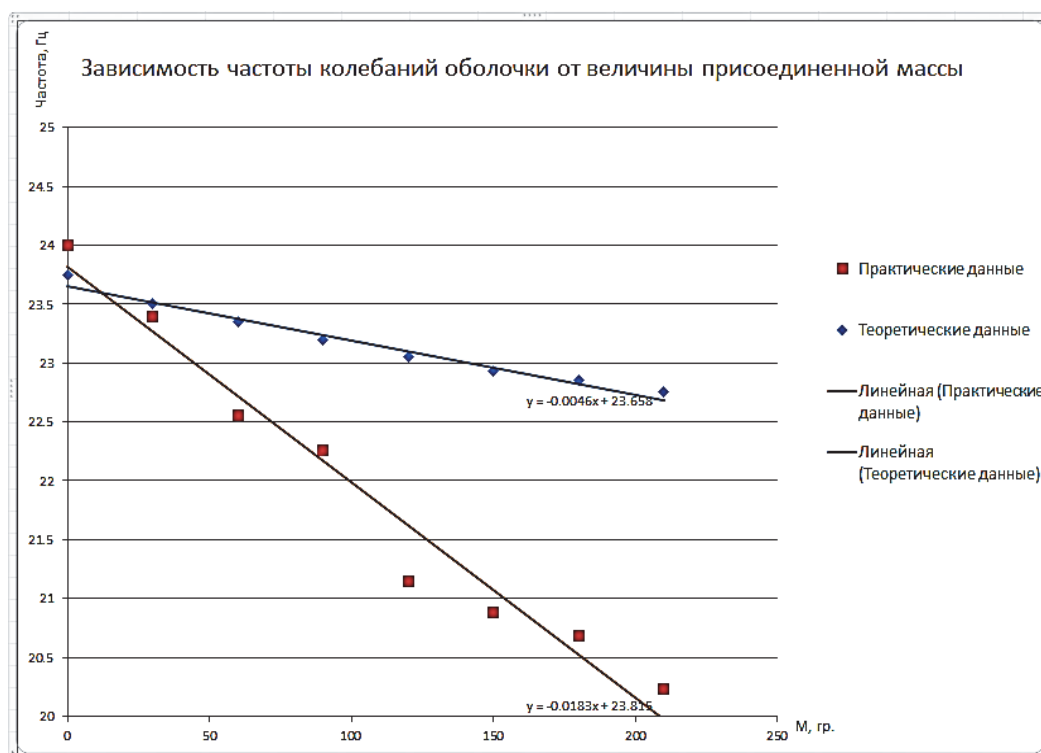


Рис. 6. Зависимость частоты колебаний оболочки от величины присоединенной массы

В результате видим несовпадение результатов теоретических и практических данных, что требует уточнения теоретической модели. Максимальное отклонение теоретических и практических результатов при присоединенной массе в 210 г составляет 12,5 %, а при массе в 12 г – 0 %. Данное обстоятельство показывает неточность теоретического расчета колебаний оболочки, несущей присоединенную массу на этапах присоединения массы более чем 12 % (M/M_0).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григолюк Э. И. К расчету устойчивости пологих арок / Э. И. Григолюк // Инженерный сборник. – 1951. – Т. 9. – С. 178-201.
2. Leissa A. W., Kadi A. S. Curvature effects on shallow shell vibrations, J. of Sound and Vibration 16. 1971. – pp. 173-187.
3. Vol'mir A. S., Logvinskaya A. A., Rogalevich V. V. Nonlinear natural vibrations of rectangular plates and cylindrical panels, Sov. Phys. Dokl. 17. 1973. – pp. 720-721.



4. Amabili M., Non-linear vibrations of doubly curved shallow shells. *Int. J. of Non-Linear Mech.* 40. 2005. – pp. 683-710.
5. Amabili M., Theory and experiments for large-amplitude vibrations of circular cylindrical panels with geometric imperfections. *J. of Sound and Vibration*, 2006. – pp. 43-72.
6. Baumgarten R., Bifurcations and Subharmonic Resonances in Multi- Degree-of-Freedom Panel's Models. / Baumgarten R., Kreuzer E., *Meccanica* 31, 1996. – pp. 309-322.
7. Leissa A. W. *Vibrations of shells*. NASA SP-288. Washington, DC: Government Printing Office; Now available from Acoustical Society of America. 1993.
8. С. В. Серегин, О. Е. Сысоев О влиянии площади контакта присоединенной массы на свободные колебания круговой цилиндрической оболочки // *Материалы международной научно-практической конференции «Деформирование и разрушение композиционных материалов и конструкций» – deformation and failure of composite materials and structures ИМАШ РАН. Москва. Россия. 10-13 ноября 2014 г*
9. С. В. Серегин, О. Е. Сысоев Свободные колебания тонкой круговой цилиндрической оболочки, ослабленной отверстием // *Материалы международной научно-практической конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение» – survivability and structural materials science ssms-2014. ИМАШ РАН, Москва. Россия. 21-23 октября 2014 г.*

РЕЦЕНЗИИ
REVIEWS

Шунейко А. А.
A. A. Shuneiko

ЕВСТИГНЕЕВ А. И., ДМИТРИЕВ Э. А. КАФЕДРА «МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА». ИСТОРИЯ. СОБЫТИЯ В ЛИЦАХ. ЛЮДИ. – КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 113 с.

YEVSTIGNEEV A. I., DMITRIEV E. A. 'MACHINES AND FOUNDRY ENGINEERING DEPARTMENT'. THE HISTORY. EVENTS REPRESENTED BY PEOPLE. PEOPLE. – KOMSOMOLSK-ON-AMUR: KOMSOMOLSK-ON-AMUR STATE TECHNICAL UNIVERSITY, 2016. – 113 p.

45 лет существует кафедра «Машины и технологии литейного производства». Это серьезный, солидный и заслуживающий уважения возраст. Для его верной оценки вспомним, что «КнАГТУ» недавно исполнилось 60 лет. Получается, что три четверти истории университета прямо и непосредственно связаны с работой кафедры. Это важный, но чисто формальный показатель. Куда значительнее и интереснее тот содержательный вклад, который кафедра внесла в становление, развитие, повышение уровня и приобретение имиджа университета, как она определила его нынешний статус, как она участвовала в создании материальной и интеллектуальной баз производства, науки и образования в самом университете и за его пределами.

Об этом и пишут авторы книги, хорошо знающие проблему изнутри, непосредственные участники тех многообразных и сложных процессов, характер которых они добросовестно с заинтересованным вниманием к деталям фиксируют. Авторы двое: учитель и ученик, оба выпускники кафедры. Учитель – Заслуженный деятель науки РФ, академик РИА и РАЕН, доктор технических наук, профессор А.И. Евстигнеев много лет руководил кафедрой, был проректором по науке в университете, входил в экспертный совет ВАК, ныне председатель двух диссертационных советов, советник ректората. Ученик – доктор технических наук, доцент Э.А. Дмитриев, ныне ректор КнАГТУ. Уже сам авторский состав даже при чисто формальном и неполном перечислении заслуг и свершений частично раскрывает результативность работы кафедры, указывает на её достижения, показывает её важную роль.

Главные действующие лица книги – люди: организаторы научного и учебного процесса, руководители и подчинённые, те, кто стоял у истоков, и те, кто развивает направление сейчас. Их лица смотрят на нас со страниц книги. Всех, непосредственно связанных с работой кафедры, даже просто поимённо назвать сложно. Всего за время своего существования кафедра выпустила 1220 инженеров-механиков. Все они внесли и вносят вклад в развитие промышленности, науки, образования, административной сферы на Дальнем Востоке и за его пределами. Авторы книги сконцентрировались на наиболее значительных представителях. А их тоже немало.

Из книги можно узнать массу разнообразной интересной и полезной информации. Она по периодам раскрывает историю становления кафедры. Рассказывает о тех, кто стоял у истоков кафедры и находился на ней в период её зрелости. Повествует о связях кафедры с ведущими литейными кафедрами страны. Особо отмечает известных выпускников кафедры. Обращает внимание на работавших на кафедре учёных из других вузов. Фиксирует защищенные на кафедре диссертации. Раскрывает развитие материально-технического оснащения кафедры. Показывает организаторскую деятельность кафедры. Даёт представление о трудовых буднях и праздничных демонстрациях студентов-литейщиков. Подробно перечисляет научные и учебные труды членов кафедры. Каждая из этих тем интересна сама по себе. В своём соединении они дают целостное представление о сложном многомерном механизме, функциональность которого доказана временем и результатами.

На страницах книги кафедра предстаёт как живой постоянно развивающийся организм, который не просто готовит кадры для университета, всего Дальнего Востока, России и зарубежья, но включен в общие социальные, экономические и научные процессы. Взаимодействие кафедры с



окружающим миром всегда было двунаправленным: она одновременно приобретала и отдавала. Приобретала накопленный опыт научных исследований. Отдавала специалистов и научные разработки, которые пополняли общий исследовательский и производственный потенциал, стимулировали развитие экономики. Кадровый состав кафедры характеризуется высоким уровнем преемственности.

В материальной основе промышленного производства – металл. Поэтому без преувеличения можно сказать, что кафедра закладывает основание и для самолётостроения, и для кораблестроения, и для иных сфер экономики города, региона, страны. Как это происходило и происходит, какие люди это осуществляют, в каком пространстве они действуют, каким инструментарием пользуются, чего достигают, показано в хорошо иллюстрированной книге.

Книга интересна не только как ценное историческое свидетельство. Строить серьёзные планы можно только тогда, когда знаешь, что уже было, имеешь чёткое представление о том, что уже сделано. Книга позволяет дать оценку прошлого и на его базе начать новый этап развития кафедры и университета.